

# Analiza mogućnosti primjene sustava solarnog grijanja i hlađenja za obiteljsku kuću

---

**Predovan, Marko**

**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:190:090312>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-23**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**ANALIZA MOGUĆNOSTI PRIMJENE SUSTAVA  
SOLARNOG GRIJANJA I HLAĐENJA ZA OBITELJSKU  
KUĆU**

Rijeka, srpanj 2024.

Marko Predovan

0069073738

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**ANALIZA MOGUĆNOSTI PRIMJENE SUSTAVA  
SOLARNOG GRIJANJA I HLAĐENJA ZA OBITELJSKU  
KUĆU**

Mentor: Izv.prof.dr.sc.Boris Delač

Rijeka, srpanj 2024.

Marko Predovan

0069073738

Rijeka, 10. ožujka 2022.

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: **Marko Predovan (0069073738)**  
Studij: **Diplomski sveučilišni studij strojarstva**  
Modul: **Procesno i energetska strojarstvo**

Zadatak: **Analiza mogućnosti primjene sustava solarnog grijanja i hlađenja za obiteljsku kuću / Analysis of the possibility of using solar heating and cooling systems for a family house**

### Opis zadatka:

Za obiteljsku kuću smještenu na području Dalmacije potrebno je utvrditi mogućnost primjene solarnog sustava za grijanje, hlađenje i pripremu potrošne tople vode. Simulacije provesti dinamičkim energetske modelom simulacijskog sučelja TRNSYS. Rad treba sadržavati opis modela zgrade i elemenata termotehničkog sustava. Proračune je potrebno izraditi u skladu s trenutno važećom regulativom u Republici Hrvatskoj.

Arhitektonske podloge su sastavni dio zadatka. 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.

Zadatak uručen pristupniku: 21. ožujka 2022.

Mentor:

Doc. dr. sc. Boris Delač

Prof. dr. sc. Branimir Pavković (komentor)

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

Prof. dr. sc. Kristian Lenić

## **IZJAVA**

Sukladno članku 9. „Pravilnika o diplomskom radu, diplomskom ispitu i završetku sveučilišnih diplomskih studija“ diplomskog sveučilišnog studija Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad : „Analiza mogućnosti primjene sustava solarnog grijanja i hlađenja za obiteljsku kuću“, pod stručnim vodstvom mentora izv. prof. dr. sc. Borisa Delača i komentora prof. dr. sc. Branimira Pavkovića.

---

U Rijeci, 11. srpanja 2024.

## **ZAHVALA**

*Zahvaljujem se mentoru izv. prof. dr. sc. Borisu Delaču na pomoći, strpljenu i savjetima tijekom izrade rada te na prenesenom znanju. Zahvaljujem se roditeljima, obitelji i svima koji su me podržavali.*

## SADRŽAJ

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1.     | UVOD.....   | 1  |
| 2.     | TOPLINSKI MODEL ZGRADE.....   | 3  |
| 2.1.   | Modeliranje 3D geometrije zgrade .....                                      | 3  |
| 2.2.   | Ugađanje toplinskog modela .....  | 6  |
| 2.2.1. | Konstruktivski elementi zgrade .....  | 6  |
| 2.2.2. | Prirodna ventilacija zraka (infiltracija) .....                             | 10 |
| 2.2.4. | Grijanje i hlađenje.....  | 12 |
| 2.2.5. | Utjecaj zasjenjenja .....   | 14 |
| 3.     | MEHANIČKA VENTILACIJA.....  | 17 |
| 4.     | POTREBNA ENERGIJA ZA GRIJANJE I HLAĐENJE.....                               | 20 |
| 4.1.   | Osnovni model.....  | 20 |
| 4.2.   | Osnovni model (mehanička ventilacija).....                                  | 22 |
| 4.3.   | Model s unutarnjim zasjenjenjem .....                                       | 23 |
| 4.4.   | Model s unutarnjim zasjenjenjem (mehanička ventilacija).....                | 24 |
| 4.5.   | Model s unutarnjim i vanjskim zasjenjenjem .....                            | 26 |
| 4.6.   | Model s unutarnjim i vanjskim zasjenjenjem (mehanička ventilacija).....     | 27 |
| 4.7.   | Usporedba rezultata proračuna .....   | 28 |
| 5.     | PROJEKTI UČINCI ZA GRIJANJE I HLAĐENJE.....                                 | 31 |
| 5.1.   | Projektni učinci – model bez zasjenjenja .....                              | 31 |
| 5.2.   | Projektni učinci – model s unutarnjim zasjenjenjem .....                    | 34 |
| 5.3.   | Projektni učinci – model s unutarnjim i vanjskim zasjenjenjem .....         | 35 |
| 6.     | PREDAJA I DISTRIBUCIJA ENERGIJE .....                                       | 36 |
| 6.1.   | Modeliranje sustava predaje i distribucije topline.....                     | 36 |
| 7.     | SUSTAV PRIPREME PTV .....   | 40 |
| 8.     | SUSTAVI PROIZVODNJE ENERGIJE.....   | 44 |
| 8.1.   | Dizalice topline .....  | 45 |
| 8.1.1. | Dizalica topline zrak – voda.....   | 46 |
| 8.1.2. | Modeliranje sustava grijanja i hlađenja - dizalica topline zrak – voda..... | 48 |
| 8.1.3. | Modeliranje sustava pripreme PTV dizalica topline zrak – voda.....          | 52 |
| 8.1.4. | Dizalica topline voda – voda .....  | 55 |
| 8.1.5. | Modeliranje sustava grijanja i hlađenja - dizalica topline voda – voda..... | 56 |
| 8.1.6. | Modeliranje sustava pripreme PTV dizalica topline voda – voda.....          | 59 |
| 8.2.   | Solarni toplinski sustav grijanja, hlađenja i pripreme PTV.....             | 62 |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 8.3.    | Rezultati proračuna sustava dizalica topline zrak – voda i voda – voda.....     | 67 |
| 8.3.1.  | Sustav dizalica topline zrak – voda.....  | 67 |
| 8.3.2.  | Sustav dizalica topline voda – voda.....  | 71 |
| 9.      | FOTONAPONSKI SUSTAVI.....   | 75 |
| 9.1.    | FN sustavi – pokrivanje potreba el. energije kod sustava dizalica topline ..... | 79 |
| 10.     | EKONOMSKA ANALIZA SUSTAVA.....  | 81 |
| 10.1.   | Troškovi korištenja i distribucije konačne električne energije .....            | 81 |
| 10.2.   | Investicijski troškovi sustava .....  | 83 |
| 10.2.1. | Sustav 1.....   | 83 |
| 10.2.2. | Sustav 2.....   | 84 |
| 10.2.3. | Sustav 3.....   | 85 |
| 10.2.4. | Sustav 4.....   | 85 |
| 10.3.   | Troškovi pogona i održavanja sustava.....                                       | 86 |
| 10.4.   | Usporedba isplativosti sustava .....  | 87 |
| 11.     | ZAKLJUČAK .....   | 89 |
| 12.     | LITERATURA.....   | 91 |
| 13.     | POPIS SLIKA .....   | 92 |
| 14.     | POPIS TABLICA.....  | 94 |
| 15.     | SAŽETAK .....   | 96 |
| 16.     | ABSTRACT.....   | 97 |



## 1. UVOD

U radu je provedena analiza mogućnosti primjene sunčeve energije u sustavu grijanja, hlađenja i pripreme potrošne tople vode (PTV) za stambeni objekt smješten u Dalmaciji. Sve analize u radu provedene su korištenjem simulacijskog računalnog programa za termoenergetske i termotehničke sustave TRNSYS (TRanSient SYStem simulation software). Prednost uporabe računalnih numeričkih metoda je mogućnost detaljnog modeliranja svojstava toplinskih i tehničkih sustava, postavljanje uvjeta i načina rada uz optimizaciju za postizanje boljih karakteristika i učinkovitosti, širok obim proračunskih rezultata, kao i olakšanu identifikaciju faktora koji utječu na stupanj učinkovitosti. Toplinski model zgrade, potrošač energije, kao i matematički model tehničkih sustava koji sadrže podsustave proizvodnje, distribucije i predaje energije zadaju se kroz parametre, kojim se definiraju svojstva modela. Integracijom toplinskog modela zgrade i tehničkog sustava, uz međusobnu interakciju preko ulaznih varijabli koje utječu na ponašanje sustava s obzirom na prethodno definirana svojstva, dobiva se odaziv sustava u obliku izlaznih varijabli. Izlazne varijable predstavljaju rezultate proračuna dinamičke simulacije kao što su glavni pogonski parametri i potrošnja energije (korisne, isporučene i primarne). Cjelogodišnjom provedbom dinamičke simulacije dobiva se potrošnja energije uz koju je potrebno postići zadane uvjete. Na temelju potrošnje energije odabire se oprema i komponente sustava kojom se osigurava isporuka potrebne energije. Osim toga potrebno je omogućiti ugodnost boravka pravilnim odabirom sustava grijanja, hlađenja, ventilacije i klimatizacije uz što manji utrošak energije, kao i ekonomičnu opravdanost.

Stambeni objekt, točnije moderna vila s podrumom, prizemljem i dva kata, smještena je na području Dalmacije, gdje je udio sunčanih sati tijekom godine vrlo visok, što opravdava mogućnost primjene sustava aktivnog iskorištavanja dozračene sunčeve energije. Lokacija objekta je na području Splita pa su u svim simulacijama korišteni meteorološki podaci test referentne godine za lokaciju Split. U radu su razmatrani sustavi pretvorbe sunčane energije u toplinsku i električnu energiju, u koju spadaju sustavi solarnih toplinskih kolektora i fotonaponski (FN) sustavi. Također razmatrani su sustavi proizvodnje energije za grijanje i hlađenja, kao i pripreme PTV, putem dizalice topline zrak – voda i voda – voda. Na temelju analize rezultata dinamičke simulacije nametanjem različitih uvjeta te primjene različitih sustava odabrano je najoptimalnije rješenje u vidu što niže potrošnje energije koja je većinskim dijelom iz obnovljivih izvora. Time bi se trebala osigurati visoka energetska svojstva objekta što je karakteristika zgrada gotovo nulte energije.

Zgrade gotovo nulte energije (nZEB) imaju višestruka pozitivna svojstva među kojima se ističu [1]:

- niska potrošnja energije za grijanje i hlađenje
- primjena obnovljivih izvora energije za potrebe grijanja, hlađenja, pripreme PTV-a, itd.
- niski troškovi korištenja energije
- dodatnu ušteda energije zbog projektnih rješenja zgrade prema specifikacijama lokacije
- korištenje viška proizvedene energije
- automatizacija i kontrola upravljanja tehničkih sustava zgrade
- korištenje najsuvremenijih i najoptimalnijih standardnih građevinskih materijala
- minimalna potrošnja vode osigurana regulacijom protoka na mjestima korištenja
- ušteda energije grijanja pasivnim korištenjem sunčeve energije
- osiguranje dužeg životnog vijeka odabirom i boljom ugradnom građevnih elemenata, manja potreba održavanja, ...

Da bi se stambeni objekt mogao smatrati zgradom gotovo nulte energije, ovisno o tipu zgrade (obiteljska kuća, višestambena zgrada, uredska zgrada, zgrada za obrazovanje, sportska dvorana,...), lokaciji (primorje ili kontinent) i faktoru oblika (omjer oplošja i volumena dijela zgrade koji se grije), mora zadovoljiti slijedeće uvijete [1]:

- potrebama toplinske energije za grijanje po jedinici korisne površine dijela zgrade koji se grije na godišnjoj razini,  $Q_{H,nd}$  [kWh/m<sup>2</sup>·a]
- potrebama primarne energije po jedinici korisne površine dijela zgrade koji se grije  $E_{prim}$  [kWh/m<sup>2</sup>·a], u koja zadovoljava potrebe energije za grijanjem, hlađenjem, ventilacijom, pripremom PTV-a i rasvjetom
- udio energetske potrebe iz obnovljivih izvora energije
- zahtjevi o zrakopropusnosti

Prema tehničkom propisu o racionalnoj uporabi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, maksimalne dozvoljene vrijednosti energije za pokrivanje potreba grijanja i vrijednosti primarne energije za zgrade gotovo nulte energije kod kojih je temperatura na koju se grije i/ili hladi 18 °C ili viša, određena je maksimalna vrijednost od 70 kWh/m<sup>2</sup> potrebe primarne energije, te 40,8 kWh/m<sup>2</sup> potrebe energije za grijanje.

## 2. TOPLINSKI MODEL ZGRADE

### 2.1. Modeliranje 3D geometrije zgrade

Postoji nekoliko toplinskih tipova modela zgrada unutar TRNSYS biblioteke, od kojih svaki ima određena svojstva za potrebe simulacije, kako bi kroz toplinske bilance dobili energije za pokrivanje potreba grijanja i hlađenja. Višezonski model Type56 omogućuje dinamičko provođenje topline kroz elemente te tako zadovoljava zahtjeve provedbe simulacije. Unošenje geometrijskih značajki modela zgrade vrši se pomoću alata Google Sketchup za dodatak Trnsys3D.

Objek se sastoji od 4 etaže: podruma, prizemlja, 1. kata i 2. kata. Podrum se sastoji od jedne prostorije koja služi kao konoba. Etaža prizemlja podijeljena je na nekoliko prostorija: dva WC-a, sobe za garderobu, hodnika, sobe za dnevni boravak i kuhinje. Na prvom katu smještene su kupaonice i spavaće sobe, te natkrivena terasa prema jugu. Najviša etaža je drugi kat na kojem je garaža te susjedna prostorija s hodnikom i WC-om, te natkrivenom terasom prema južnom pročelju. Ukupna korisna površina objekta iznosi 531,49 m<sup>2</sup>.

Geometrija zgrade unosi se prema arhitektonskim podlogama za postojeći objekt obiteljske kuće. Tijekom modeliranja objekt je potrebno podijeliti na toplinske zone koje su definirane obujmom ispunjavajućeg zraka unutar zone. Podijelu na zone moguće je provesti prema broju i rasporedu prostorija unutar objekta, što u slučaju velikog broja prostorija nije preporučljivo, jer veći broj toplinskih zona uvelike usporava vrijeme proračuna simulacije, a i tako vrijeme samog modeliranja 3D objekta. Prihvatljiviji pristup podijele broja i rasporeda toplinskih zona jest grupiranje nekoliko prostorija sličnih toplinskih karakteristika (prema orijentaciji, projektnoj temperaturi, dobicima topline). S obzirom na to, objekt je podijeljen na 8 toplinskih zona od kojih su sve grijane:

- podrum
- prizemlje – prostorija 1
- prizemlje – prostorija 2
- 1. kat – prostorija 1
- 1. kat – prostorija 2
- 1. kat – prostorija 3

- 2. kat – prostorija 1
- 2. kat – prostorija 2

Definirane toplinske zone, odnosno volumen zraka unutar objekta, omeđen je površinama tj. građevnim elementima za koje je potrebno odrediti slojeve. Konstrukcijski elementi dijele se na vanjske i unutarnje konstrukcijske elemente. Vanjski konstrukcijski elementi su vanjski zidovi, pod prema tlu te krov (kosi/ravni). Unutarnji konstrukcijski elementi koji dijele susjedne toplinske zone su unutarnji zidovi, odnosno međukatni konstrukcijski elementi, strop/pod između etaža.

Vanjski konstrukcijski elementi:

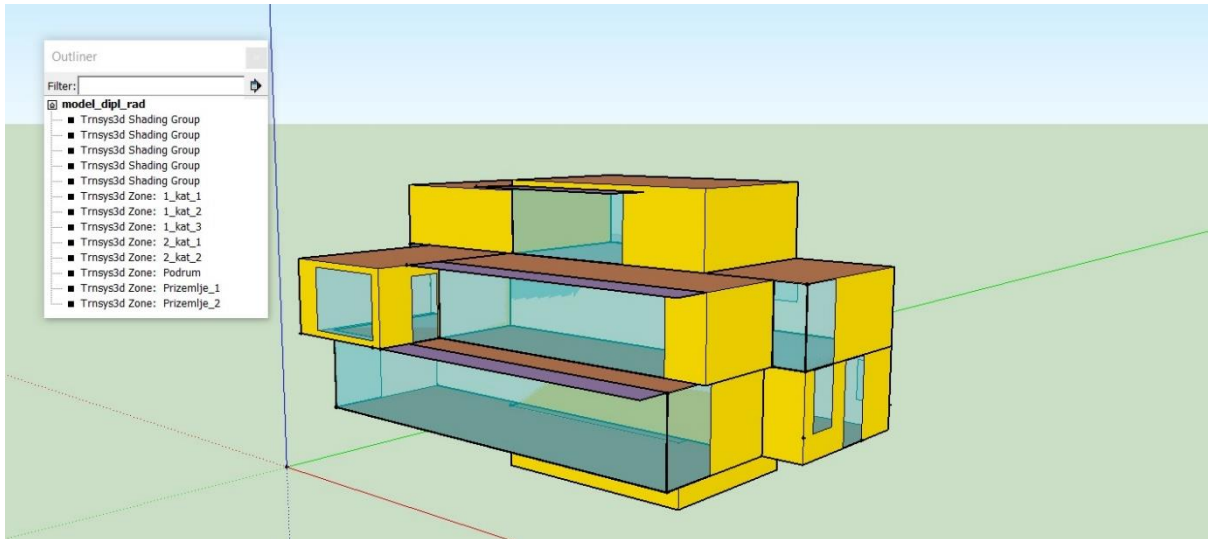
- vanjski zid
- pod prema tlu
- krov kosi/ravni

Unutarnji konstrukcijski elementi:

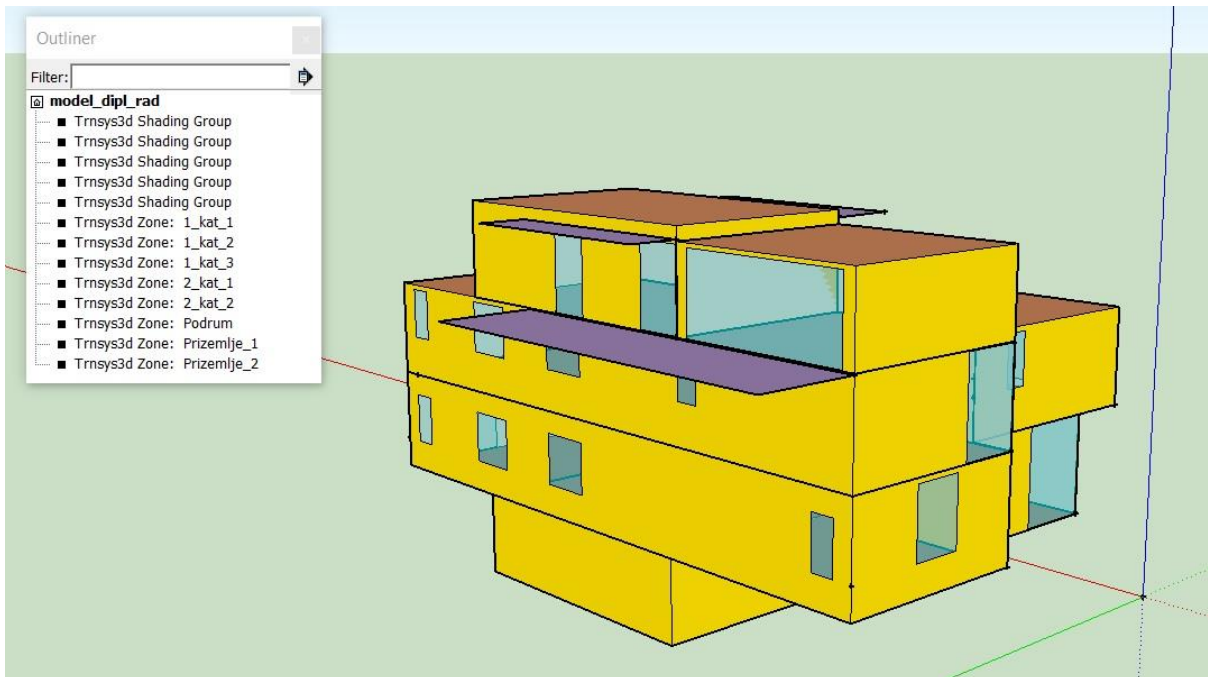
- unutarnji zid
- strop/pod između prizemlja i kata
- strop/pod između kata i tavana

Vanjski konstrukcijski elementi podijeljeni su na neprozirne, vanjski zid (žuta boja) i krov (crvena boja), te prozirne konstrukcijske elemente, prozori i vrata (plava boja). Prema arhitektonskom predlošku potrebno je modelirati vanjska zasjenjenja (ljubičasta boja) i to na južnom i sjevernom pročelju. Toplinskim zonama također treba postaviti rubne uvijete na način da svim definiranim konstrukcijskim elementima treba odrediti graničnu zonu i rubni uvjet. Rubni uvjeti može biti vanjski zrak za vanjske konstrukcijske elemente, odnosno susjedna zona za plohe postavljene kao unutarnji konstrukcijski elementi.

3D model objekta prikazana je iz dva pogleda na slikama 2.1. (južno pročelje) i 2.2. (sjeverno pročelje). Gotovi modelirani 3D objekt učitava se unutar programa Simulation studio na daljnje ugađanje toplinskog modela kako bi dobili potrebne energije grijanja i hlađenja.



*Slika 2.1 3D model objekta (pogled na južno pročelje)*



*Slika 2.2 3D model objekta (pogled na sjeverno pročelje)*

## 2.2. Ugadanje toplinskog modela

Prethodno modeliranu geometriju potrebno je učitati unutar grafičkog sučelja za izradu TRNSYS projekta - Simulation studia, odabirom novog 3D Building Project (multizone) namjenjenog za višezonske modele zgrada kakav je Type56 i to prateći slijedeće korake. Potrebno je postaviti orijentaciju zgrade koja je ucrtana prema predlošku tako da će rotacija iznositi  $0^\circ$ , te meteorološke podatke za lokaciju objekta (Split). Nakon otvaranja .idf datoteke zgrade otvara se već pripremljena podloga osnovnog modela koja se sastoji od glavnog izbornika, sklopnog izbornika, projekta sa osnovnim komponentama i biblioteke komponenata.

### 2.2.1. Konstrukcijski elementi zgrade

Karakteristike neprozirnih elemenata ovojnice

Kako bi odredili prijelaz topline kroz neprozirne elemente ovojnice (vanjske i unutarnje) kojom su definirane toplinske zone, potrebno je unutar toplinskog modela zgrade unijeti konstrukcijske materijale slojeva. Fizikalna svojstva materijala opisana su termodinamičkim podacima (gustoća  $\rho$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ], toplinska vodljivost  $\lambda$  [ $\text{W}/\text{mK}$ ], specifični toplinski kapacitet  $c$  [ $\text{J}/\text{kgK}$ ]), također potrebno je zadati debljinu sloja koji su definirani kao sloj s toplinskom masom. Potrebno je paziti na redosljed slojeva, koji uvelike utječe na iznos prijelaza topline i na akumulaciju topline. Koeficijenti prolaska topline  $U$  [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ] kroz ovojnicu ograničeni su unutar najvećih dopuštenih vrijednosti prema tehničkom zahtjevu. Ovisno o vrsti površine vanjske ovojnice zadani su koeficijenti apsorpcije i emisije sunčevog zračenja te koeficijent za konvektivni prijelaz topline s unutarnje i vanjske strane ovojnice. Tablično je prikazan sastav slojeva neprozirnih elemenata objekta prema arhitektonskom predlošku sa karakteristikama materijala i debljinom slojeva.

Neprozirni elementi toplinskog modela zgrade:

- strop/pod između katova
- unutarnji zid
- vanjski pod
- ravni krov
- vanjski zid

- pod prema tlu

Strop/pod između katova - karakteristike i sastav slojeva:

Tablica 2.1 Strop/pod između katova

| Rb | MATERIJAL                     | Debljina<br>$d$ [m] | Gustoća<br>$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | Specifični<br>toplinski<br>kapacitet<br>$c$ [J/kgK] | Toplinska<br>vodljivost<br>$\lambda$ [W/mK] |
|----|-------------------------------|---------------------|--|---|---|
| 1  | drvo – meko - crnogorica      | 0,022               | 500                                    | 1600  | 0,13  |
| 2  | cementni estrih               | 0,070               | 2000                                   | 1100  | 1,6   |
| 3  | PE folija                     | 0,001               | 1000                                   | 1250  | 0,18  |
| 4  | ekspandirani polistiren (EPS) | 0,040               | 12                                     | 1260  | 0,032                                       |
| 5  | armirani beton                | 0,200               | 2500                                   | 1000  | 2,6   |
| 6  | žbuka                         | 0,020               | 2000                                   | 1000  | 1,6   |

Koeficijenti konvektivnog prijelaza topline s obje strane:  $\alpha_{u,1}=3,056$  W/m<sup>2</sup>K,  $\alpha_{u,2}=3,056$  W/m<sup>2</sup>K

Koeficijent prolaska topline:  $U = 0,579$  [W/m<sup>2</sup>K]

Ukupna debljina:  $d = 0,353$  [m]

Unutarnji zid – karakteristike i sastav slojeva:

Tablica 2.2 Unutarnji zid

| Rb | MATERIJAL      | Debljina<br>$d$ [m] | Gustoća<br>$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | Specifični<br>toplinski<br>kapacitet<br>$c$ [J/kgK] | Toplinska<br>vodljivost<br>$\lambda$ [W/mK] |
|----|----------------|---------------------|--|---|---|
| 1  | gips – ploče   | 0,012               | 900                                    | 900   | 0,25  |
| 2  | mineralna vuna | 0,050               | 10                                     | 1030  | 0,035                                       |
| 3  | gips – ploče   | 0,012               | 900                                    | 900   | 0,25  |

Koeficijenti konvektivnog prijelaza topline s obje strane:  $\alpha_{u,1}=3,056$  W/m<sup>2</sup>K,  $\alpha_{u,2}=3,056$  W/m<sup>2</sup>K

Koeficijent prolaska topline  $U = 0,590$  [W/m<sup>2</sup>K]

Ukupna debljina  $d = 0,074$  [m]

Vanjski pod – karakteristike i sastav slojeva:

Tablica 2.3 Vanjski pod

| Rb | MATERIJAL                        | Debljina<br>$d$ [m] | Gustoća<br>$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | Specifični<br>toplinski<br>kapacitet<br>$c$ [J/kgK] | Toplinska<br>vodljivost<br>$\lambda$ [W/mK] |
|----|----------------------------------|---------------------|--|---|---|
| 1  | drvo – meko - crnogorica         | 0,022               | 500                                    | 1600  | 0,13  |
| 2  | cementni estrih                  | 0,070               | 2000                                   | 1100  | 1,6   |
| 3  | PE folija                        | 0,001               | 1000                                   | 1250  | 0,18  |
| 4  | ekstrudirana polistirenska pjena | 0,050               | 25                                     | 1450  | 0,033                                       |
| 5  | PE folija                        | 0,001               | 1000                                   | 1250  | 0,18  |
| 6  | armirani beton                   | 0,200               | 2500                                   | 1000  | 2,6   |
| 7  | ekspandirani polistiren (EPS)    | 0,020               | 12                                     | 1260  | 0,032                                       |
| 8  | žbuka                            | 0,020               | 2000                                   | 1000  | 1,6   |

Koeficijenti konvektivnog prijelaza topline s obje strane:  $\alpha_u=3,056$  W/m<sup>2</sup>K,  $\alpha_v=17,78$  W/m<sup>2</sup>K

Koeficijent prolaska topline  $U = 0,381$  [W/m<sup>2</sup>K]

Ukupna debljina  $d = 0,384$  [m]

Ravni krov – karakteristike i sastav slojeva:

Tablica 2.4 Ravni krov

| Rb | MATERIJAL                        | Debljina<br>$d$ [m] | Gustoća<br>$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | Specifični<br>toplinski<br>kapacitet<br>$c$ [J/kgK] | Toplinska<br>vodljivost<br>$\lambda$ [W/mK] |
|----|----------------------------------|---------------------|--|---|---|
| 1  | žbuka                            | 0,020               | 2000                                   | 1000  | 1,6   |
| 2  | armirani beton                   | 0,200               | 2500                                   | 1000  | 2,6   |
| 3  | beton                            | 0,040               | 2400                                   | 1000  | 2   |
| 4  | PE folija                        | 0,001               | 1000                                   | 1250  | 0,18  |
| 5  | ekstrudirana polistirenska pjena | 0,100               | 25                                     | 1450  | 0,033                                       |
| 6  | PE folija                        | 0,001               | 1000                                   | 1250  | 0,18  |
| 7  | mineralna vuna                   | 0,120               | 10                                     | 1030  | 0,035                                       |
| 8  | poliuretanska membrana           | 0,020               | 25                                     | 1400  | 0,023                                       |
| 9  | sljunak                          | 0,100               | 1700                                   | 1000  | 0,81  |

Koeficijenti konvektivnog prijelaza topline s obje strane:  $\alpha_u=3,056$  W/m<sup>2</sup>K,  $\alpha_v=17,78$  W/m<sup>2</sup>K

Koeficijent prolaska topline  $U = 0,129$  [W/m<sup>2</sup>K]

Ukupna debljina  $d = 0,602$  [m]



Vansjski zid – karakteristike i sastav slojeva:

Tablica 2.5 Vansjski zid

| Rb | MATERIJAL                     | Debljina<br>$d$ [m] | Gustoća<br>$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | Specifični<br>toplinski<br>kapacitet<br>$c$ [J/kgK] | Toplinska<br>vodljivost<br>$\lambda$ [W/mK] |
|----|-------------------------------|---------------------|--|---|---|
| 1  | žbuka                         | 0,020               | 2000                                   | 1000  | 1,6   |
| 2  | armirani beton                | 0,200               | 2500                                   | 1000  | 2,6   |
| 3  | ekspandirani polistiren (EPS) | 0,100               | 12                                     | 1260  | 0,032                                       |
| 4  | zrak                          | 0,040               | 1,29                                   | 1005  | 0,024                                       |
| 5  | kamen                         | 0,030               | 2000                                   | 1000  | 1,4   |

Koeficijenti konvektivnog prijelaza topline s obje strane:  $\alpha_u=3,056$  W/m<sup>2</sup>K,  $\alpha_v=17,78$  W/m<sup>2</sup>K

Koeficijent prolaska topline  $U = 0,197$  [W/m<sup>2</sup>K]

Ukupna debljina  $d = 0,390$  [m]

Pod prema tlu – karakteristike i sastav slojeva:

Tablica 2.6 Pod prema tlu

| Rb | MATERIJAL                     | Debljina<br>$d$ [m] | Gustoća<br>$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | Specifični<br>toplinski<br>kapacitet<br>$c$ [J/kgK] | Toplinska<br>vodljivost<br>$\lambda$ [W/mK] |
|----|-------------------------------|---------------------|--|---|---|
| 1  | drvo – meko - crnogorica      | 0,022               | 500                                    | 1600  | 0,13  |
| 2  | cementni estrih               | 0,070               | 2000                                   | 1100  | 1,6   |
| 3  | PE folija                     | 0,001               | 1000                                   | 1250  | 0,18  |
| 4  | ekspandirani polistiren (EPS) | 0,110               | 12                                     | 1260  | 0,032                                       |
| 5  | bitumenska membrana           | 0,004               | 1100                                   | 1000  | 0,23  |

Koeficijenti konvektivnog prijelaza topline s obje strane:  $\alpha_{front}=3,056$  W/m<sup>2</sup>K,  $\alpha_{back}=0,00027$

W/m<sup>2</sup>K

Koeficijent prolaska topline  $U = 0,260$  [W/m<sup>2</sup>K]

Ukupna debljina  $d = 0,207$  [m]

Koeficijenti apsorpcije i emisije sunčevog zračenja te koeficijent za konvektivni prijelaz topline s unutarnje i vanjske strane ovojnice prikazani su tablično za svaki od neprozirnih elemenata (tablica 2.7.)

Tablica 2.7 Koeficijenti apsorpcije i emisije sunčevog zračenja; koeficijenti prijelaza topline

| Rb | Konstrukcijski element  | Koeficijenti apsorpcije sunčevog zračenja, $\varepsilon$ |                 | Koeficijent prijelaza topline $\alpha$ [W/m <sup>2</sup> K] |                 |
|----|-------------------------|--|-----------------|---|-----------------|
|    |                         | Prednja strana   | Stražnja strana | Prednja strana  | Stražnja strana |
| 1  | strop/pod između katova | 0,25   | 0,4             | 3,056   | 3,056           |
| 2  | unutarnji zid           | 0,25   | 0,25            | 3,056   | 3,056           |
| 3  | vanjski pod             | 0,25   | 0,3             | 3,056   | 17,78           |
| 4  | ravni krov              | 0,6  | 0,4             | 3,056   | 17,78           |
| 5  | vanjski zid             | 0,25   | 0,3             | 3,056   | 17,78           |
| 6  | pod prema tlu           | 0,4  | 0,6             | 3,056   | 0,00027         |

#### Karakteristike prozirnih elemenata ovojnice (Window type manager)

Pod prozirne elemente ovojnice svrstavamo vrata i prozore s određenim značajkama koje utječu na iznos prijelaza topline, a osim toga imaju neke od pogodnosti kao što su propuštanje sunčevog zračenja, izolacija buke, toplinska izolacija, zaštita od svjetlosti, održavanje ugodnosti ambijenta, itd. Ostakljenje za sve prozirne elemente odabire se iz pripremljene biblioteke sa bazom podataka tipova prozora. Odabran je tip prozora sa dvostrukim ostakljenjem, sa staklom debljine 4 mm, s ispunom od 16 mm inertnog plina (argon) između stakala. Okvir je od PVC-a koji kod vanjskih prozora (EXT\_WINDOW) površinski zauzimaju 5% ukupne površine ostakljenja, dok kod vanjskih vrata (EXT\_DOOR) taj udio iznosi 50%. Elementi su definirani koeficijentom prolaska topline  $U = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$  te stupnjom propusnosti ukupnog sunčevog zračenja  $g = 0,622\%$ . Postoji mogućnost aktivacije unutarnjeg i vanjskog zasjenjenja čiji će utjecaji na stanje temperature zraka unutar zona, a i time na potrebne topline grijanja i hlađenja biti razmotrene.

#### 2.2.2. Prirodna ventilacija zraka (infiltracija)

Prirodnom ventilacijom zraka ostvaruje se infiltracija i minimalan broj izmjena zraka unutar zona definiranog toplinskog modela zgrade. Svakoj zoni narinuta je prirodna ventilacija unutar

„Infiltration type“ managera postavljanjem ukupnim brojem izmjena zraka tijekom jednog sata:

$$n = n_{inf} + n_{min} \quad (2.1)$$

$n_{inf}$  – broj izmjena infiltracijom [ $h^{-1}$ ]

$n_{min}$  – minimalan broj izmjena zraka [ $h^{-1}$ ]

$n_{min} = 0,5$  [ $h^{-1}$ ]

Normom DIN V 18599-2 slijedi izraz broja izmjene zraka infiltracijom [2]:

$$n_{inf} = e_{wind} \cdot n_{50} \quad (2.2)$$

U izrazu oznake predstavljaju:

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

$n_{50} = 2$  [ $h^{-1}$ ], za zgradu I kategorije općenitog određivanja zrakopropusnosti prema DIN V 18599-2

$e_{wind}$  – koeficijent klase zaklonjenosti zgrade od vjetra

$e_{wind} = 0,07$ , za zgrade kod kojih je izložena utjecaju vjetra više od jedne fasade te je zgrada srednje zaklonjena (HRN EN ISO 13789)

$$n_{inf} = 0,07 \cdot 2 = 0,14$$

Prirodna ventilacija koja je postavljena za svaku zonu (infiltration type: MINIMAL) određena ukupnim brojem izmjena zraka iznosi:

$$n = 0,14 + 0,5 = 0,64$$
 [ $h^{-1}$ ]

### 2.2.3. Dobici topline unutar toplinskih zona

Dodatno toplinsko opterećenje zona toplinskog modela postavljeni su kao unutarnji dobici topline (Gains). Dobici topline povećavaju potrebnu energiju za hlađenje, ali smanjuju potrebnu energiju grijanja. Obuhvaćaju dobitke zbog prisutnosti ljudi, dobitke uključenosti rasvjete, tehničke i ostale opreme. Neki od dobitaka su stalno prisutni u zoni, a neki kao što su toplinski dobici zbog prisutnosti ljudi i rasvjete nisu, te ih je potrebno analizirati kroz vremenske rasporede prisutnosti osoba u zoni i potrebe za rasvjetom. Kako bi pojednostavnili

proračun, postavlja se specifični dobitak od  $5 \text{ W/m}^2$  po korisnoj površini toplinske zone normiran za stambene zgrade (HRN EN 13790) [2].

#### 2.2.4. Grijanje i hlađenje

Postavkama grijanja i hlađenja može se pristupiti održavanjem zadane temperaturne vrijednosti zraka toplinske zone preko toplinskog opterećenja određenog tokovima topline neovisnih o opremi koja je predviđena (pristup potrebne energije - energy rate control), ili tako da utjecaj na stanje u zoni imaju i toplinski tokovi koji predstavljaju dobitke i gubitke uzrokovane opremom grijanja i hlađenja (pristup održavanja temperature – temperature level control). Grijanje i hlađenje postavljeno je kao „idealno“ što označava mogućnost održivosti zadanog stanja zone u bilo kojem vremenskom trenutku beskonačnim učinkom instalirane opreme. Postavne temperature zraka unutar toplinskih zona tijekom režima grijanja i hlađenja uzimaju se prema normi HRN EN 13790 za projektne temperaturne vrijednosti unutarnjeg zraka, te za sezonu grijanja iznosi  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , a tijekom sezone hlađenja temperatura zraka održava se na  $24 \text{ }^\circ\text{C}$ . Režimom hlađenja određeno je razvlaživanje zraka kako bi se relativna vlažnost zraka održala pri vrijednosti od 50%. Model grijanja ima mogućnost ovlaživanja zraka koje u slučaju predmetnog objekta nije predviđeno. U vremenskom periodu od svibnja do listopada predviđeno je hlađenje zona, a u svim ostalim mjesecima postavljen je režim grijanja toplinskih zona. Sve definirane zone se grije i hlade. Tablično je prikazan raspored režima grijanja i režima hlađenja po mjesecima tijekom godine za vremenski period kod kojeg se simulacija provodi.

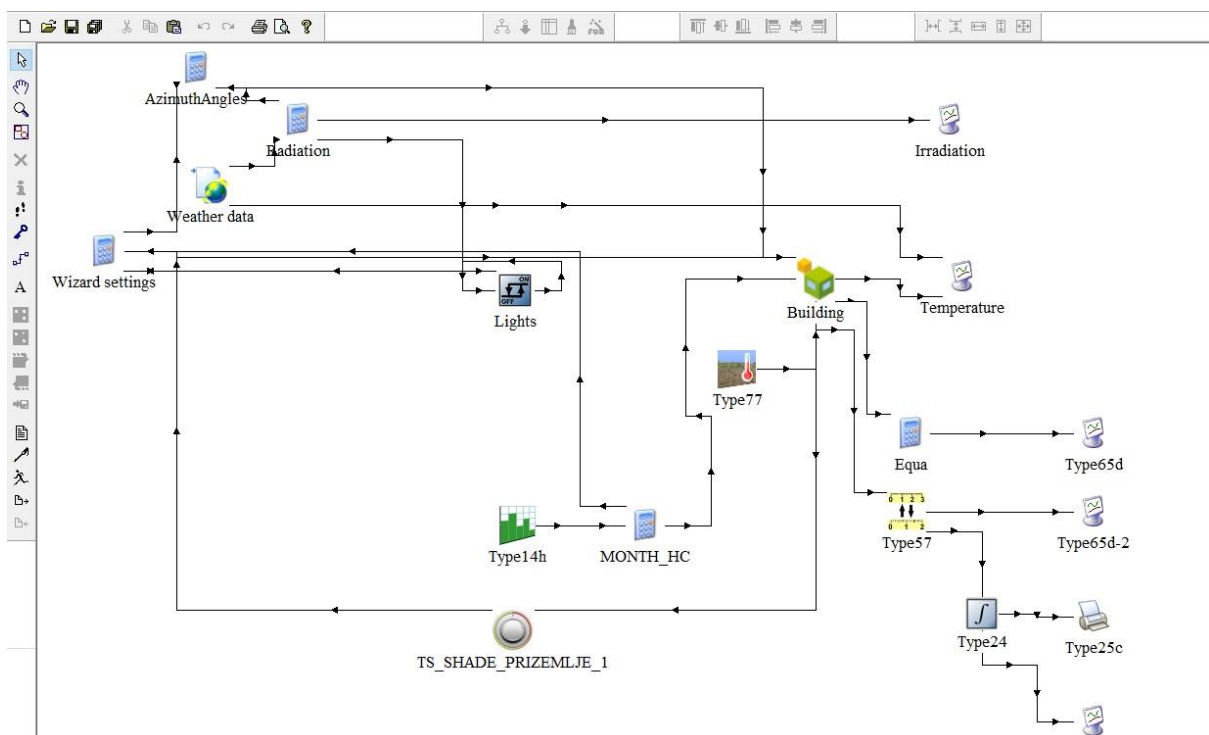
Tablica 2.8 Godišnji raspored grijanja/hlađenja tijekom mjeseci

| Mjesec   | Grijanje/hlađenje |
|----------|-------------------|
| Siječanj | grijanje          |
| Veljača  | grijanje          |
| Ožujak   | grijanje          |
| Travanj  | grijanje          |
| Svibanj  | hlađenje          |
| Lipanj   | hlađenje          |
| Srpanj   | hlađenje          |
| Kolovoz  | hlađenje          |
| Rujan    | hlađenje          |
| Listopad | grijanje          |
| Studeni  | grijanje          |

Nakon ugađanja toplinskog modela zgrade prema navedenim koracima, provođenjem simulacije za cijelu godinu s vremenskim korakom od 1 sata, dobivaju se izlazni podaci prema kojima se vrši analiza:

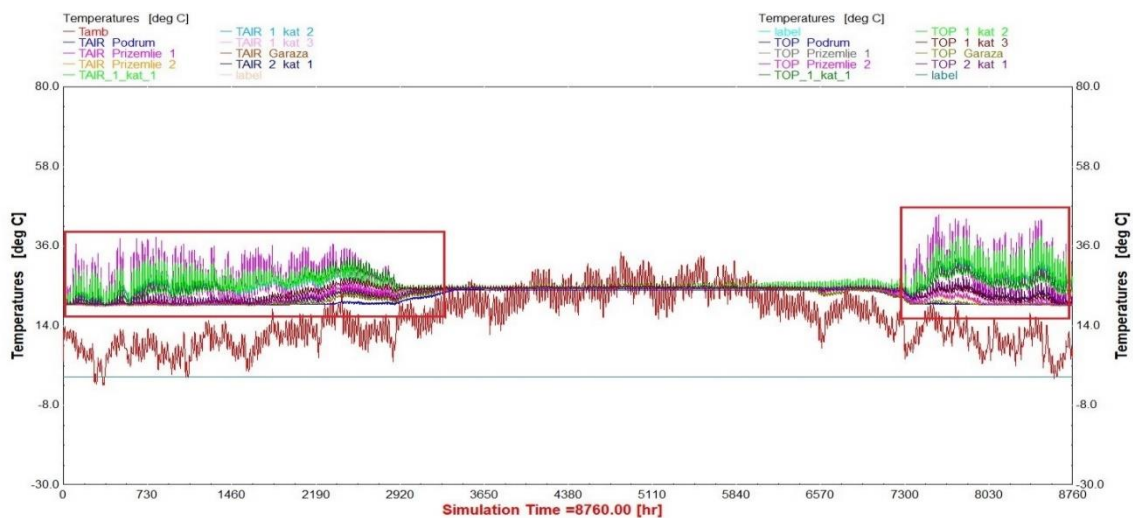
- mjesečna i cjelogodišnja potreba energije za grijanje objekta i pojedinih toplinskih zona
- mjesečna i cjelogodišnja potreba energije (osjetno) za hlađenje objekta i pojedinih toplinskih zona
- mjesečna i cjelogodišnja potreba energije (latentno) za hlađenje objekta i pojedinih toplinskih zona
- projektni učinci grijanja i hlađenja
- raspodjela stanja unutar toplinskih zona (npr. temperatura zraka unutar zona)

Na slici 2.3. prikazan je izgled grafičkog sučelja TRNSYS projekta osnovnog modela koji predstavlja bazu za daljnju provedbu simulacijskih analiza i proračuna.



Slika 2.3 Grafičko sučelje korisnika – osnovni model

Temperature zraka grijanih i hlađenih toplinskih zona pokazuju odstupanje od zahtjevanih postavni temperatura, i to za sezonu grijanja tijekom perioda zime, jeseni i proljeća što je prikazano temperaturnim grafom na slici 2.4. Postavna projektna temperatura iznosi 20 °C za režim grijanja, a na grafu je vidljivo da temperature zraka unutar zona premašuju taj iznos, odnosno dolazi do pregrijanja zona. Kako su proračunski podaci temperatura dobiveni za toplinski model bez zasjenjenja porebno je promotriti utjecaj zasjenjenja na temperaturni profil unutar zona. Tako će se provesti analiza modela bez zasjenjenja, modela s unutarnjim zasjenjenjem i modela s unutarnjim i vanjskim zasjenjenjem s ciljem smanjenja pregrijanja zona te utjecaj zasjenjenja na potrebu energije za grijanje i hlađenje tijekom cjelogodišnje simulacije.

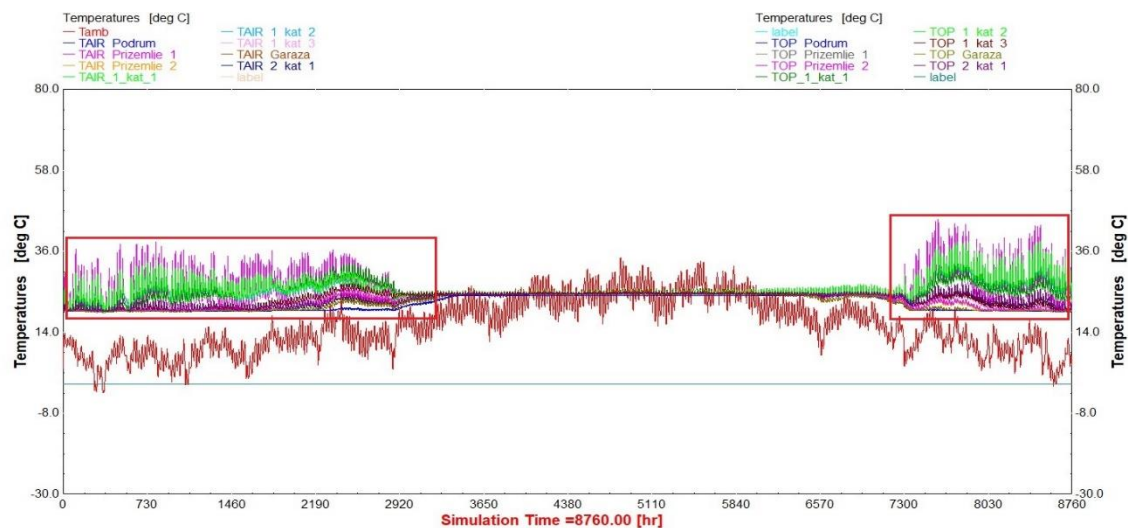


Slika 2.4 Temperaturni graf - model bez zasjenjenja

### 2.2.5. Utjecaj zasjenjenja

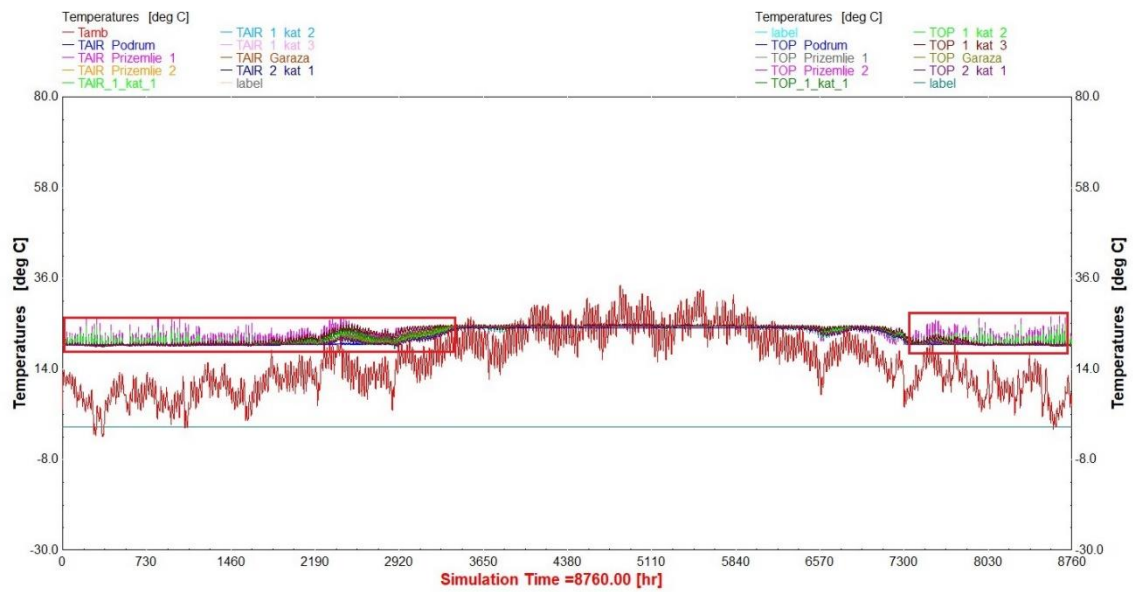
Postavlja se pasivno zasjenjenje prozirnih elemenata južnog pročelja te se generira matrica zasjenjenja i dozračene energije za definiranu geometriju. Za svaku od zona zadaje se detaljan model zračenja što utječe na vrijeme proračuna. Zatim kao drugi slučaj razmatranja utjecaja zasjenjenja postavlja se unutarnje aktivno zasjenjenje na neprozirnim elementima sa vanjskom regulacijom prema sezoni grijanja i praćenjem temperature zone prizemlje – prostorija 1 koja je usmjerena prema jugu sa velikom površinom neprozirnog elementa ovojnice. Faktor unutarnjeg zasjenjenja koji predstavlja odnos neprozirne površine zasjenjenja i ukupne

površine prozirnog elementa postavlja se na vrijednost 0,1. Za aktivna zasjenjenja, unutarnje i vanjsko, područje vanjske regulacije za aktivaciju je od 1040 W/m<sup>2</sup> ljeti i 140 W/m<sup>2</sup> zimi, dok je za deaktivaciju do 1020 W/m<sup>2</sup> ljeti i 120 W/m<sup>2</sup> zimi. Na slici 2.5. prikazan je temperaturni graf toplinskih zona u slučaju unutarnjeg zasjenjenja.



Slika 2.5 Temperaturni graf – model s unutarnjim zasjenjenjem

Iz temperaturnog grafa vidljivo je da postavljeno unutarnje zasjenjenje nije rezultiralo poboljšanjima u vidu zadovoljavanja postavljenih temperaturnih vrijednosti za period grijanja, odnosno da je i dalje prisutno pregrijanje. Sljedeća mogućnost sprječavanja pregrijavanja unutar zona jest postavljenje i vanjskog aktivnog zasjenjenja tako da će sljedeći analizirani slučaj biti model s unutarnjim i vanjskim zasjenjenjem. Vanjsko zasjenjenje je također upravljano vanjskom regulacijom kao i unutarnje zasjenjenje sa istim područjem regulacije i faktorom vanjskog zasjenjenja 0.8. Na slici 2.6. prikazan je temperaturni graf toplinskih zona u slučaju unutarnjeg i vanjskog zasjenjenja.



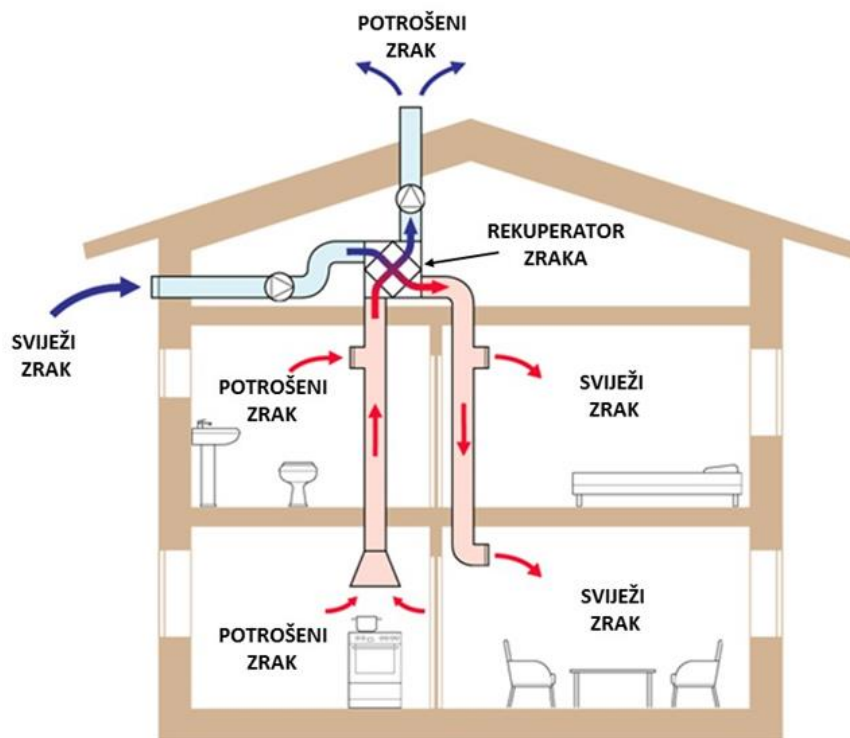
Slika 2.6 Temperaturni graf - model s unutarnjim i vanjskim zasjenjenjem

Temperaturnim poravnanjem iz grafa vidljivo je da se umanjilo pregrijavanje tijekom režima grijanja te se u većini toplinskih zona postigla projektna temperatura unutarnjeg zraka, a kod ostalih je vrlo blizu te vrijednosti te se slučaj modela sa unutarnjim i vanjskim zasjenjenjem može smatrati zadovoljavajuć.



### 3. MEHANIČKA VENTILACIJA

Unutar toplinskog modela zgrade za sve slučajeve zasjenjenja implementiran je tehnički sustav mehaničke ventilacije za pokrivanje minimalnog provjetravanja s rekuperativnim povratom topline. Sastavni dijelovi ventilacijskog uređaja su odsisni i tlačni ventilator i pločasti izmjenivač za povrat topline (rekuperator). Rekuperator omogućuje iskorištavanje topline ustajalog zraka kojom se podiže temperatura ulaznog svježeg zraka, odnosno zagrijavanjem dovodnog zraka postiže se efekt smanjenja potrebe energije za grijanje. Na slici 3.1. prikazan je način rada mehaničke ventilacije s dodatnim iskorištavanjem topline otpadnog zonskog zraka, tj. rekuperacijom topline.



*Slika 3.1 Mehanička ventilacija s rekuperacijom topline [3]*

Centralni uređaj sustava mehaničke ventilacije jest ventilacijski uređaj s ugrađenim ventilatorom i rekuperatorom (pločastim izmjenjivačem topline). Usisnim zračnim kanalima dovodi se vanjski svježi zrak koji u kontaktu sa izmjeničnom površinom rekuperatora na sebe preuzima toplinu otpadnog zraka iz toplinskih zone te se tako pripremljen distribucijskim

kanalima odvodi se svih zona unutar objekta. Paralelno se odvodi otpadni zrak iz prostorija odsisnim zračnim kanalima preko rekuperatora s kojim izmjenjuje toplinu van u okolinu. Ventilacijski uređaj se odabire prema masenom protoku zraka svih toplinskih zona.

Maseni protok zraka pojedine zone dobije se iz podataka volumen zone, minimalnog broja izmjene zraka i gustoće zraka:

$$\dot{m}_{zr} = V_{zone} \cdot \rho_{zr} \cdot n_{min} \quad (3.1)$$

$V_{zone}$  – volumen zone [m<sup>3</sup>]

$\rho_{zr}$  – gustoća zraka [kg/m<sup>3</sup>],  $\rho_{zr} = 1,2$  [kg/m<sup>3</sup>]

$n_{min}$  – minimalni broj izmjena zraka [h<sup>-1</sup>],  $n_{min} = 0,5$  [h<sup>-1</sup>]

Zona: podrum

$$\dot{m}_{zr} = 126,477 \cdot 1,2 \cdot 0,5 = 76,14 \text{ [kg/h]}$$

Zona: prizemlje – prostorija 1

$$\dot{m}_{zr} = 252,89 \cdot 1,2 \cdot 0,5 = 152,24 \text{ [kg/h]}$$

Zona: prizemlje – prostorija 2

$$\dot{m}_{zr} = 346,637 \cdot 1,2 \cdot 0,5 = 208,68 \text{ [kg/h]}$$

Zona: 1. kat – prostorija 1

$$\dot{m}_{zr} = 87,068 \cdot 1,2 \cdot 0,5 = 52,41 \text{ [kg/h]}$$

Zona: 1. kat – prostorija 2

$$\dot{m}_{zr} = 126,54 \cdot 1,2 \cdot 0,5 = 76,18 \text{ [kg/h]}$$

Zona: 1. kat prostorija 3

$$\dot{m}_{zr} = 322,848 \cdot 1,2 \cdot 0,5 = 194,35 \text{ [kg/h]}$$

Zona: 2. kat – prostorija 1

$$\dot{m}_{zr} = 88,175 \cdot 1,2 \cdot 0,5 = 53,08 \text{ [kg/h]}$$

Zona: 2. kat – prostorija 2

$$\dot{m}_{zr} = 153,016 \cdot 1,2 \cdot 0,5 = 92,12 \text{ [kg/h]}$$

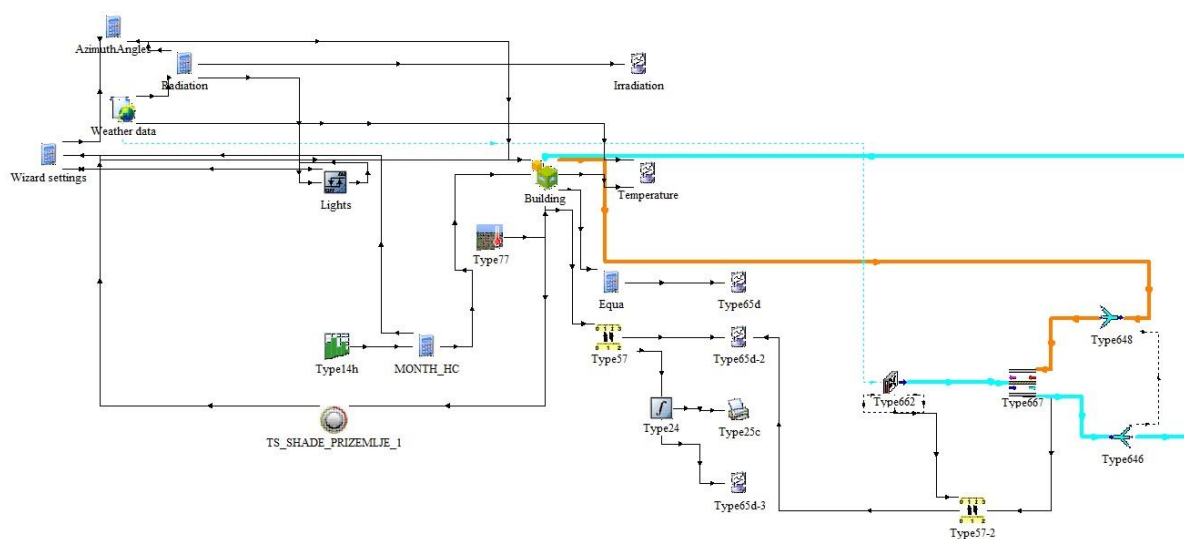
Ukupni maseni protok zraka:

$$\Sigma m_{zr} = 905,2 \text{ [kg/h]}$$

Potrebna je jedan odabrani ventilacijski uređaj Vaillant VAR 260/4 po etaži objekta za ukupni maseni protok zraka. Tehničke karakteristike uređaja prikazane su u tablici 3.1.

Tablica 3.1 Vaillant VAR 260/4

| recoVAIR                                    | Jedinice          | VAR 260/4   |
|---|-------------------|-------------|
| Maksimalni protok zraka                     | m <sup>3</sup> /h | 260         |
| Snaga ventilatora                           | W                 | 108         |
| Klasifikacijski razred filtera (usis zraka) |                   | F7          |
| Klasifikacijski razred filtera (ispuh zrak) |                   | G7          |
| Stupanj iskoristivosti                      | %                 | 92          |
| Maksimalna sobna temperatura                | °C                | 40          |
| Minimalna sobna temperatura                 | °C                | 10          |
| Dimenzije (VxŠxD)                           | mm                | 885x595x631 |
| Težina                                      | kg                | 40          |
| Zračni priključci (4 kom.)                  | mm                | 180/150     |
| Razina zvučnog tlaka                        | dB                | 50          |
| Napajanje                                   | V                 | 230         |



Slika 3.2 Grafičko sučelje korisnika – mehanička ventilacija

## 4. POTREBNA ENERGIJA ZA GRIJANJE I HLAĐENJE

Provedbom računalne simulacije promatrani su utjecaji zasjenjenja na potrošnju energije za grijanje i hlađenje cjelokupnog objekta. Također analizirana je primjena tehničkog sustava mehaničke ventilacije s rekuperacijom topline i njen utjecaj na izlazne vrijednosti energetske potreba.

Rezultati simulacije, odnosno traženi izlazni podaci jesu:

- mjesečna i cjelogodišnja vrijednost potrebne energije za grijanje cjelokupnog objekta
- mjesečna i cjelogodišnja vrijednost potrebne osjetne i latentne energije za hlađenje cjelokupnog objekta

Tražene vrijednosti prikazane su tablično i grafički za sljedeće varijante modela s obzirom na tip zasjenjenja i vrstu ventilacije (tablica 4.1.).

*Tablica 4.1 Varijante modela s obzirom na tip zasjenjenja i vrstu ventilacije*

| Varijanta modela | Tip zasjenjenja                 | Ventilacija                           |
|------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 1                | Bez zasjenjenja                 | Prirodna ventilacija                  |
| 2                | Bez zasjenjenja                 | Mehanička ventilacija s rekuperacijom |
| 3                | Unutarnje zasjenjenje           | Prirodna ventilacija                  |
| 4                | Unutarnje zasjenjenje           | Mehanička ventilacija s rekuperacijom |
| 5                | Unutarnje i vanjsko zasjenjenje | Prirodna ventilacija                  |
| 6                | Unutarnje i vanjsko zasjenjenje | Mehanička ventilacija s rekuperacijom |

### 4.1. Osnovni model

Osnovni model je slučaj bez zasjenjenja i bez primjene mehaničke ventilacije s rekuperacijom čiji rezultati proračuna služe kao polazne usporedne vrijednosti kako bi mogli vidjeti kolike su promjene u iznosima potrebnih energija u ovisnosti o utjecaju zasjenjenja i rekuperaciji topline mehaničkom ventilacijom.

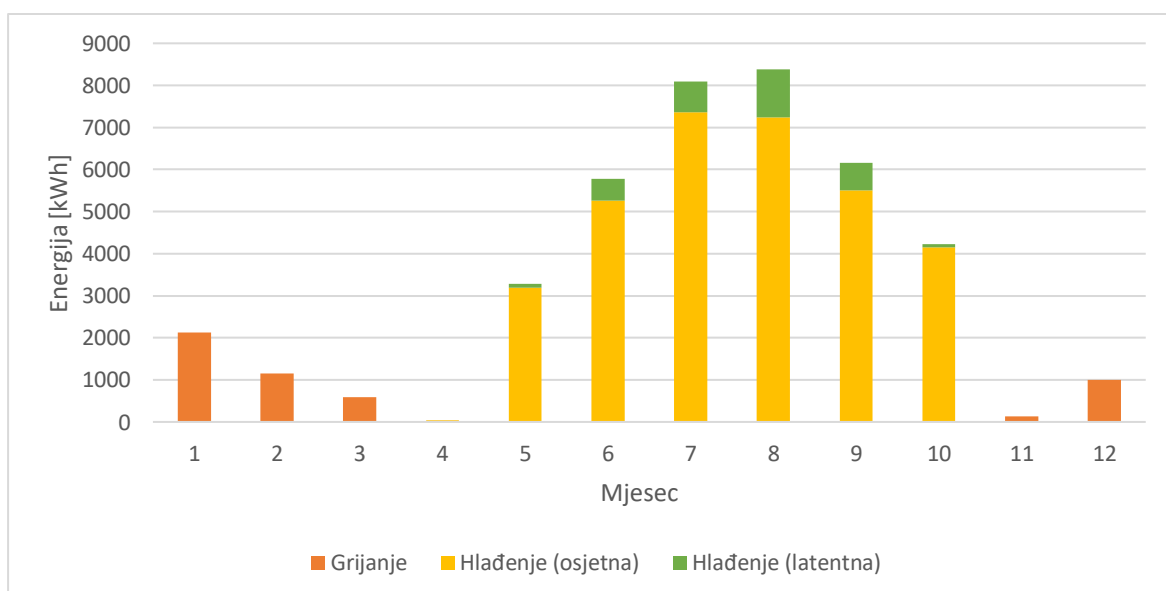
Tablica 4.2. prikazuje potrebne energije za grijanje i hlađenje (osjetna i latentna) za cijeli objekt po mjesecima.

Tablica 4.2 Potrebne energije za grijanje i hlađenje (osjetna + latentna) - osnovni model

| Mjesec   | Energija za grijanje [kWh] | Energija za hlađenje (osjetna + latentna) [kWh] |
|----------|----------------------------|---|
| 1        | 2124                       | 0   |
| 2        | 1152                       | 0   |
| 3        | 588                        | 0   |
| 4        | 24                         | 0   |
| 5        | 0                          | 3285  |
| 6        | 0                          | 5782  |
| 7        | 0                          | 8097  |
| 8        | 0                          | 8373  |
| 9        | 0                          | 6153  |
| 10       | 0                          | 4230  |
| 11       | 138                        | 0   |
| 12       | 1006                       | 0   |
| $\Sigma$ | 5032                       | 35920   |

Godišnja potreba energije za slučaj bez zasjenjenja i bez mehaničke ventilacije iznosi 5032 kWh za grijanje i 35920 kWh za hlađenje.

Podaci su prikazani i grafički na slici 4.1.



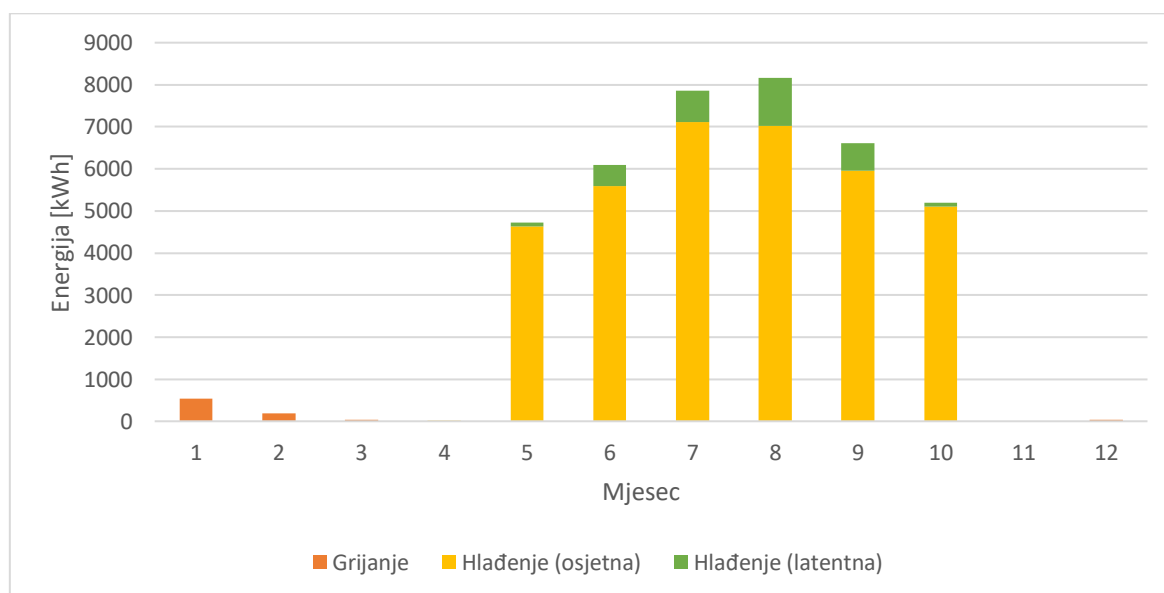
Slika 4.1 Grafički prikaz potrebnih energija - osnovni model

## 4.2. Osnovni model (mehanička ventilacija)

Na osnovnom modelu je primjenjena mehanička ventilacija s povratom topline (rekuperator). Rezultati potrebnih energija prikazani su u tablici 4.3. i grafički na slici 4.2.

Tablica 4.3 Potrebne energije za grijanje i hlađenje (osjetna + latentna) - osnovni model (mehanička ventilacija)

| Mjesec   | Energija za grijanje [kWh] | Energija za hlađenje (osjetna+latentna) [kWh] |
|----------|----------------------------|---|
| 1        | 539                        | 0   |
| 2        | 186                        | 0   |
| 3        | 33                         | 0   |
| 4        | 0                          | 8   |
| 5        | 0                          | 4730  |
| 6        | 0                          | 6100  |
| 7        | 0                          | 7861  |
| 8        | 0                          | 8160  |
| 9        | 0                          | 6613  |
| 10       | 0                          | 5197  |
| 11       | 0                          | 0   |
| 12       | 33                         | 0   |
| $\Sigma$ | 791                        | 38669   |



Slika 4.2 Grafički prikaz potrebnih energija - osnovni model (mehanička ventilacija)

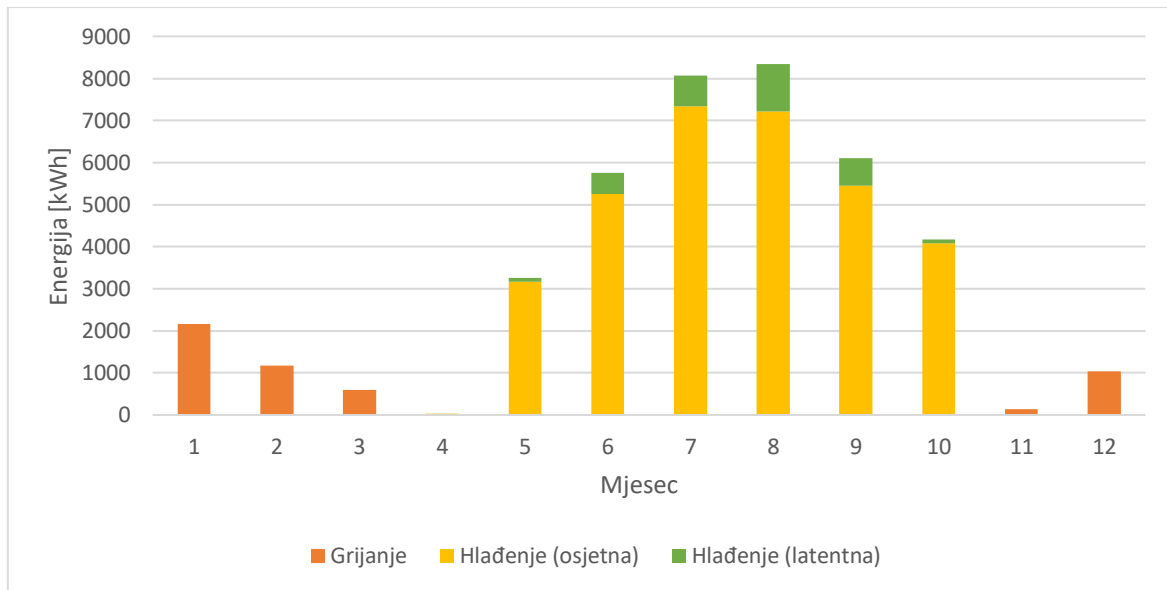
Energija za grijanje se smanjila u odnosu na slučaj bez mehaničke ventilacije i iznosi 791 kWh na godišnjoj razini za cijeli objekt, potrebna energija za hlađenje se povećala te iznosi 38669 kWh.

### 4.3. Model s unutarnjim zasjenjenjem

Rezultati proračuna za model s unutarnjim aktivnim zasjenjenjem s vanjskom regulacijom bez mehaničke ventilacije prikazani su tablično i grafički.

*Tablica 4.4 Potrebne energije za grijanje i hlađenje (osjetna + latentna) – model s unutarnjim zasjenjenjem*

| Mjesec   | Energija za grijanje [kWh] | Energija za hlađenje (osjetna+latentna) [kWh] |
|----------|----------------------------|---|
| 1        | 2163                       | 0   |
| 2        | 1175                       | 0   |
| 3        | 599                        | 0   |
| 4        | 25                         | 0   |
| 5        | 0                          | 3260  |
| 6        | 0                          | 5761  |
| 7        | 0                          | 8075  |
| 8        | 0                          | 8348  |
| 9        | 0                          | 6111  |
| 10       | 0                          | 4166  |
| 11       | 143                        | 0   |
| 12       | 1030                       | 0   |
| $\Sigma$ | 5135                       | 35721   |



Slika 4.3 Grafički prikaz potrebnih energija – model s unutarnjim zasjenjenjem

Za potrebe grijanja energija iznosi 5135 kWh što je povećanje u usporedbi s osnovnim modelom bez zasjenjenja. Uzrok povećanja energije za grijanje je manjak pasivnog iskorištenja sunčevog zračenja tijekom zimskog perioda kada bi se dozračena energija trebala maksimalno iskoristiti i tako osigurati što više toplinskih dobitaka. Tijekom ljetnih mjeseci potrebno je spriječiti dodatna toplinska opterećenja objekta uzrokovanog vanjskom dozračenom energijom primjenom zasjenjenja. Primjenom samo unutarnjeg zasjenjenja nije postignuto zadovoljavajuće spriječavanje pregrijavanja unutar zona tako da se potrebe energije nisu bitnije umanjile i za sezonu hlađenja iznosi 35721 kWh.

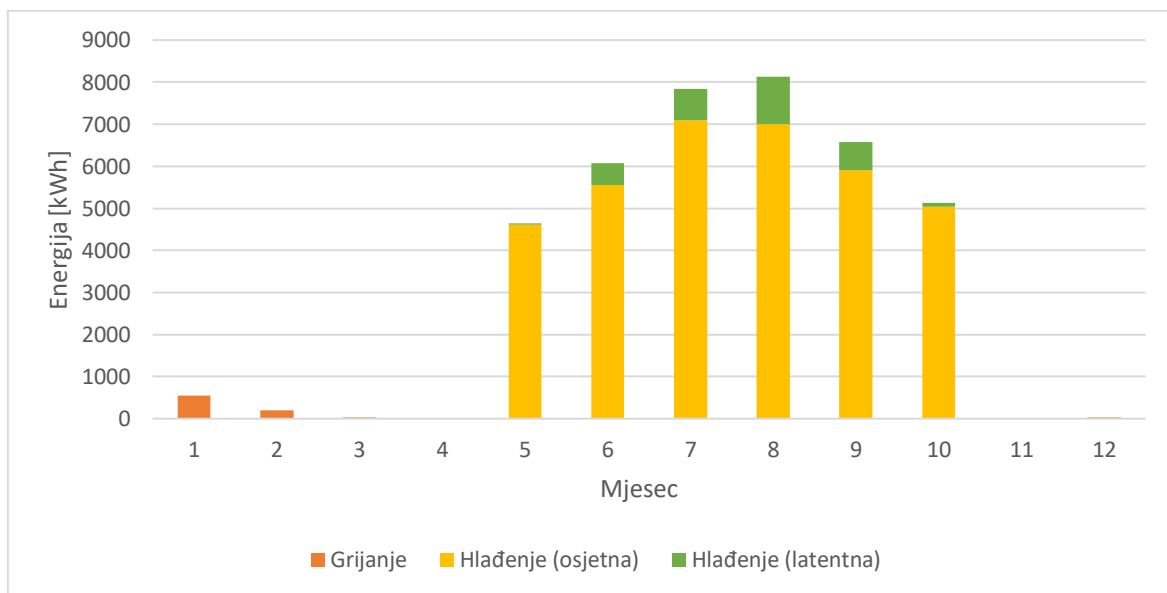
#### 4.4. Model s unutarnjim zasjenjenjem (mehanička ventilacija)

Na model s unutarnjim zasjenjenjem implementirana je mehanička ventilacija za potrebe minimalne izmjene zraka s povratom otpadne topline unutarnjeg na dovedeni vanjski zrak kako bi se osigurala ušteda energije čiji su iznosi za promatrani slučaj prikazani u tablici 4.5. i stupičastim grafikonom na slici 4.4.



Tablica 4.5 Potrebne energije za grijanje i hlađenje (osjetna + latentna) – model s unutarnjim zasjenjenjem (mehanička ventilacija)

| Mjesec   | Energija za grijanje [kWh] | Energija za hlađenje (osjetna+latentna) [kWh] |
|----------|----------------------------|---|
| 1        | 557                        | 0   |
| 2        | 192                        | 0   |
| 3        | 35                         | 0   |
| 4        | 0                          | 8   |
| 5        | 0                          | 4697  |
| 6        | 0                          | 6078  |
| 7        | 0                          | 7839  |
| 8        | 0                          | 8135  |
| 9        | 0                          | 6571  |
| 10       | 0                          | 5126  |
| 11       | 0                          | 0   |
| 12       | 37                         | 0   |
| $\Sigma$ | 821                        | 38454   |



Slika 4.4 Grafički prikaz potrebnih energija – model s unutarnjim zasjenjenjem (mehanička ventilacija)

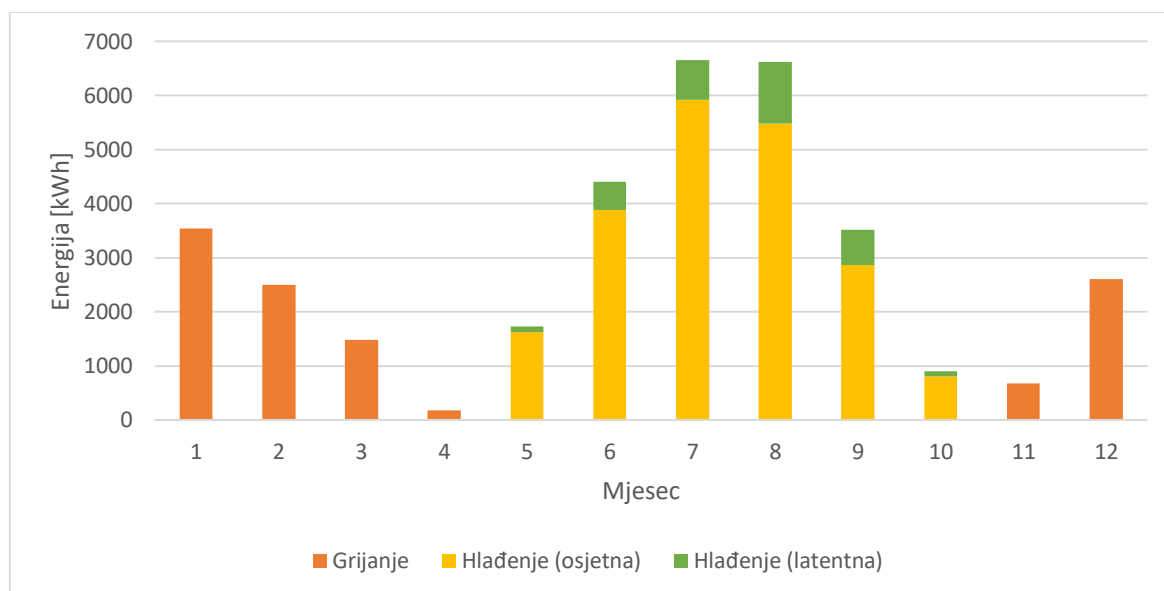
Očekivano smanjila se energija za godišnje potrebe grijanja objekta u iznosu od 821 kWh, nasuprot tomu povećala se energija za hlađenje 38454 kWh.

#### 4.5. Model s unutarnjim i vanjskim zasjenjenjem

Aktivirano je unutarnje i vanjsko zasjenjenje s ranije definiranom vanjskom regulacijom te su iznosi potrebnih energija grijanja i hlađenja za mjesečne periode na razini cjelog objekta nakon provedenog proračuna simulacije prikazani kao i za prethodne slučajeve tablično i grafički.

Tablica 4.6 Potrebne energije za grijanje i hlađenje (osjetna + latentna) – model s unutarnjim i vanjskim zasjenjenjem

| Mjesec   | Energija za grijanje [kWh] | Energija za hlađenje (osjetna+latentna) [kWh] |
|----------|----------------------------|---|
| 1        | 3544                       | 0   |
| 2        | 2502                       | 0   |
| 3        | 1480                       | 0   |
| 4        | 173                        | 0   |
| 5        | 0                          | 1731  |
| 6        | 0                          | 4400  |
| 7        | 0                          | 6656  |
| 8        | 0                          | 6612  |
| 9        | 0                          | 3521  |
| 10       | 0                          | 904   |
| 11       | 677                        | 0   |
| 12       | 2606                       | 0   |
| $\Sigma$ | 10982                      | 23824   |



Slika 4.5 Grafički prikaz potrebnih energija – model s unutarnjim i vanjskim zasjenjenjem

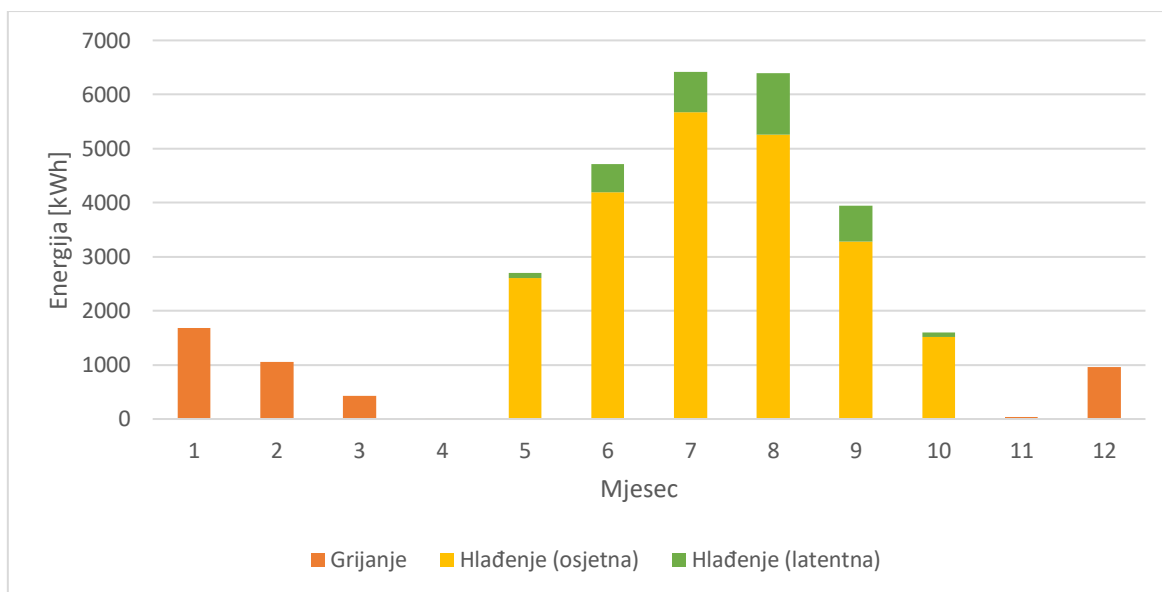
Može se uočiti da je energija za grijanje, u usporedbi s osnovnim modelom i aktivacijom samo unutarnjeg zasjenjenja znatno porasla i iznosi 10982 kWh. Aktivacijom i vanjskog zasjenjenja intenzivirano je smanjenje vanjskih toplinski dobitaka sunčevog zračenja što je rezultiralo većom potrebnom energijom za grijanje. Tijekom sezone hlađenja energetska opterećenje objekta se smanjilo za značajan iznos dodatnim smanjenjem pregrijavanja prostora sprječavanjem vanjskog zračenja kroz prozirne elemente ovojnice. Potrebna energija za cjelokupan objekt tijekom mjeseci u sezoni hlađenja iznosi 23824 kWh.

#### 4.6. Model s unutarnjim i vanjskim zasjenjenjem (mehanička ventilacija)

Rezultati proračuna simulacije prikazani tablično i grafički:

*Tablica 4.7 Potrebne energije za grijanje i hlađenje (osjetna + latentna) – model s unutarnjim i vanjskim zasjenjenjem (mehanička ventilacija)*

| Mjesec   | Energija za grijanje [kWh] | Energija za hlađenje (osjetna+latentna) [kWh] |
|----------|----------------------------|---|
| 1        | 1677                       | 0   |
| 2        | 1060                       | 0   |
| 3        | 428                        | 0   |
| 4        | 0                          | 1   |
| 5        | 0                          | 2703  |
| 6        | 0                          | 4709  |
| 7        | 0                          | 6420  |
| 8        | 0                          | 6398  |
| 9        | 0                          | 3946  |
| 10       | 0                          | 1603  |
| 11       | 38                         | 0   |
| 12       | 964                        | 0   |
| $\Sigma$ | 4167                       | 25779   |



Slika 4.6 Grafički prikaz potrebnih energija – model s unutarnjim i vanjskim zasjenjenjem

Energija za grijanje znatno se smanjila rekuperacijom topline i iznosi 4167 kWh dok energija za hlađenje se povećala s 23824 kWh na 25779 kWh.

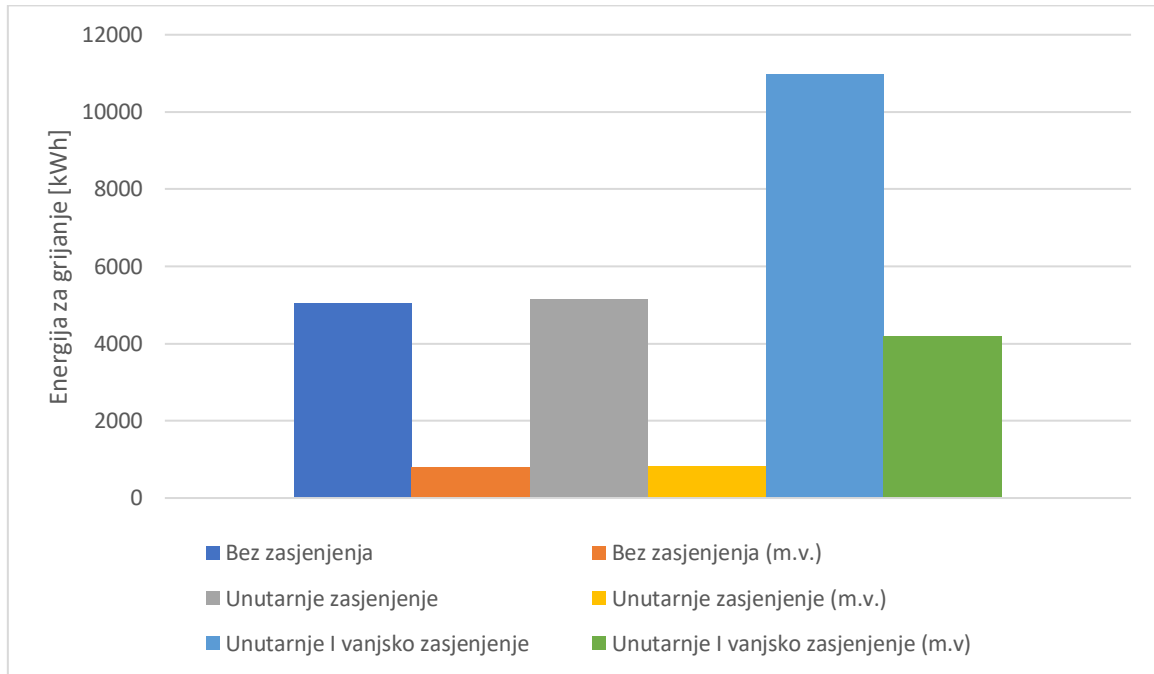
#### 4.7. Usporedba rezultata proračuna

Radi preglednije usporedbe prikazane su cjelogodišnje potrebe energije za objekt u ovisnosti o utjecaju zasjenjenja i rekuperacije topline primjenom mehaničke ventilacije s rekuperatorom.

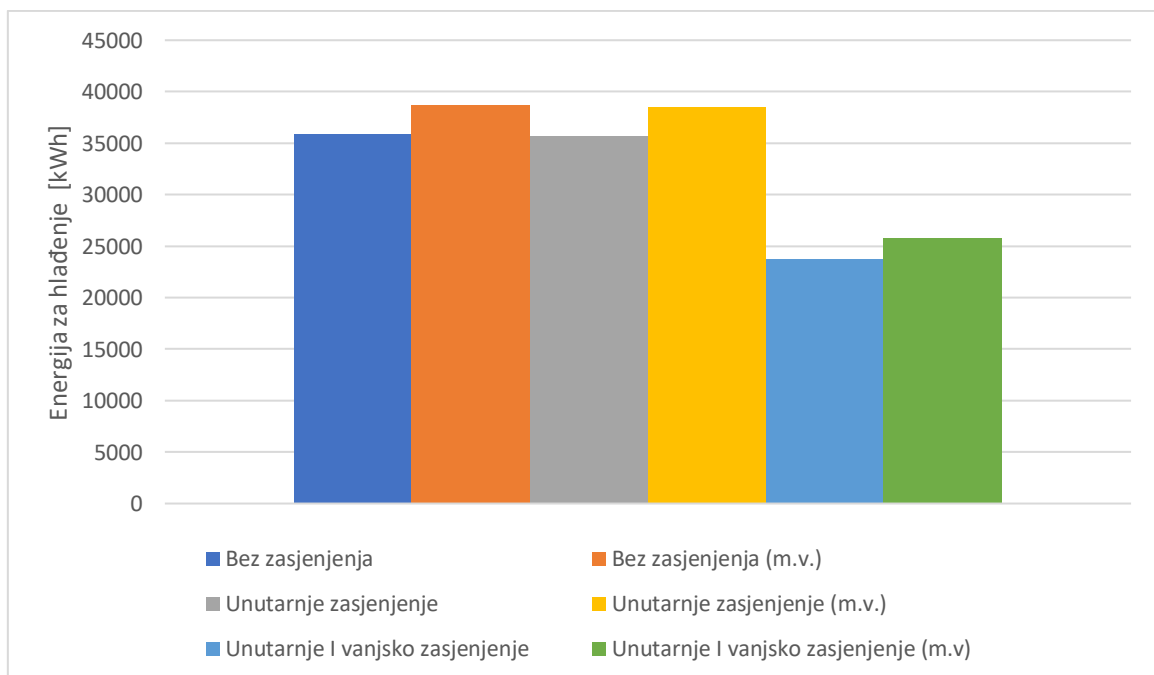
Tablica 4.8 Usporedba energija za potrebe grijanja i hlađenja objekta

|  | Energija za grijanje [kWh] | Energija za hlađenje (ukupna) [kWh] |
|--|----------------------------|-------------------------------------|
| Bez zasjenjenja                        | 5032                       | 35920                               |
| Bez zasjenjenja (m.v)                  | 791                        | 38669                               |
| Unutarnje zasjenjenje                  | 5135                       | 35721                               |
| Unutarnje zasjenjenje (m.v.)           | 821                        | 38454                               |
| Unutarnje i vanjsko zasjenjenje        | 10982                      | 23824                               |
| Unutarnje i vanjsko zasjenjenje (m.v.) | 4167                       | 25779                               |

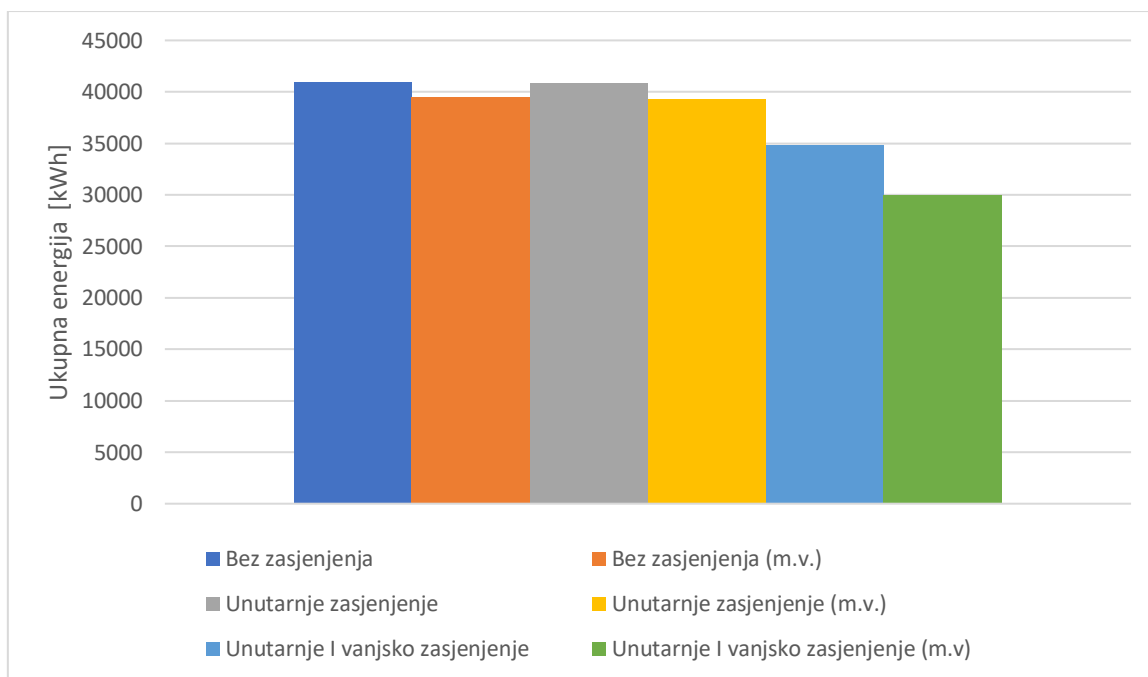
Usporedba rezultata proračuna potrebne energije za grijanje i hlađenje te ukupnih energija za grijanje i hlađenje prikazano je grafički na slikama 4.7., 4.8. i 4.9.



Slika 4.7 Grafički prikaz usporedbe energije za grijanje



Slika 4.8 Grafički prikaz usporedbe energije za hlađenje



*Slika 4.9 Grafički prikaz usporedbe ukupne potrebne energije za grijanje i hlađenje*

Usporedbom svih promatranih slučajeva najmanja potrebna energija za grijanje i hlađenje objekta omogućuje se aktivacijom unutarnjeg i vanjskog zasjenjenja sa primjenom mehaničke ventilacije s rekuperatorom te s tako definiranim modelom se kreće u daljnje simulacijske proračune.

## 5. PROJEKTNI UČINCI ZA GRIJANJE I HLAĐENJE

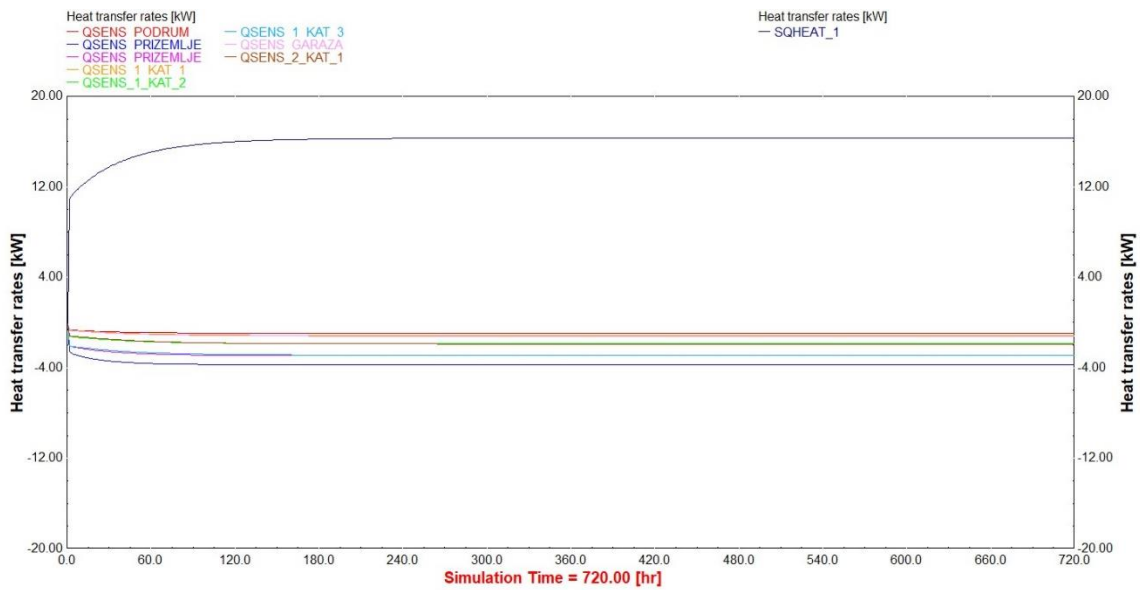
Dimenzioniranje opreme implementirane unutar tehničkih sustava objekta vrši se na temelju određenih učinaka u definiranim projektним uvjetima. Prikazani su projektни učinci grijanja i hlađenja za tri toplinska modela zgrade u ovisnosti o utjecaju zasjenjenja (odabrani model za daljnju simulaciju je s unutarnjim i vanjskim zasjenjenjem zbog najveće sličnosti s pogonom u stvarnim uvjetima i najmanjih potreba energije grijanja i hlađenja).

Pri određivanju projektnih učinaka grijanja i hlađenja provođenje topline kroz ovojnicu zgrade promatraju se kao stacionarni slučajevi. Učinci su postavljeni za projektne uvjete kojima su definirane temperature unutar grijanih/hlađenih prostorija, vanjske projektne temperature za lokaciju objekta, temperatura tla, relativna vlažnost zraka. Kod režima grijanja za grad Split vanjska projektna temperatura zraka iznosi  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  te se zrak unutar zona grije na  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  bez prekida. Temperatura tla je konstantna i po iznosu jednaka srednjoj vanjskoj temperaturi zraka  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Utjecaj sunčevog zračenja i dobici toplina unutar zona nisu uključeni u proračun.

Stanje vanjskog zraka pri projektним uvjetima kod sezone hlađenja za grad Split određeno je konstantnom temperaturom od  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  i konstantnom relativnom vlažnošću 79%. Temperatura unutar prostorija je  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$  te se održava pri toj vrijednosti bez prekida rada. Simulacija proračuna provodi se za period ljeta unutar kojeg je uključen utjecaj sunčevog zračenja i unutarnjih dobitaka topline.

### 5.1. Projektни učinci – model bez zasjenjenja

Projektни učinci za grijanje jednaki su kod sva tri slučaja te su rezultati učinaka po zonama i ukupni učinak prikazani grafom za period simulacije do 720-og sata na slici 5.1. Također vrijednosti projektnih učinaka grijanja po zonama prikazani su tablicom 5.1.



Slika 5.1 Projektni učinci za grijanje

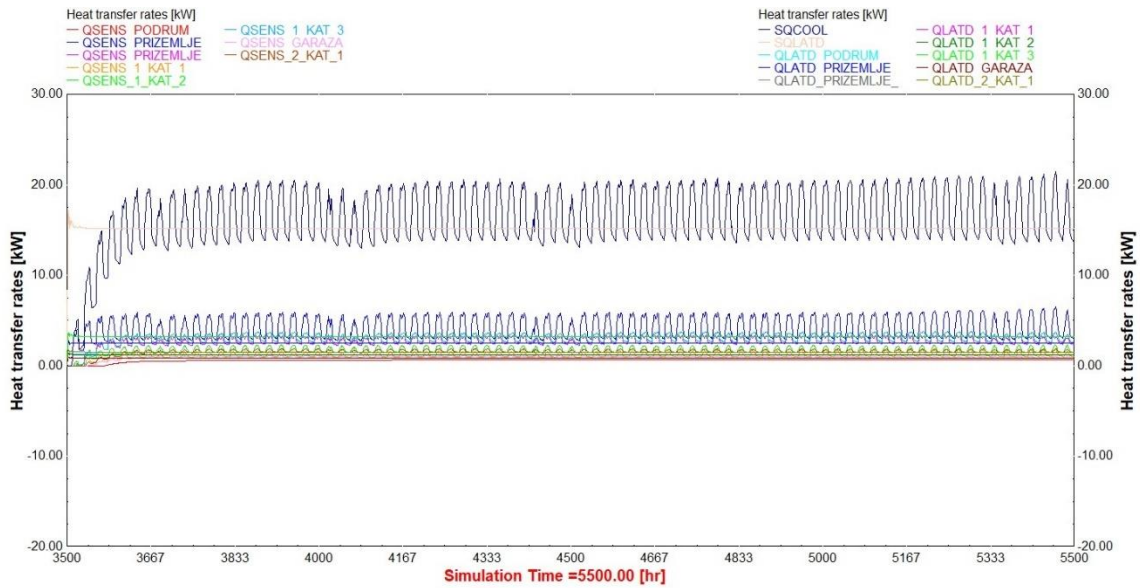
Tablica 5.1 Projektni učinci za grijanje

| Toplinska zona | Projektni učinak – grijanje [kW] |
|----------------|----------------------------------|
| Podrum         | 0,907                            |
| Prizemlje_1    | 3,7                              |
| Prizemlje_2    | 2,9                              |
| 1_kat_1        | 1,13                             |
| 1_kat_2        | 1,83                             |
| 1_kat_3        | 2,85                             |
| 2_kat_1        | 1,17                             |
| 2_kat_2        | 1,85                             |
| Ukupno         | 16,33                            |

Maksimalni učinak iznosi 16,33 kW kod sva tri slučaja zasjenjenja te oprema za predaju topline dimenzionira se da može isporučiti tu količinu energije za potrebe grijanja.

Provedbom proračuna za projektne učinke hlađenja tražene su maksimalne vrijednosti po zonama koje se pojavljuju u određenom vremenskom trenutku tijekom perioda simulacije. Rezultati proračuna razlikuju se za sva tri slučaja zasjenjenja. Učinci hlađenja za model zgrade bez zasjenjenja prikazani su na slici 5.2.





Slika 5.2 Projektni učinci za hlađenje - model bez zasjenjenja

Maksimalne vrijednosti projektnih učinaka za hlađenje po zonama prikazani su u tablici 5.2.

Tablica 5.2 Maksimalni projektni učinci za hlađenje – model bez zasjenjenja

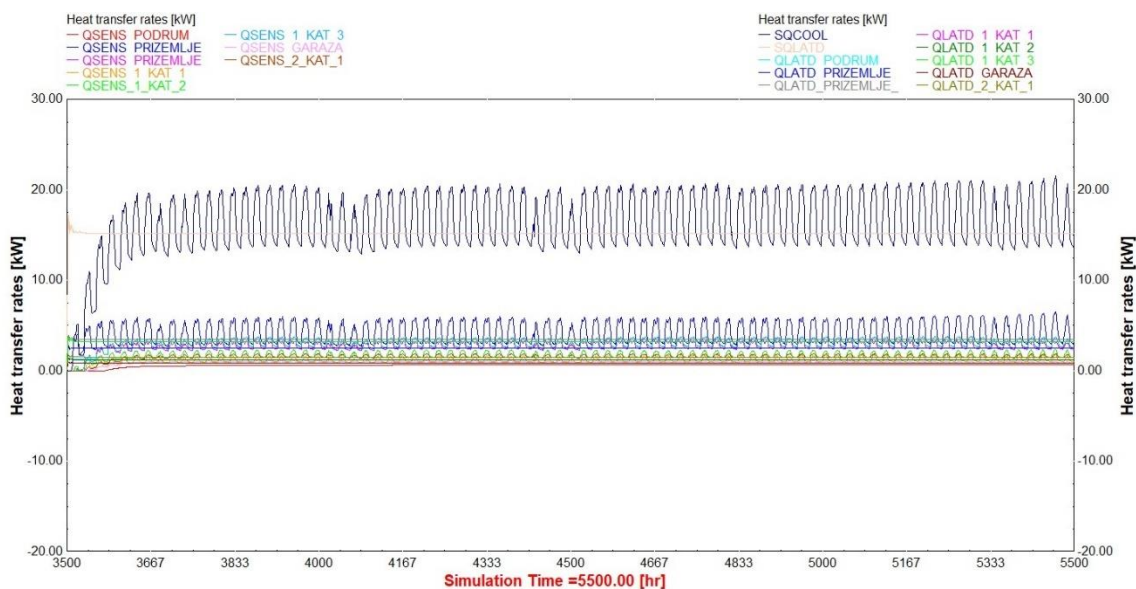
| Toplinska zona | Maksimalni projektni učinak za hlađenje (osjetni + latentni) [kW] |
|----------------|---|
| Podrum         | 1,9777  |
| Prizemlje_1    | 6,074   |
| Prizemlje_2    | 5,918   |
| 1_kat_1        | 2,1511  |
| 1_kat_2        | 3,147   |
| 1_kat_3        | 5,952   |
| 2_kat_1        | 1,7827  |
| 2_kat_2        | 3,143   |
| Ukupno         | 29,89   |

Maksimalan postignuti učinak za hlađenje, suma po zonama osjetnog i latentnog, za model bez zasjenjenja iznosi 28,89 kW.

## 5.2. Projektni učinci – model s unutarnjim zasjenjenjem

Projektni učinci za grijanje prikazani su na slici 5.1. i tablicom 5.1.

Projektni učinci za grijanje slijede na slici 5.3. i maksimalne vrijednosti u tablici 5.3.



Slika 5.3 Projektni učinci za hlađenje – model s unutarnjim zasjenjenjem

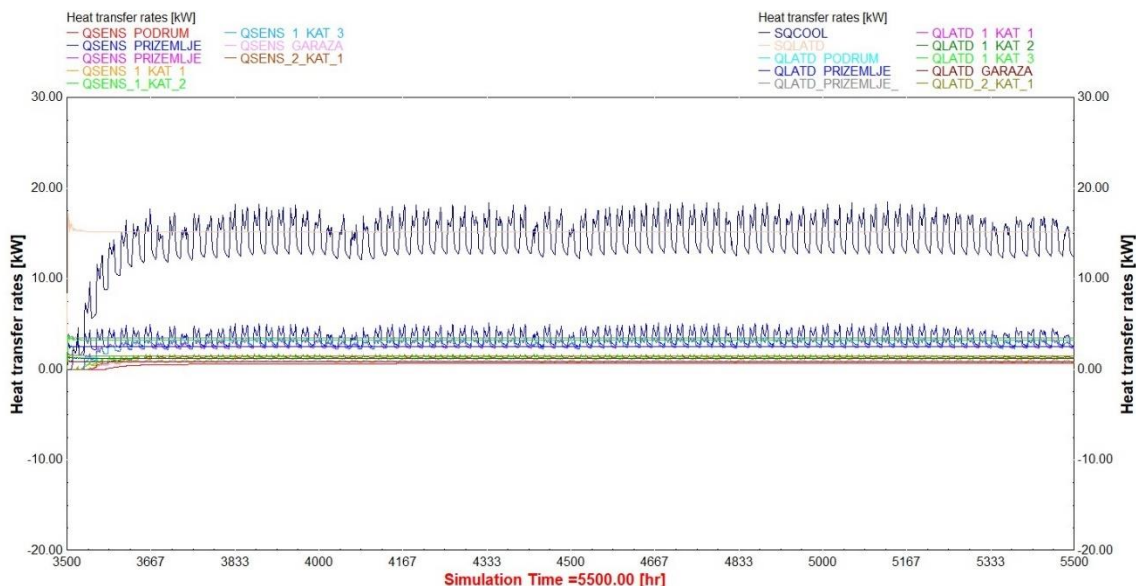
Tablica 5.3 Maksimalni projektni učinci za hlađenje – model s unutarnjim zasjenjenjem

| Toplinska zona | Maksimalni projektni učinak za hlađenje (osjetni + latentni) [kW] |
|----------------|---|
| Podrum         | 1,9774  |
| Prizemlje_1    | 6,017   |
| Prizemlje_2    | 5,915   |
| 1_kat_1        | 2,1271  |
| 1_kat_2        | 3,11  |
| 1_kat_3        | 5,941   |
| 2_kat_1        | 1,7823  |
| 2_kat_2        | 3,123   |
| Ukupno         | 29,74   |

Maksimalna postignuta vrijednost projektnog učinka za hlađenje iznosi 29,74 kW.

### 5.3. Projektni učinci – model s unutarnjim i vanjskim zasjenjenjem

Projektni učinci za grijanje jednaki su kao i za prethodna dva slučaja i prikazani su na slici 5.1. i tablici 5.1. Projektni učinci za hlađenje prikazani su na slici 5.4. i maksimalne vrijednosti u tablici 5.4.



Slika 5.4 Projektni učinci za hlađenje - model su unutarnjim i vanjskim zasjenjenjem

Tablica 5.4 Maksimalni projektni učinci za hlađenje – model s unutarnjim i vanjskim zasjenjenjem

| Toplinska zona | Maksimalni projektni učinak za hlađenje (osjetni + latentni) [kW] |
|----------------|---|
| Podrum         | 2,0376  |
| Prizemlje_1    | 5,382   |
| Prizemlje_2    | 6,012   |
| 1_kat_1        | 1,7534  |
| 1_kat_2        | 2,57  |
| 1_kat_3        | 5,883   |
| 2_kat_1        | 1,8403  |
| 2_kat_2        | 2,91  |
| Ukupno         | 28,35   |

Maksimalni postigniti ukupni učinak za hlađenje prema kojem se odabire oprema za sustav hlađenja iznosi 28,35 kW.

## **6. PREDAJA I DISTRIBUCIJA ENERGIJE**

Proizvedenu toplinsku energiju potrebno je distribuirati do svih kondicioniranih toplinskih zona te ih pomoću elemenata za predaju prenijeti na unutarnji zrak kako bi mu povećali ili smanjili temperaturu ovisno o potrebi grijanja ili hlađenja. Prema odabiru sustava predaje i distribucije, toplinsku energiju moguće je prenositi konvekcijom ili zračenjem te njihovom kombinacijom. Tako kod grijanja i hlađenja zrakom (npr. ventilatorski konvektori) izmjenu topline može se smatrati potpuno konvektivnom, dok kod podnog grijanja i stropnog grijanja i hlađenja predaja topline odvija se zračenjem. Odabrani sustav predaje topline je pomoću ventilatorskih konvektora u temperaturnom režimu 45/40 °C te projektnom temperaturom unutarnjeg zraka 20 °C za sezonu grijanja, te temperaturnim režimom 7/12 °C polaznog i povratnog voda kako bi se održavala projektna temperatura unutarnjeg zraka na 24 °C za sezonu hlađenja. Sustav je dimenzioniran prema dobivenim projektnim učincima modela s unutarnjim i vanjskim zasjenjenjem za maksimalni projektni učinak grijanja 16,33 kW i maksimalni projektni učinak hlađenja 28,35 kW.

### **6.1. Modeliranje sustava predaje i distribucije topline**

Prema zadanim projektnim uvjetima pomoću softvera Aermec Magellano koji sadrži širok izbor opreme sustava grijanja, hlađenja i klimatizacije sa opsežnom i detaljnom tehničkom dokumentacijom vrši se selekcija i odabir ventilokonvektora. Ventilokonvektori su tehnički uređaji čija je svrha hlađenje ili ugrijavanje unutarnjeg zraka u prostoriji. Mješajućom zaklopkom omogućeno je kontrolirano miješanje svježeg vanjskog zraka i unutarnjeg optoćnog zraka koji tijekom rada ventilatora prisilno cirkuliraju preko izmjenjivača topline. U ovisnosti o temperaturi ulaznog toka radnog medija, prolaskom preko površine izmjenjivača pripremljena masa zraka preuzima ili predaje toplinu vodi koja struji unutar samog izmjenjivača. Rashladni, odnosno toplinski učinak moguće je regulirati promjenom brzine vrtnje ventilatora ili regulacijom usisnog voda na strani vode. Većom površinom izmjenjivača i intenzivnijim strujanjem zraka postižu se niže temperature tijekom grijanja i samim time manji gubici što za krajnji rezultat ima veći specifični učinak uređaja. Nasuprot tomu više temperature zraka u prostoriji smanjuju specifični učinak. Odabran je ventilokonvektor sa dvocjevnom razvodom FCZ 300 temeljem vrijednosti projektnih učinaka grijanja i hlađenja (projektni učinak grijanja 16,33 kW, projektni učinak hlađenja 28,35 kW). Tehničke

karakteristike uređaja u temperaturnom režimu 45/40 °C za grijanje i temperaturnom režimu 7/12 °C za hlađenje koje sadržavaju podatke toplinskog i rashladnog kapaciteta, protok zraka i pogonsku snagu motora u ovisnosti o brzini vrtnje motora prikazane su u tablici 6.1.

Tablica 6.1 Tehničke karakteristike uređaja Aermec FCZ 300 [4]

| Aermec FCZ 300 |                                  |                      |                      |                       |
|----------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| Brzina motora  | Protok zraka [m <sup>3</sup> /h] | Učin (grijanje) [kW] | Učin (hlađenje) [kW] | Apsorbirana snaga [W] |
| V3             | 450                              | 2,73                 | 2,65                 | 44                    |
| V2             | 350                              | 2,21                 | 2,17                 | 33                    |
| V1             | 260                              | 1,72                 | 1,68                 | 25                    |

S obzirom na zahtjev projektnih učinaka broj potrebnih ventilatorskih konvektora po etažama iznosi: podrum 2 uređaja, prizemlje 7 uređaja, 1. kat 7 uređaja i 2. kat 3 uređaja. Model vetilokonvektora potrebno je parametarski ugoditi prema brzini rada motora kako bi odgovarali tehničkim karakteristikama uređaja određivanjem koeficijenata ovisnima o protoku zraka i snazi motora.

Izraz za određivanje traženih koeficijenata:

$$\dot{P}_{fan} = \dot{P}_{fan,rated} (a_0 + a_1\gamma_{fan} + a_2\gamma_{fan}^2 + a_3\gamma_{fan}^3 + a_4\gamma_{fan}^4 + \dots a_n\gamma_{fan}^n) \quad (6.1)$$

Gdje je:

$a_0, a_1, \dots, a_n$  – traženi koeficijenti

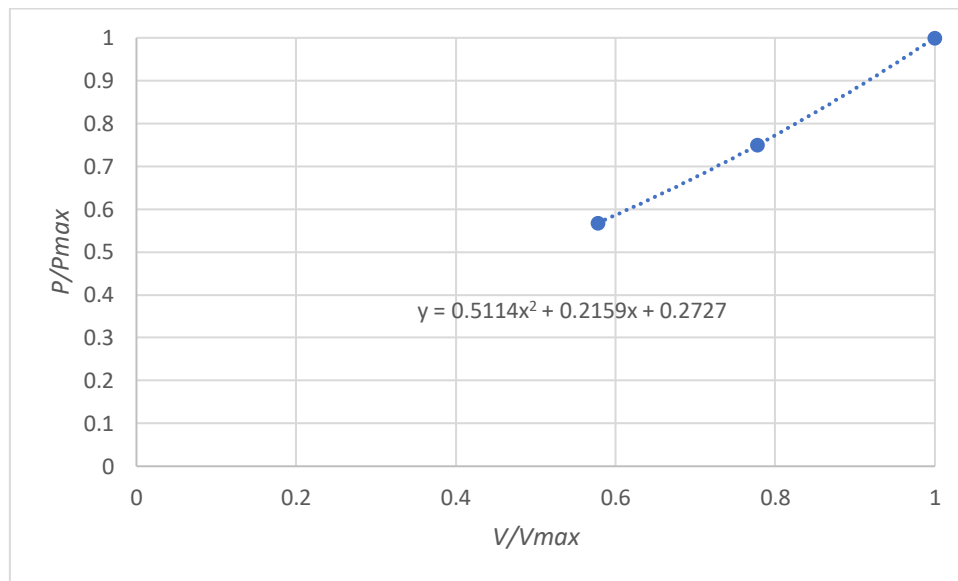
$\gamma_{fan}$  – ulazni signal za regulaciju

$\dot{P}_{fan,rated}$  – maksimalna snaga

Koeficijenti dobiveni u Excelu za ugađanje parametara modela uređaja na temelju tablice 6.2. i pripadnog grafa na slici 6.1. prikazani su tablično u tablici 6.3.

Tablica 6.2 Podaci uređaja FCZ 300 [4]

| Brzina motora | Protok zraka [m <sup>3</sup> /h] | Snaga [W] | $\gamma = V/V_{max}$ | $P/P_{max}$ |
|---------------|----------------------------------|-----------|----------------------|-------------|
| V1            | 260                              | 25        | 0,577778             | 0,568182    |
| V2            | 350                              | 33        | 0,777778             | 0,75        |
| V3            | 450                              | 44        | 1                    | 1           |



Slika 6.1 Grafički prikaz promjene relativne snage regulacijom protoka zraka promjenom brzine ventilatora

Dobiveni koeficijenti koji se unose unutar parametara definiranog modela unutar Simulation Studia iznose:

Tablica 6.3 Dobiveni koeficijenti

|       |        |
|-------|--------|
| $a_0$ | 0,2727 |
| $a_1$ | 0,2159 |
| $a_2$ | 0,5114 |

U simulaciju implementirana su dva termostata koji se uključuju i isključuju ovisno o rasporedu sezone grijanja odnosno hlađenja sa postavljenim temperaturama. U sezoni grijanja postavljena temperatura je 20 °C, dok vrijednost temperature za hlađenje iznosi 24 °C. Ako termostatski

osjetnik registrira temperaturnu vrijednost različitu od postavljenih šalje signal cirkulacijskoj pumpi vode koja se potom pokreće da bi se postigle željene vrijednosti temperatura. Također postavljen je dodatni kalkulator za uređaje ventilatorskih konvektora kojim se određuje udio zaobilaznja zraka (coil bypass fraction) tako da dio smjese zraka prolazi preko izmjenjivača topline te se grije ili hladi, a ostalom dijelu zraka ne mijenjaju se fizikalna svojstva. Za hlađenje ta vrijednost je postavljena na 0,55, dok za grijanje iznosi 0,33. Zadana je i preporučena srednja brzina vrtnje ventilatora povezanog s termostatom za grijanje i hlađenje koja je određena ulaznim signalom za regulaciju  $\gamma$  čija je vrijednost vidljivo iz tablice 6.1 za srednju brzinu motora V2 iznosi 0,778.

Postavljen je cjevovod sa dvocijevnim izvodom koji se sastoji od jednog polaza i povrata. Voda za grijanje odnosno hlađenje distribuira se polaznim razvodnim cjevovodom iz strojarnice do polaznih cjevovoda za svaku od etaža te se povratnim cjevovodima vodi do povratnog sabirnog cjevovoda. Dimenzije cjevovoda prema projektnim učincima hlađenja u temperaturnom režimu 7/12 °C za svaku etažu i maksimalnom padu tlaka prikazane su u tablici 6.4. Za dimenzioniranje cjevovoda korišten je software MultiCalc.

*Tablica 6.4 Dimenzije cjevovoda*

| Dionica     | Cijev | $d_v$ [mm] | $s$ [mm] | $l$ [mm] |
|-------------|-------|------------|----------|----------|
| Strojarnica | DN60  | 64         | 2        | 80       |
| Podrum      | DN20  | 22         | 1        | 90       |
| Prizemlje   | DN40  | 42         | 1,5      | 80       |
| 1. kat      | DN40  | 42         | 1,5      | 70       |
| 2. kat      | DN25  | 28         | 1,5      | 60       |

## 7. SUSTAV PRIPREME PTV

Simulacija sustava za zagrijavanje potrošne tople vode u stambenoj zgradi provodi se prema proračunu za potrebnu energiju za zagrijavanje PTV. [5] Prije provođenja simulacije sustav je potrebno dimenzionirati. Razmotreni izvori topline za sustav pripreme PTV su sustav dizalice topline zrak – voda, sustav dizalice voda – voda, solarni sustav sa vakuumskim cijevnim kolektorima sa inercijskim spremnikom tople vode. Potrebno je poznavati dnevnu potrošnju kao i dinamiku potrošnje tijekom dana.

Prema algoritmu HRN EN 15316-3-1:2008 određuje se dnevna potrošnja vode proračunom energetskih potreba za zagrijavanje PTV u stambenim zgradama. Toplinska energija za potrebe zagrijavanja PTV se računa prema izrazu:

$$Q_w = \frac{Q_{w,A,a}}{365} \cdot A_k \cdot d \quad (7.1)$$

$A_k$  – korisna površina zgrade [ $m^2$ ]

$d$  – broj dana u periodu promatranja

$Q_w$  – potrebe za toplinskom energijom za pripremu PTV u promatranom periodu [kWh]

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

$Q_{w,A,a} = 12,5$  [kWh/ $m^2a$ ] – za zgrade s 3 stambene jedinice (prema normi PECZ NN 36/10)

Godišnji odnosno dnevni zahtjevi toplinske energije za pripremu PTV iznose:

$$Q_w = \frac{12,5}{365} \cdot 531,49 \cdot 365 = 6643,625 \text{ kWh/god} = 18,2 \text{ [kWh/dan]}$$

Slijedi izraz za ukupnu potrošnju vode:

$$V_w = \frac{Q_w}{1,163 \cdot (\vartheta_{Tw} - \vartheta_{Hw})} \quad (7.2)$$

Gdje je:

$V_w$  – volumen vode [ $m^3$ ]



$\vartheta_{Tw}$  – temperatura tople vode [°C]

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

Slijedi:

$$V_w = \frac{18,2}{1,163 \cdot (40 - 10)} = 0,52164 \frac{m^3}{dan} = 522 \text{ [l/dan]}$$

Projektiranje sustava zagrijavanja PTV:

Pri projektiranju sustava pretpostavljena vršna potrošnja vode iznosi 3 tuširanja na 2 etaže s iznosom od 50 litara po satu.

Trenutni učinak grijača dobiva se prema izrazu:

$$\dot{Q} = \dot{V}_h \cdot (\vartheta_{Tw} - \vartheta_{Hw}) \cdot \frac{c_w}{3600} \quad (7.3)$$

Gdje je:

$\dot{Q}$  – trenutni učinak grijača [kW]

$\dot{V}_h$  - vršna potrošnja u jednom satu [kg/h]

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

Slijedi:

$$\dot{Q} = 300 \cdot (40 - 10) \cdot \frac{4,19}{3600} = 10,475 \text{ [kW]}$$

Izraz za potrebni učinak grijača:

$$\dot{Q}_g = \dot{Q} \cdot \frac{z_B}{z_A + z_B} \quad (7.4)$$

$\dot{Q}_g$  – potrebni učinak grijača [kW]

$z_A$  – vrijeme zagrijavanja spremnika [h]

$z_B$  – vrijeme pogona (vršne potrošnje) [h]

Potrebni učinak grijača iznosi:

$$\dot{Q}_g = 10,475 \cdot \frac{2}{1+2} = 6,983 \text{ [kW]}$$

Za selekciju akumulacijskog spremnika za projektiranje sustava pripreme PTV potrebno je odrediti potreban kapacitet i volumen spremnika na podatku potrebnog učinka grijača.

Kapacitet spremnika određuje se pomoću izraza:

$$C = z_A \cdot \dot{Q}_g \quad (7.5)$$

Slijedi:

$$C = 1 \cdot 6,983 = 6,983 \text{ [kWh]}$$

Izraz za potreban volumen spremnika:

$$V_s = C \cdot \frac{b}{c \cdot \Delta T} \quad (8.6)$$

$V_s$  – potreban volumen spremnika [ $m^3$ ]

$b$  – faktor dodatka mrtvog prostora ispod grijača,  $b \approx 1,1 \dots 1,2$

$c$  – specifični toplinski kapacitet vode,  $c = 1,163 \text{ [kWh/kgK]}$

$\Delta T$  – razlika temperature vode u spremniku [K]

Potreban volumen spremnika:

$$V_s = 6,983 \cdot \frac{1,1}{1,163 \cdot 10} = 0,440 \text{ m}^3 = 440 \text{ [l]}$$

Tehničke karakteristike odabranog akumulacijskog spremnika s ugrađenim cijevnim izmjenjivačem proizvođača Centrometal tip CAS-S 503 volumena 465 litara prikazane su u tablici 7.1.

Tablica 7.1 Tehničke karakteristike akumulacijskog spremnika s ugrađenim cijevnim izmjenjivačem Centrometal CAS-S 503 [6]

|   |      |
|---|------|
| Tip: CAS-S  | 503  |
| Volumen [l]                                       | 465  |
| Promjer tijela spremnika [mm]                     | 650  |
| Vanjski promjer (s izolacijom) [mm]               | 850  |
| Ukupna visina [mm]                                | 1600 |
| Priključci [Rp]                                   | 6/4" |
| Maksimalni radni tlak [bar]                       | 3    |
| Maksimalna radna temperatura [°C]                 | 100  |
| Masa praznog tijela spremnika [kg]                | 100  |
| Masa praznog tijela spremnika (s izolacijom) [kg] | 110  |
| Ogrjevna površina spirale [m <sup>2</sup> ]       | 1,33 |
| Volumen ogrjevnice spirale [l]                    | 8,07 |
| Toplinska izolacija [mm]                          | 100  |

## 8. SUSTAVI PROIZVODNJE ENERGIJE

Razmotreno je nekoliko sustava proizvodnje energije koji su zasebno implementirani u toplinski model zgrade zajedno sa sustavom distribucije i predaje energije. Provedena je analiza proizvodnje energije za grijanje i hlađenje, kao i pripreme potrošne tople vode pomoću nekoliko različitih sustava. Tako za proizvodnju toplinske energije za grijanje i pripremu PTV analizirana je uporaba vakuumskih solarnih kolektora u kombinaciji sa apsorpcijskim rashladnim uređajem za pokrivanje potreba hlađenja. Također, promotreni su tehnički sustavi sa dizalicama topline zrak – voda i voda – voda za potrebe grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a u kombinaciji sa vlastitom proizvodnjom električne energije pomoću FN sustava.

Prikaz razmatranih sustava prema izvoru energije za grijanje, hlađenje i pripremu PTV te vlastitoj proizvodnji električne energije pomoću FN modula dan je u tablici 8.1.

Tablica 8.1 Razmatrani sustavi

| SUSTAV | Grijanje i hlađenje   | Priprema PTV                | Vlastita proizvodnja el. energije |
|--------|---|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1      | DT zrak – voda  | DT zrak – voda              | -                                 |
| 2      | DT voda – voda  | DT voda – voda              | -                                 |
| 3      | DT zrak – voda  | DT zrak – voda              | FN paneli                         |
| 4      | DT voda – voda  | DT voda – voda              | FN paneli                         |
| 5      | Solarni vakuumski kolektori + apsorpcijski rashladni uređaj | Solarni vakuumski kolektori | -                                 |

U sustavima 3 i 4 aktivno se koristi solarna energija pretvorbom dozračene energije na površinu FN panela kod kojih se na principu fotoelektričnog učinka unutar FN ćelija proizvodi istosmjerna električna struja. Pomoću pretvarača istosmjerna struja se pretvara u izmjeničnu koja se koristi za pokrivanje pogona dizalica topline. Kod sustava 5 dozračena solarna energija na površinu apsorbera cijevnih vakuumskih kolektora pretvara se u toplinsku energiju za zagrijavanje vode u sustavu grijanja i pripreme potrošne tople vode, a u sustavu hlađenja zagrijana topla voda prenosi toplinsku energiju za pogon jednostupanjskog apsorpcijskog rashladnog uređaja.

## 8.1. Dizalice topline

Dizalice topline su uređaji kojim je omogućen prijenos topline s niže temperaturne razine na višu uz utrošen dodatni rad. Pomoću takvih uređaja omogućeno je postizanje temperatura viših od okolišnih unutar objekta tijekom sezone grijanja preuzimanjem topline izmjenjene u visokotemperaturnom izmjenjivaču topline na radni medij unutar kruga grijanja. Nasuprot tomu tijekom sezone hlađenja izmjenom topline na niskotemperaturnom izmjenjivaču odvodi se toplina, kako bi se postigle i održavale niže temperature zraka unutar prostorija od vrijednosti okolišnog zraka. Dakle uređaj je ujedno i dizalica topline i rashladni uređaj ovisno o regulaciji kruženja radnog medija tj. da li se toplinski ponor odnosno izvor nalazi na višoj ili nižoj energetske razine. Kako je potrebna električna ili neki drugi oblik energije za ostvarivanje rada dizalice topline, u razmatranje ulaze samo oni uređaji kod kojih je potrošnja pogonske energije u odnosu na proizvedenu mala. Temperature na kojima se odvija kondenzacija i isparivanje radnog medija, odnosno temperature toplinskog ponora i izvora kao i postignute razlike temperatura u izmjenjivačima faktori su koji utječu na ostvarivanje učinka grijanja i hlađenja te efikasnost uređaja. Promjenom radnih uvjeta mijenja se učinak u grijanju i hlađenju te potreba pogonske energije čiji omjer predstavlja vrijednosti faktora grijanja i faktora hlađenja. Također relevantni pokazatelji učinkovitosti rada dizalice topline su sezonski faktor grijanja SCOP i sezonski faktor hlađenja SEER čija je vrijednost kod učinkovitijih uređaja viša za iste radne uvjete.

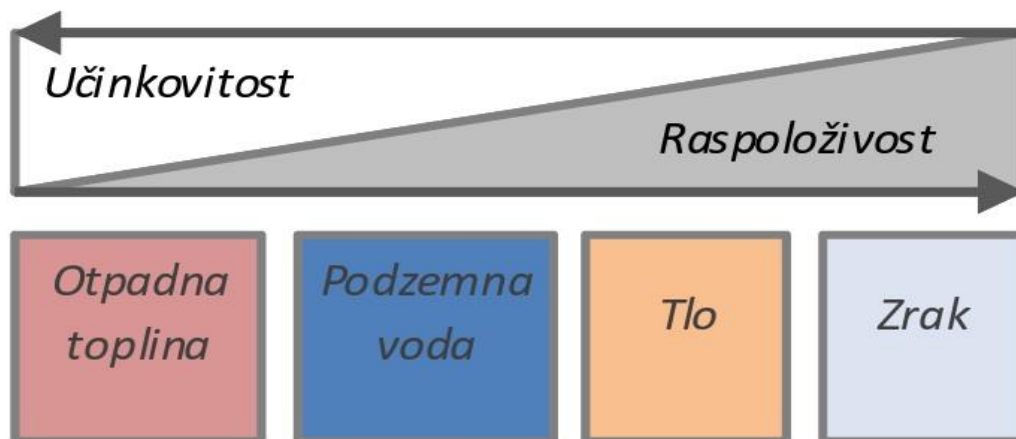
Osim po konstrukciji osnovna podijela dizalice topline je prema vrsti izvora i ponora topline koji bi za ekonomičan rad trebali zadovoljavati nekoliko zahtjeva:

- dovoljna raspoloživost izvora na čim višoj temperaturi vremenski što stalnije temperaturne vrijednosti
- što manja udaljenost toplinskog izvora od toplinskog ponora
- mogućnost osiguravanja potrebne količine toplinske energije što više temperaturne vrijednosti
- priključak izvora topline na dizalicu topline ne uzrokuje prevelike troškove
- čim manja energetska potrošnja za transport topline izvora do izmjenjivača topline uređaja

Učinkovitost rada sustava dizalice topline usko je povezana s vrstom toplinskog izvora i postoje nekoliko izvora čija je uporaba uobičajena:

- okolišni zrak
- voda – površinske i podzemne
- tlo
- otpadna toplina – najčešće korišten je otpadni zrak iz ventilacijskih sustava

Jedna od osnovnih karakteristika izvora topline s obzirom na podijelu prema temperaturnoj postojanosti i prirodnom ili umjetnom podrijetlu jest ta da učinkovitost sustava opada prema raspoloživosti pojedinih izvora čija je ovisnost ova dva parametra prikazana na slici 8.1.[6,7]



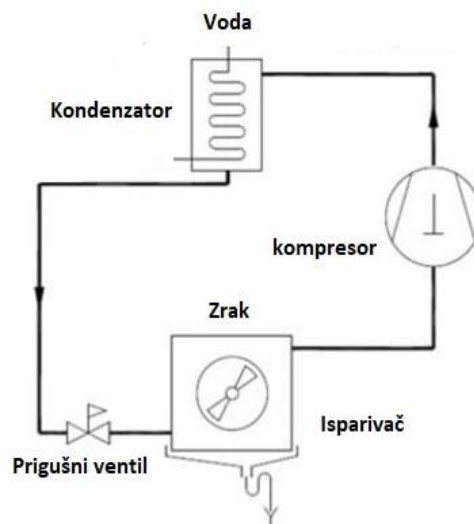
Slika 8.1 Učinkovitost toplinskih izvora u odnosu na raspoloživost [7]

### 8.1.1. Dizalica topline zrak – voda

Jedna od mogućnosti sustava proizvodnje energije za potrebe grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a jest sustav dizalice topline zrak – voda. Široka zastupljenost uređaja u uporabi rezultat je jednostavnog priključka na izvor te stalna vremenska i lokacijska prisutnost izvora, tj. okolnog zraka ima uvijek i svugdje. Nosilac topline u sustavu grijanja i hlađenja je voda. Kod uređaja kojem je toplinski izvor okolni zrak izražena je nekoherentnost u podudarnosti potrebe i raspoloživosti energije što bi značilo da tijekom najvećih potreba najmanja je raspoloživost energije. Tijekom sezone grijanja najniže su temperaturne vrijednosti okolnog zraka, a tijekom

potreba za hlađenjem najviše su temperature. Osim toga učestale varijacije temperatura okolnog zraka utječu na efikasnost i kapacitet uređaja što za posljedicu ima promjenjivost faktora grijanja i hlađenja. Tako tijekom pada temperatura zimi dolazi do samnjenja ogrijevnog učina, a tijekom rasta temperatura ljeti do pada rashladnog učina uređaja. Još jedan od mogućih nepoželjnih pojava kod uređaja zrak – voda jest stvaranje inja zbog sadržaja vlage u zraku na vanjskom orebrenom izmjenjivaču topline (isparivaču) što dovodi do smanjenja intenziviteta izmjene topline što u krajnjem slučaju uzrokuje samnjenje kapaciteta i učinkovitosti te energetske gubitke radi odmrzavanja isparivača. Najčešći način odmrzavanja isparivača jest preketom radne tvari. Također relativno su visoki energetske troškovi za pokretanje ventilatora radi prisilne cirkulacije zraka preko rebara površine isparivača te kompresora radne tvari za što je potrebno uložiti električnu energiju. Nasuprot svemu navedenom, uz laku instalaciju i široku zastupljenost izvora topline, sustav dizalice topline zrak – voda nema nekog većeg utjecaja na zagađenje ni energetske ravnotežu okoline. Osim prirodnog izvora kao što je okolni zrak dizalice topline zrak – voda mogu kao toplinski izvor koristiti otpadni zrak npr. iz ventilacijskih sustava. [7,8]

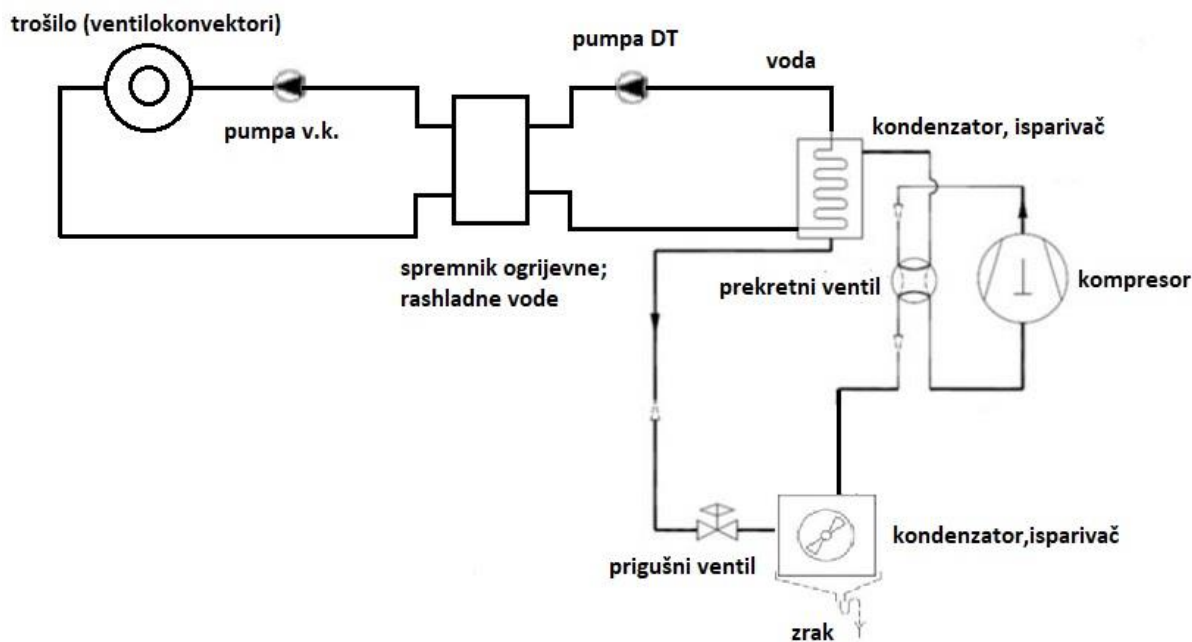
Na slici 8.2. prikazan je primjer dizalice topline zrak – voda sa osnovnim sastavnim komponentama (isparivač, kompresor, kondenzator i prigušni ventil).



Slika 8.2 Shema dizalice topline zrak – voda [8]

### 8.1.2. Modeliranje sustava grijanja i hlađenja - dizalica topline zrak – voda

Na slici 8.3. prikazana je pojednostavljena shema sustava grijanja i hlađenja sa dizalicom topline zrak – voda kao izvorom energije.



Slika 8.3 Pojednostavljena shema sustava grijanja i hlađenja DT zrak – voda

Kod prikazanog sustava implementacije solarne energije je provedena na način da je dodan sustav vlastite proizvodnje električne energije pomoću fotonaponskih modula za pokrivanje potrošnje za pogon dizalica topline i pomoćnih uređaja .

Selekcija uređaja i projektiranje cjelokupnog sustava za grijanje i hlađenje objekta temeljenog na dizalici topline zrak – voda sprovodi se na zadanim uvjetima i ranije dobivenim projektnim podacima te temperaturnim režimima unutar kruga grijanja i hlađenja. Odabrana su dva uređaja proizvođača Aermec tipa ANKI075H za projektni učin grijanja 16,33 kW te projektni učin hlađenja 28,35 kW. Temperaturni je režim za grijanje 45/40 °C za postavljenu vanjsku projektnu temperaturu -3 °C, dok je kod hlađenja 7/12 °C pri projektnoj temperaturi vanjskog zraka 35 °C. Toplinski učin uređaja za tako postavljene uvjete iznosi 12,8 kW što bi za dva uređaja iznosilo 25,6 kW. Rashladni učin za sezonu hlađenja pri projektnim uvjetima za jedan uređaj iznosi 16,1 kW te ukupni iznos bio 32,2 kW. Jedinica je opremljena sa inverterskim spiralnim kompresorom, pločastim izmjenjivačem topline na strani sustava, dva aksijalna

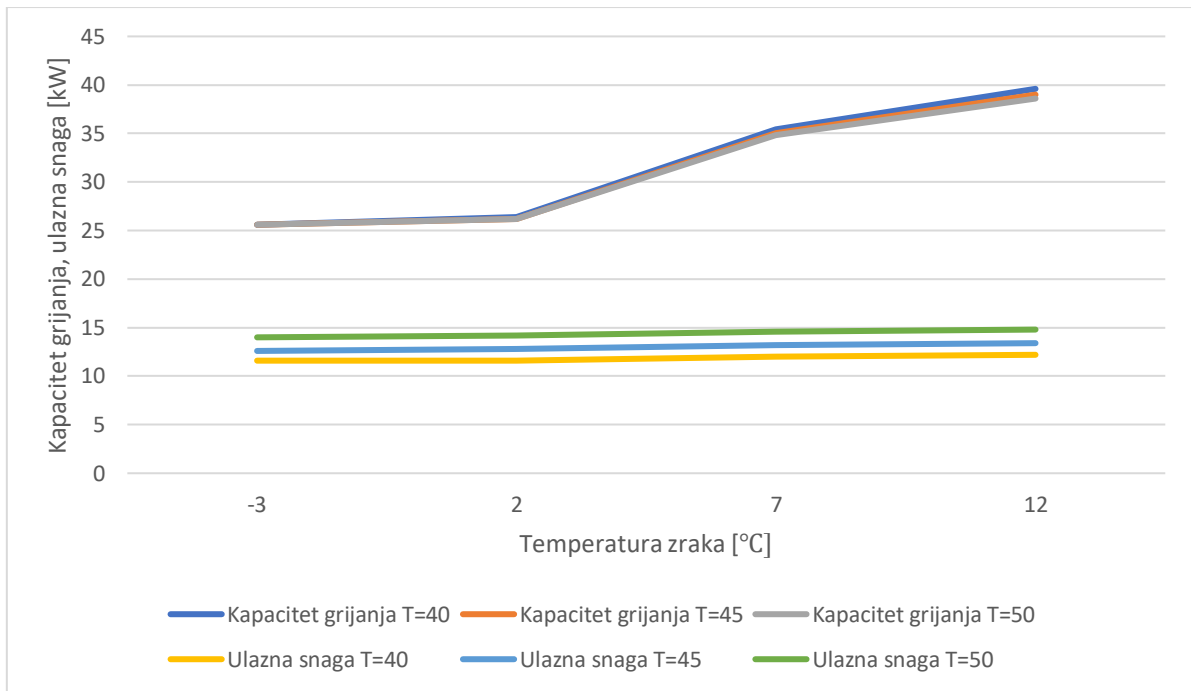


ventilatora te na strani izvora sa rebrastim spiralnim izmjenjivačem sa bakrenim cijevima i aluminijskim rešetkama radi poboljšanja učinkovitosti. Rashladno sredstvo odnosno radni medij je freon R410A koji je zeotropna smjesa difluormetana i pentaflouretana. Tehničke karakteristike odabranog uređaja Aermec tip ANKI075H iz baze podataka unutar softwarea Magellano za zadane projektne temperature i temperaturne režime prikazane su tablično (tablica 8.2.).

Tablica 8.2 Tehničke karakteristike uređaja Aermec ANKI075H [4]

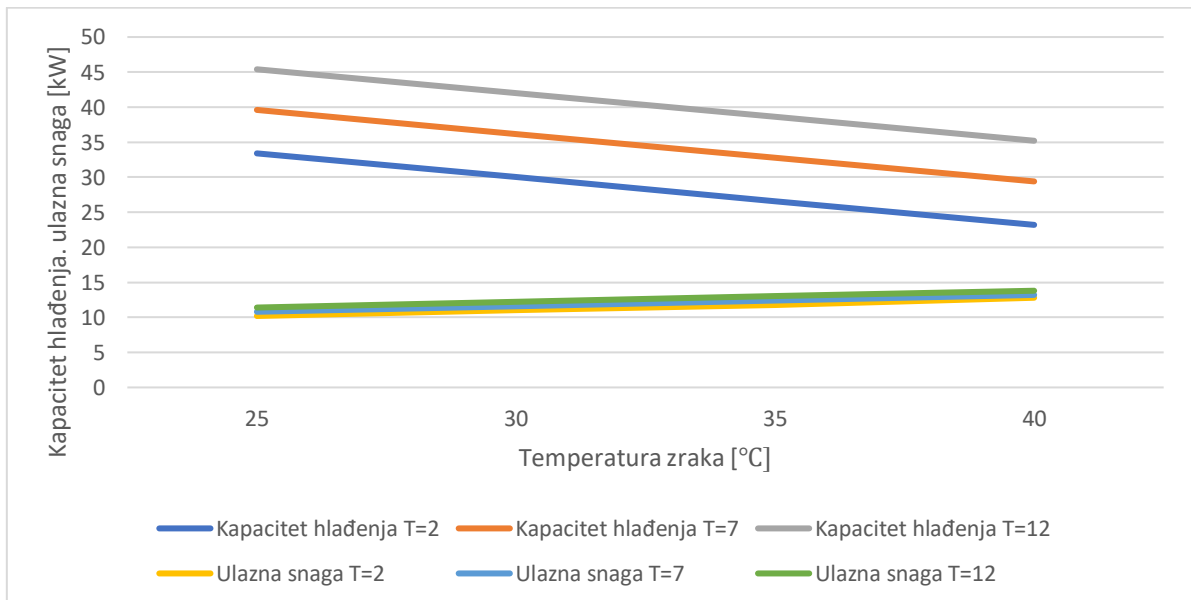
| Aermec ANKI075H       |          |
|-----------------------|----------|
| <b>Režim grijanja</b> |          |
| Temperaturni režim    | 45/40 °C |
| Ogrjevni učin         | 12,8 kW  |
| Potrebna snaga        | 5,8 kW   |
| <b>Režim hlađenja</b> |          |
| Temperaturni režim    | 7/12 °C  |
| Rashladni učin        | 16,1 kW  |
| Potrebna snaga        | 6,2 kW   |

Unutar simulacije potrebno je konfigurirati model dizalice topline zrak – voda kalibracijom prema podacima proizvođača kroz „mape efikasnosti“ za režime grijanja i hlađenja. Promjenom radnih uvjeta mijenjaju se faktori grijanja i hlađenja odnosno mijenja se ogrijevni i rashladni učin kao i potrebna snaga kompresora. „Mapa efikasnosti“ definirana je kroz nezavisne varijable predstavljene ulaznim temperaturama vode (T<sub>WI</sub>) i zraka (T<sub>AI</sub>) u izmjenjivače topline te zavisnim varijablama opisanim kroz učinke na kondenzatoru (učinak grijanja,  $Q_h$ ) i isparivaču (rashladni učinak,  $Q_c$ ), te preuzetu električnu snagu za pogon kompreseora ( $P_{el}$ ) izraženo u kW. Ulazna temperatura vode u izmjenjivač kod hlađenja je 5 °C viša od izlaza, dok je kod grijanja 5 °C niža. Vrijednosti zavisnih varijabli normaliziraju se u odnosu na projektnu točku, odnosno prema učinku i preuzetoj električnoj snazi za postavljeni temperaturni režim i vanjsku projektnu temperaturu. Prikazan je graf mape efikasnosti s dobivenim kapacitetima grijanja i potrebnim snagama za različite izlazne temperature vode i temperaure vanjskog zraka (slika 8.4.)



Slika 8.4 Graf efikasnosti u režimu grijanja uređaja Aermec ANKI075H

Na slici 8.5. prikazan je graf efikasnosti s dobivenim kapacitetima hlađenja i potrebnim snagama za različite izlazne temperature vode i temperaure vanjskog zraka.

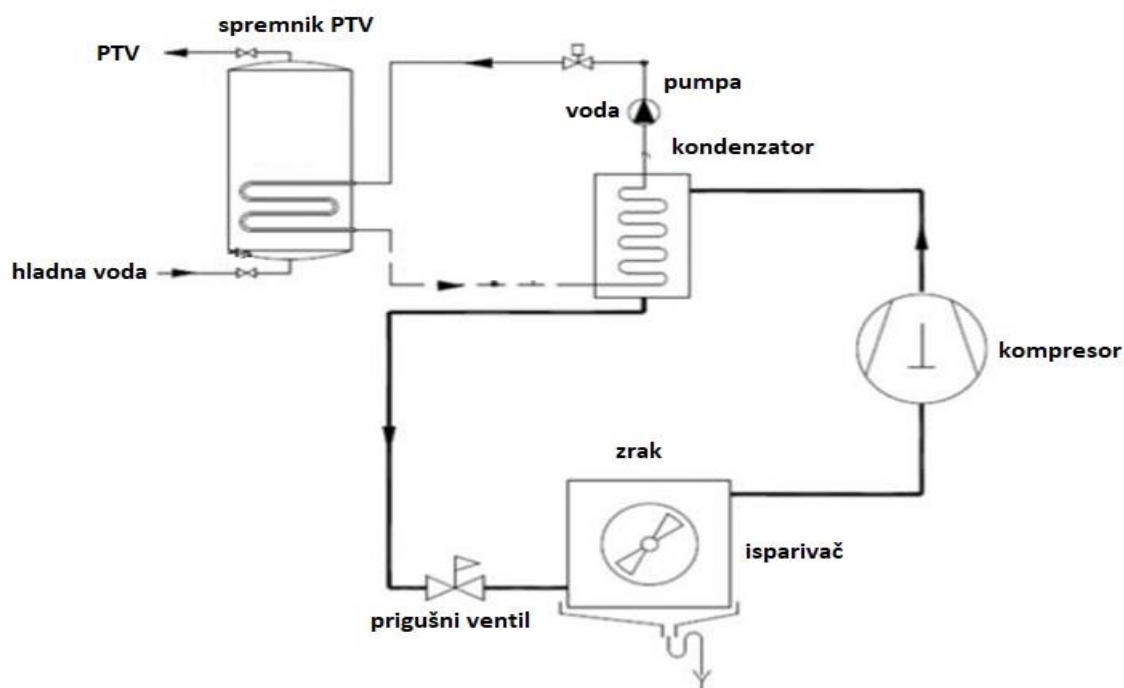


Slika 8.5 Graf efikasnosti u režimu hlađenja uređaja Aermec ANKI075H



### 8.1.3. Modeliranje sustava pripreme PTV dizalice topline zrak – voda

Na slici 8.7. prikazana je pojednostavljena shema sustava proizvodnje energije pomoću dizalice topline zrak – voda za pripremu potrošne tople vode.



Slika 8.7 Pojednostavljena shema pripreme PTV DT zrak – voda

Također, za pogon sustava PTV implementiran je fotonaponski sustav za vlastitu proizvodnju električne energije korištenjem obnovljivog izvora solarne energije.

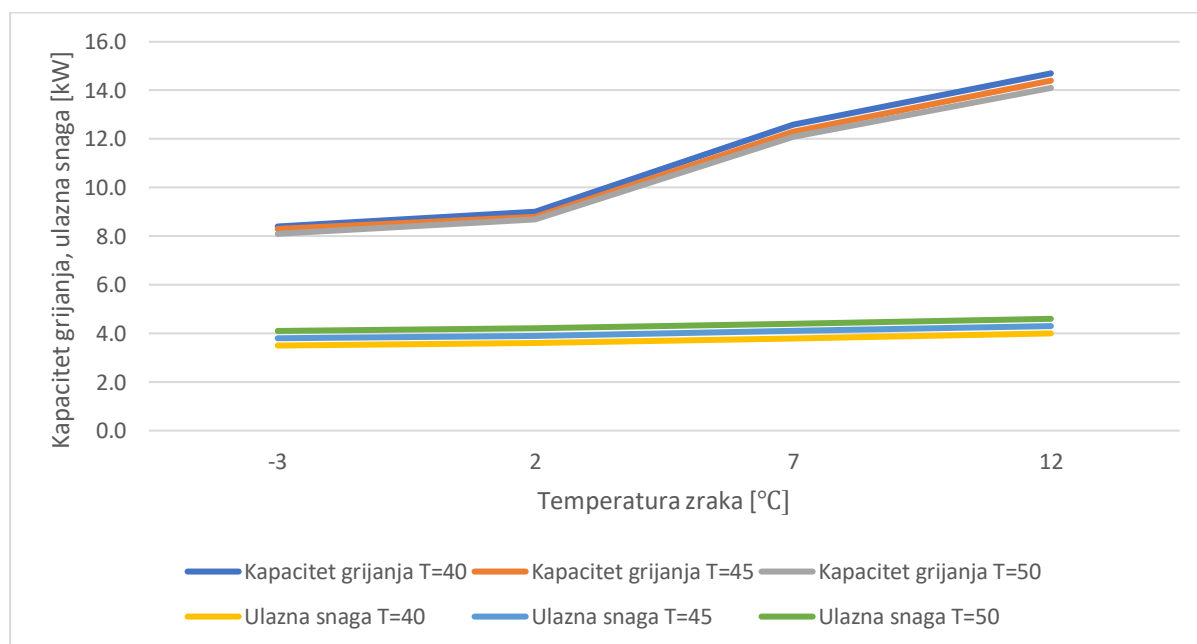
Dimenzioniranje sustava pripreme potrošne tople vode vrši se na temelju podataka dobivenih iz prethodnog proračuna za pretpostavljenu vršnu potrošnju. Sustav se sastoji od dizalice topline zrak – voda, cirkulacijske pumpe za vodu, spremnika potrošne tople vode s ugrađenim cijevnim izmjenjivačem volumne zapremnine 465 litara Centrometal CAS-S 503 i sustava za regulaciju kojim je potrebno postići temperaturu tople vode 40 °C za polaznu hladnu vodu iz vodovoda temperaturne vrijednosti 10 °C. Prema potrebnom učinku grijača iz izraza (7.4) u iznosu od 7 kW odabire se uređaj dizalice topline zrak – voda koji će zadovoljiti potrebe energije za grijanje potrošne vode. Odabran je uređaj proizvođača Aermec tip ANKI045H iz baze podataka programa Magellano. Kod projektne temperature vanjskog zraka -3 °C i izlazne temperature vode iz kondenzatora 45 °C uređaj postiže učinak grijanja 8,3 kW za što je potrebno 3,8 kW električne snage.

Tehnički podaci uređaja Aermec tip ANKI045H prikazani su u tablici 8.3.

Model je potrebno kalibrirati prema podacima proizvođača te se zahtjeva unos „mape efikasnosti“ u režimima grijanja i hlađenja za široki raspon temperatura kako je opisano u poglavlju 8.1.2. kod modeliranja sustava grijanja i hlađenja dizalicom topline zrak – voda. Prikazan je graf efikasnosti uređaja Aermec ANKI045H s učinima u grijanju i potrebnoj električnoj snazi u kW za ulazne temperature vanjskog zraka i izlazne temperature vode iz kondenzator za odabrani temperaturni raspon (slika 8.8.) .Uređaj radi samo u režimu grijanja te se kontrolni signal za hlađenje u ulaznim podacima modela postavlja na vrijednost 0.

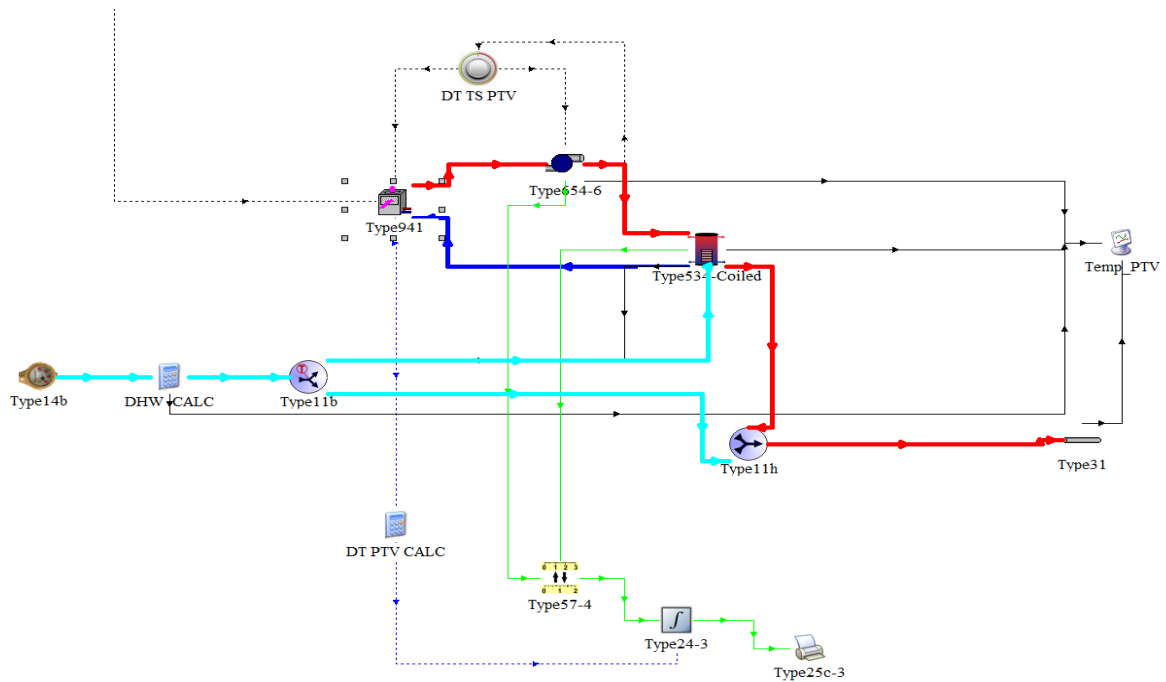
Tablica 8.3 Tehničke karakteristike uređaja Aermec ANKI045H [4]

| Aermec ANKI045H       |          |
|-----------------------|----------|
| <b>Režim grijanja</b> |          |
| Temperaturni režim    | 45/40 °C |
| Ogrjevni učin         | 8,3 kW   |
| Potrebna snaga        | 3,8 kW   |
| <b>Režim hlađenja</b> |          |
| Temperaturni režim    | 7/12 °C  |
| Rashladni učin        | 11,6 kW  |
| Potrebna snaga        | 4,2 kW   |

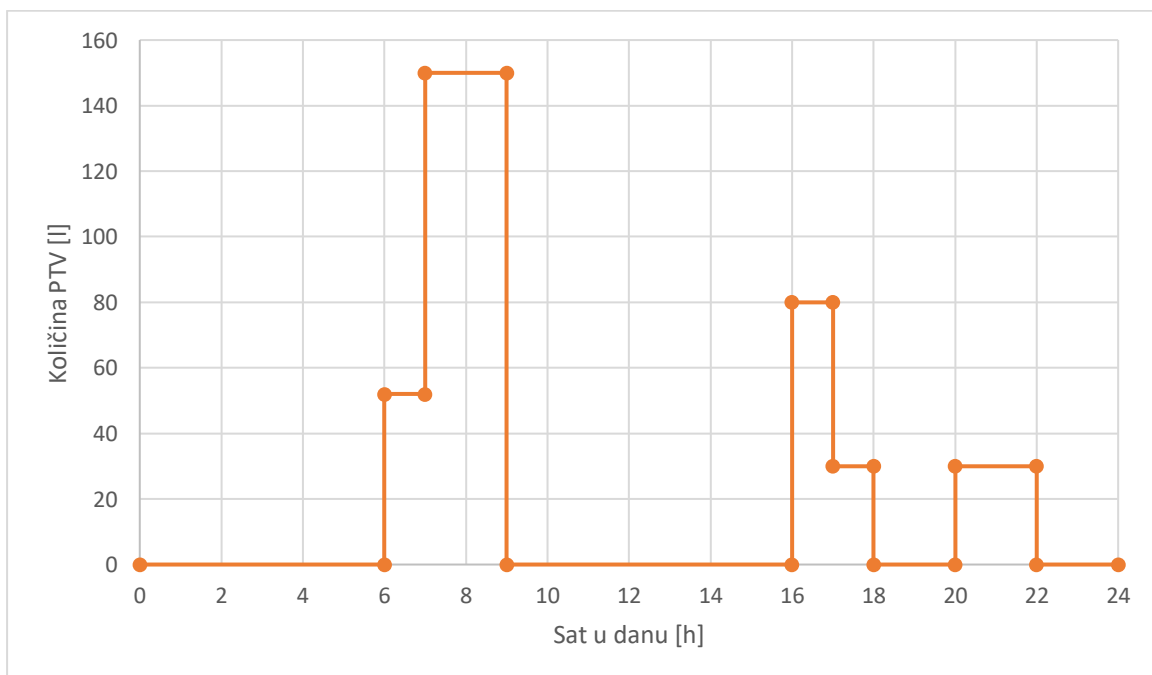


Slika 8.8 Graf efikasnosti u režimu grijanja uređaja Aermec ANKI045H

Modelom forcing funkcije Type14b definiran je dnevni profil potrošnje prikazan na Slici 8.10. koji je stalan za vrijeme provedbe godišnje simulacije te je primijenjen u svim sustavima pripreme PTV-a.



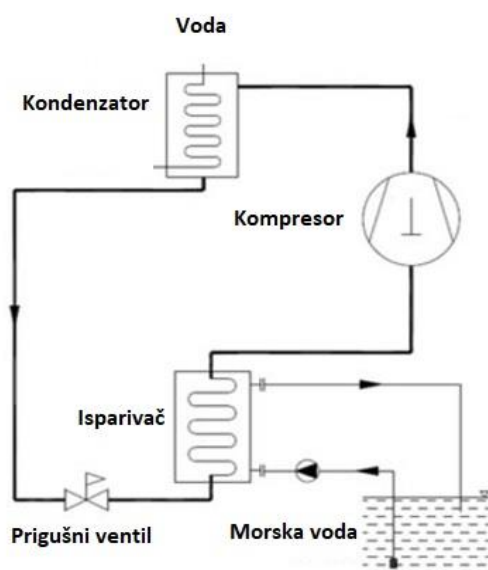
Slika 8.9 Korisničko sučelje – Sustav pripreme PTV pomoću dizalice topline zrak – voda



Slika 8.10 Dnevni profil potrošnje PTV

#### 8.1.4. Dizalica topline voda – voda

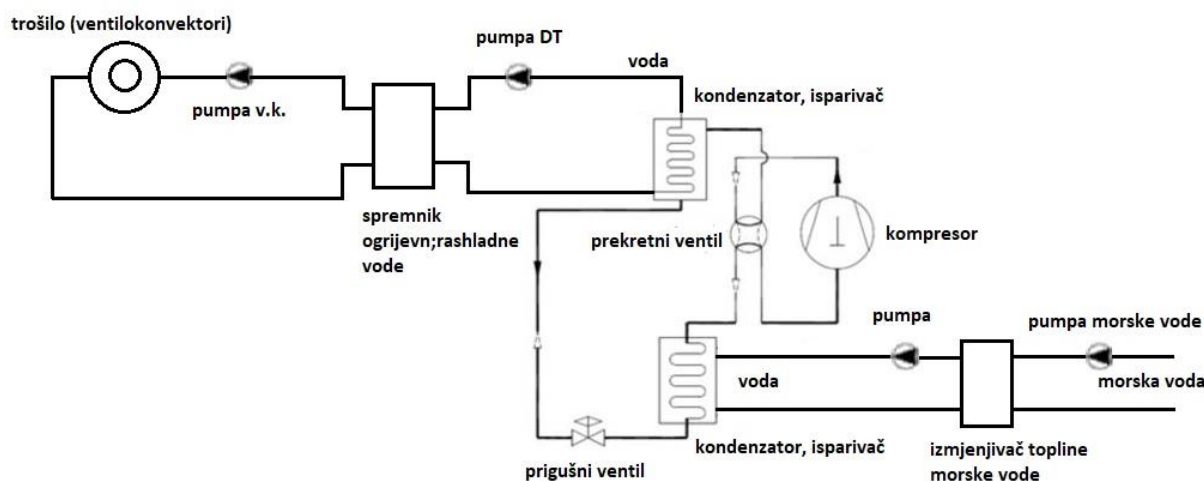
S obzirom na lokaciju objekta, blizinu i raspoloživost morske vode kao izvora toplinske energije sagledana je mogućnost primjene uređaja dizalice topline voda – voda za sustav grijanja i hlađenja. Zbog sporog hlađenja i zagrijavanja, temperatura morske vode na većim dubinama je praktički nepromjenjena tijekom cijele godine što morsku vodu čini pogodnim izvorom topline, uz to je i vremenska raspoloživost izvora time stalna. Zbog saliniteta morske vode pojava zaleđivanja je na nižim temperaturnim vrijednostima u odnosu na ostale površinske vode što samnjuje minimalan energetski nivo izvora do 0 °C. Primjena sustava nema utjecaja na zagađenje okoliša kao i na energetsku ravnotežu. Energetski troškovi prijenosa topline s morske vode često su visoki te se uglavnom izvode s posrednim krugom prijenosa topline preko izmjenjivača koji je uronjen u morsku vodu. Najveći razlog tomu je prisutnost saliniteta, organskog i drugog onečišćenja koji utječu na stvaranje slojeva na površinama izmjenjivača. Upravo zbog toga izmjenjivači trebaju imati korozijski otporna svojstva kao i mogućnost lakog čišćenja te je poželjno poduzete sve moguće mjere za smanjenje onečišćenja kako izmjenjivača tako cijevovoda i pumpi. Rijetka u primjeni ali moguća je izvedba direktne ekspanzije kod koje je isparivač konstruiran kao uronjeni cijevni registar. Za projektiranje i korištenje sustava uređaja s morskom vodom potrebna je ovlaštena dozvola.[7,8] Slika 8.11. prikazuje shemu uređaja voda – voda sa osnovnim sastavnim komponentama (isparivač, kompresor, kondenzator, prigušni ventil).



Slika 8.11 Shema dizalice topline voda – voda [7]

### 8.1.5. Modeliranje sustava grijanja i hlađenja - dizalica topline voda – voda

Na slici 8.12. prikazana je pojednostavljena shema sustava grijanja i hlađenja sa dizalicom topline voda – voda kao izvorom energije.



Slika 8.12 Pojednostavljena shema sustava grijanja i hlađenja DT voda – voda

Kod sustava dizalice topline voda – voda za grijanje i hlađenje solarna energija se koristi za proizvodnju električne energije pomoću fotonaponskog sustava za pokrivanje energetskih troškova pogona.

Unutra softweraa Magellano iz baze podataka napravljena je selekcija uređaja dizalice topline voda – voda za grijanje i hlađenje objekta prema projektnim učincima (16,33 kW grijanje, 28,35 kW hlađenje) u temperaturnim režimima 45/40 °C za sezonu grijanja i 7/12 °C za sezonu hlađenja. Odabran je uređaj Aermec tip WRL101XH, reverzibilna dizalica topline opremljena hermetičkim skrolnim kompresorom, pločastim izmjenjivačem topline od nehrđajućeg čelika na strani sustava i strani izvora, filterom sušačem izređenim od higroskopskog materijala, elektronskim termostatskim eskpanzijskim ventilom za kontrolu pregrijavanja radne tvari, prekretnim ventilom za preusmjeravanja radne tvari. Temperature izvora na dubini na kojoj se crpi su konstantne, tijekom režima grijanja temperatura mora iznositi 15 °C te tijekom režima hlađenja 20 °C. Uređaj kod izlazne temperature vode iz kondenzatora 25 °C te izlazne temperature vode iz isparivača 7 °C isporučuje 34,5 kW rashladnog učina i zahtjeva 4,5 kW električne snage. Ogrijevni učin tijekom režima grijanja kod izlazne temperature vode iz



kondenzatora 45 °C te izlazne temperature vode iz isparivača 5 °C iznosi 31,7 kW pri tome tražeći 8 kW električne snage.

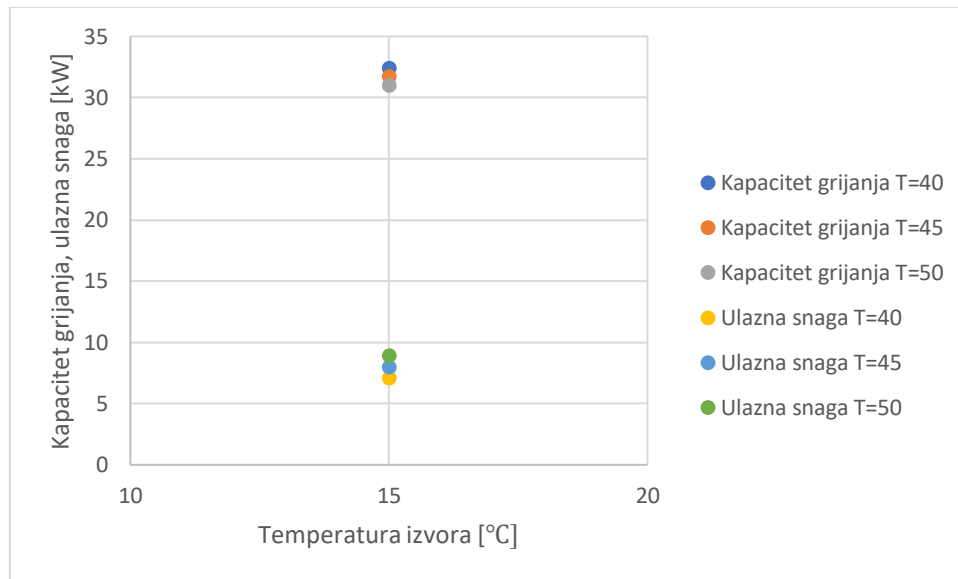
Tehnički podaci odabranog uređaja Aermec tipa WRL101HX za temperaturne režime 45/40 °C i 7/12 °C pri temperaturama vode prema strani izvora 10/5 °C i 20/25 °C prikazna su u tablici 8.4.

Tablica 8.4 Tehničke karakteristike uređaja Aermec WRL101XH [4]

| Aermec WRL 101XH         |             |             |
|--------------------------|-------------|-------------|
| <b>Režim grijanja</b>    |             |             |
|                          | Isparivač   | Kondenzator |
| Ulazna temperatura vode  | 10 °C       | 40 °C       |
| Izlazna temperatura vode | 5 °C        | 45 °C       |
| Ogrjevni učin            | 31,7 kW     |             |
| Potrebna snaga           | 8 kW        |             |
| <b>Režim hlađenja</b>    |             |             |
|                          | Kondenzator | Isparivač   |
| Ulazna temperatura vode  | 20 °C       | 12 °C       |
| Izlazna temperatura vode | 25 °C       | 7 °C        |
| Rashladni učin           | 34,5 kW     |             |
| Potrebna snaga           | 4,2 kW      |             |

Model uređaja dizalice topline unutar Simulation Studia zahtjeva unos „mape efikasnosti“ za režim grijanja sa podacima učinka u grijanju i utrošenoj električnoj snazi za zadani raspon temperatura koji se kod prekreta radne koriste također za hlađenje. Potrebno je vanjskom pratećom datotekom zadati podatke efikasnosti pri djelomičnom optrećenju (PLR datoteka). „Mapa efikasnosti“ sadrži podatke ulazne temperature vode u kondenzator i isparivač kao nezavisne varijable te podatke učinka grijanja  $Q_h$  i potrebne električne snage u kW koje je prije unosa vanjske datoteke u model potrebno normalizirati u odnosu na projektnu točku prema dobivenom učinku u grijanju i traženoj električnoj snazi.

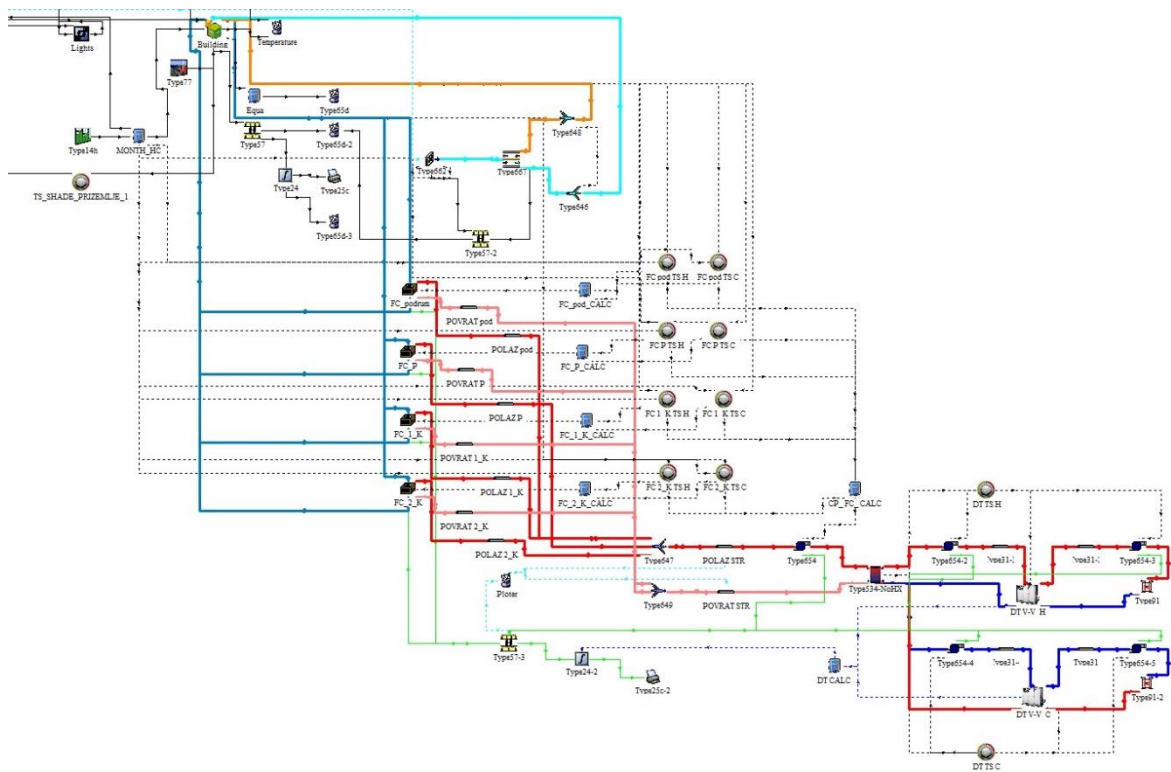
Slika 8.13. prikazuje graf efikasnosti u režimu grijanja (kapacitet grijanja i ulaznu snagu) uređaja Aermec WRL101XH za različite izlazne temperature vode iz kondenzatora pri temperaturi izvora morske vode.



Slika 8.13 Graf efikasnosti u režimu grijanja uređaja Aermec WRL101XH

Kod uređaja voda – voda prekrut režima rada je na strani radne tvari pa je zbog toga potrebno postaviti dva modela. U režimu grijanja kondenzator je prema inercijskom spremniku sustava potrošnje, a isparivač prema strani izvora tj. izmjenjivaču topline morske vode. U režimu hlađenja drugi model je postavljen obrnuto, isparivač je prema inercijskom spremniku, a kondenzator prema izmjenjivaču topline morske vode tj. prema ponoru topline. Sustav se sastoji od primarnog kruga potrošnje i proizvodnje sa posrednim krugom preuzimanja topline sa izvora preko izmjenjivača topline. Unutar kruga potrošnje i posrednog kruga potrebno je postaviti modele pumpe, jedna prema inercijskom spremniku i dvije unutar kruga proizvodnje, jedna pumpa vode i druga morske vode. Također postavljena su dva termostata za praćenje polazne temperature rashladne vode i vode za grijanje, za režim grijanja s postavnom temperaturom 45 °C, za režim hlađenja s postavnom temperaturom 7 °C, kojijma se upravlja s radom dizalice topline i radom pumpi.

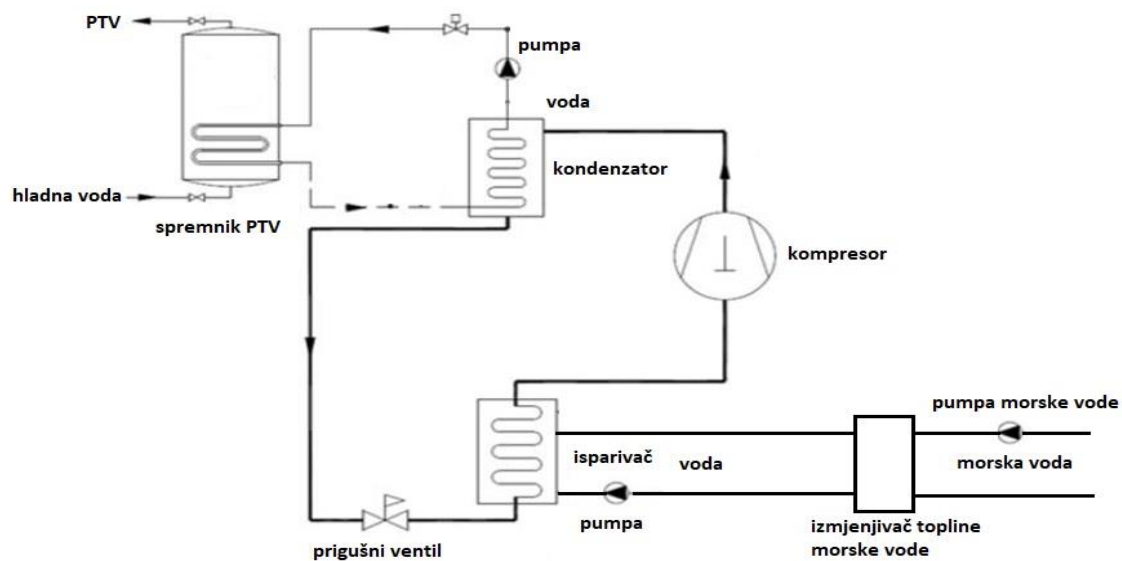
Na slici 8.14. prikazan je izgled korisničkog sučelja simulacijskog modela proizvodnje toplinske i rashladne energije pomoću uređaja dizalice topline voda – voda sa sustavom distribucije i predaje ventilokonvektorima.



Slika 8.14 Korisničko sučelje - sustav grijanja i hlađenja DT zrak - voda sa sustavom predaje ventilokonvektorima

### 8.1.6. Modeliranje sustava pripreme PTV dizalica topline voda – voda

Na slici 8.15. prikazan je pojednostavljena shema sustava proizvodnje energije pomoću dizalice topline voda – voda za pripremu potrošne tople vode.



Slika 8.15 Pojednostavljena shema pripreme PTV DT zrak – voda

Također kod sustava je implementiran FN sustav za pokrivanje troškova električne energije za pogon sustava.

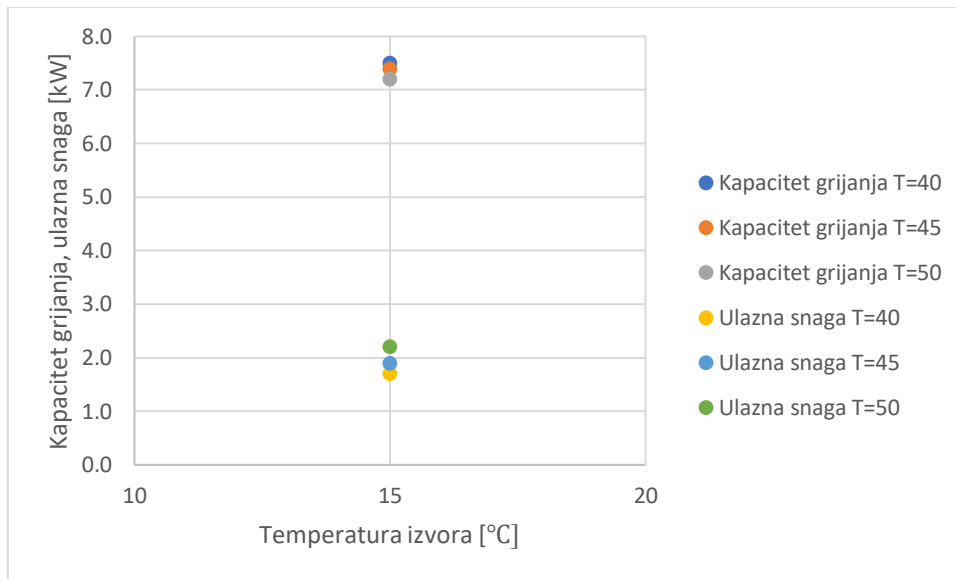
Za sustav pripreme potrošne tople vode dizalicom topline voda – voda prema potrebnom učinku grijača odabrana je reverzibilna dizalica topline proizvođača Aermec tip WRL026XH iz baze podataka unutar programa Magellano. Uređaj kod izlazne temperature vode 45 °C iz kondenzatora i izlazne temperature vode 5 °C iz isparivača isporučuje 7,4 kW ogrijevnog učina za što uzima 1,9 kW električne snage. Sustav se sastoji od kruga izmjenjivača topline morske vode sa cirkulacijskim pumpama i kruga dizalice topline sa cirkulacijskom pumpom, toplinskim spremnikom vode proizvođača Centrometal tipa CAS-S 503 volumena 465 litara i termostata za regulaciju sustava. Polazna temperatura hladne vode iz vodovoda iznosi 10 °C te ju je potrebno zagrijati na 40 °C.

Tehnički podaci uređaja Aermec tipa WRL026XH prikazani su na u tablici 8.5.

*Tablica 8.5 Tehničke karakteristike uređaja Aermec WRL026XH [4]*

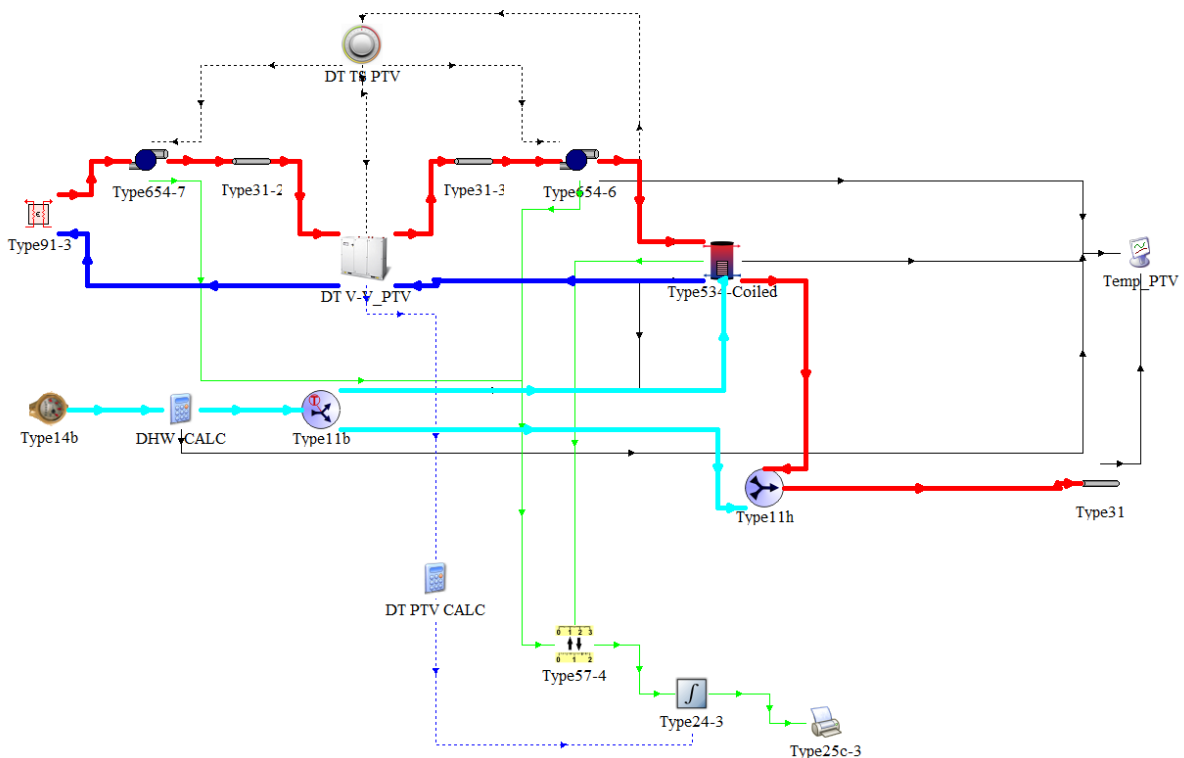
| Aermec WRL 026XH         |             |             |
|--------------------------|-------------|-------------|
| <b>Režim grijanja</b>    |             |             |
|                          | Isparivač   | Kondenzator |
| Ulazna temperatura vode  | 10 °C       | 40 °C       |
| Izlazna temperatura vode | 5 °C        | 45 °C       |
| Ogrjevni učin            | 7,4 kW      |             |
| Potrebna snaga           | 1,9 kW      |             |
| <b>Režim hlađenja</b>    |             |             |
|                          | Kondenzator | Isparivač   |
| Ulazna temperatura vode  | 20 °C       | 12 °C       |
| Izlazna temperatura vode | 25 °C       | 7 °C        |
| Rashladni učin           | 7,1 kW      |             |
| Potrebna snaga           | 1,2 kW      |             |

Unutar Simulation Studia za potrebe simulacije model uređaja je potrebno ugoditi unosom „mape efikasnosti“ kod režima grijanja te unosom PLR datoteke kojom je zadana efikasnost pri djelomičnom opterećenju. Od proizvođača dobiveni su podaci ogrijevnog učinka i potrebne električne snage u kW za zadani raspon ulaznih temperatura u isparivač i kondenzator. Slika 8.16. prikazuje graf efikasnosti u režimu grijanja (kapacitet grijanja i ulaznu snagu) uređaja Aermec WRL026XH za različite izlazne temperature vode iz kondenzatora pri temperaturi izvora morske vode.



Slika 8.16 Graf efikasnosti u režimu grijanja uređaja Aermec WRL026XH

Slika 8.17. prikazuje izgled korisničkog sučelja unutar Simulation Studia sustava pripreme PTV pomoću dizalice topline voda – voda.



Slika 8.17 Korisničko sučelje – Sustav pripreme PTV pomoću dizalice topline zrak – voda

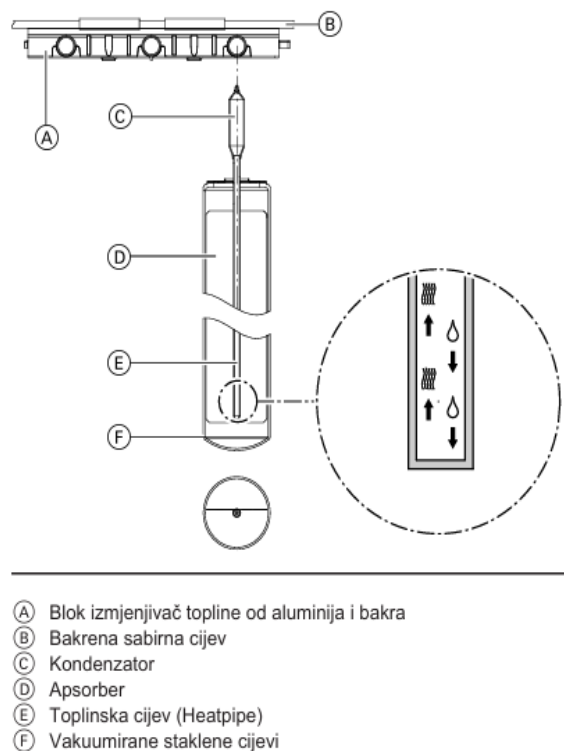
## 8.2. Solarni toplinski sustav grijanja, hlađenja i pripreme PTV

Razmotrena je mogućnost primjene solarnog sustava za potrebe grijanja, hlađenja i pripreme potrošne tople vode. Za pretvorbu Sunčeve energije u toplinsku predviđeno je korištenje vakuumskih cijevnih kolektora koji su pogodni za montiranje na ravni krov. U usporedbi s pločastim kolektorima, vakuumski kolektori zbog iskorištavanja direktnog i difuznog zračenja te zbog manjih konvektivnih gubitaka topline djelovanjem vakuuma mogu postići temperature preko 100 °C. Postizanjem takvih temperaturnih vrijednosti radnog medija unutar kolektora omogućena je potrebna temperatura ogrijevne vode za pogon apsorpcijskog rashladnog uređaja što je i glavni razlog korištenja vakuumskih cijevnih kolektora za planiranje solarnog sustava. Odabrani su vakuumski cijevni kolektori Vitasol 200-T tip SPE s 9 vakuumskih cijevi te prikazanim tehničkim podacima (slika 8.18.).

| Tip SPE  |                                      | 1,63 m <sup>2</sup> | 3,26 m <sup>2</sup> |
|--|--------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Broj cijevi  |                                      | 9                   | 18                  |
| Bruto površina<br>(potrebno kod podnošenja zahtjeva za poticajna sredstva) | m <sup>2</sup>                       | 2,66                | 5,39                |
| Površina apsorbera   | m <sup>2</sup>                       | 1,63                | 3,26                |
| Aperturna površina   | m <sup>2</sup>                       | 1,73                | 3,46                |
| Ugradni položaj (vidi sljedeću sliku)                                      |                                      | Ⓐ, Ⓑ, Ⓒ, Ⓓ, Ⓔ       |                     |
| Razmak između kolektora  | mm                                   | 44                  | 44                  |
| Dimenzije  |                                      |                     |                     |
| Širina   | mm                                   | 1220                | 2390                |
| Visina   | mm                                   | 2260                | 2260                |
| Dubina   | mm                                   | 174                 | 174                 |
| Sljedeće vrijednosti odnose se na površinu apsorbera:                      |                                      |                     |                     |
| – Optička učinkovitost   | %                                    | 70,1                | 72,5                |
| – Koeficijent gubitka topline $k_1$  | W/(m <sup>2</sup> · K)               | 1,41                | 1,46                |
| – Koeficijent gubitka topline $k_2$  | W/(m <sup>2</sup> · K <sup>2</sup> ) | 0,0078              | 0,0044              |
| Toplinski kapacitet  | kJ/(m <sup>2</sup> · K)              |                     | 5,2                 |
| Težina   | kg                                   | 63                  | 113                 |
| Volumen tekućine<br>(toplinski medij)                                      | Litara                               | 0,40                | 0,92                |
| Dozv. radni tlak   | bar/MPa                              |                     | 6/0,6               |
| Maks. temperatura u stanju mirovanja                                       | °C                                   |                     | 269                 |
| Učin proizvodnje pare  | W/m <sup>2</sup>                     |                     | 100                 |
| Priključak   | Ø mm                                 |                     | 22                  |

Slika 8.18 Tehnički podaci Vitasol 200-T tip SPE [9]

Solarni kolektori se postavljaju vodoravno na ravni krov te se zakretanjem vakuumske staklene cijevi postavlja optimalan kut zračenja na apsorber. Na slici 8.19 prikazani su sastavni dijelovi solarnog vakuumskog kolektora.



Slika 8.19 Sastavni dijelovi vakuumske cijevne kolektora [9]

Za pogonske uvjete grijanja temperaturni režim vode za grijanje i pripremu PTV unutar akumulacijskog spremnika je 40/45 °C, te je temperaturni režim radnog medija unutar kolektora 60/50 °C. Za pogon apsorpcijskog rashladnog uređaja voda se unutar akumulacijskog spremnika grije sa 78 °C na 85 °C, dok je radni medij unutar kolektora u režimu 95/85 °C.

Stupanj iskoristivosti solarnog kolektora pretvorbom sunčeve energije u toplinsku određuje se pomoću izraza:

$$\eta = \eta_0 - \frac{k_1 - \Delta T}{G} - \frac{k_2 - \Delta T^2}{G} \quad (8.1)$$

$\eta_0$  – optički stupanj djelovanja kolektora,  $\eta_0 = 0,701$

$k_1$  – koeficijent toplinskih gubitaka [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ],  $k_1 = 1,41 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$

$k_2$  – koeficijent toplinskih gubitaka [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}^2$ ],  $k_2 = 0,0078 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}^2$

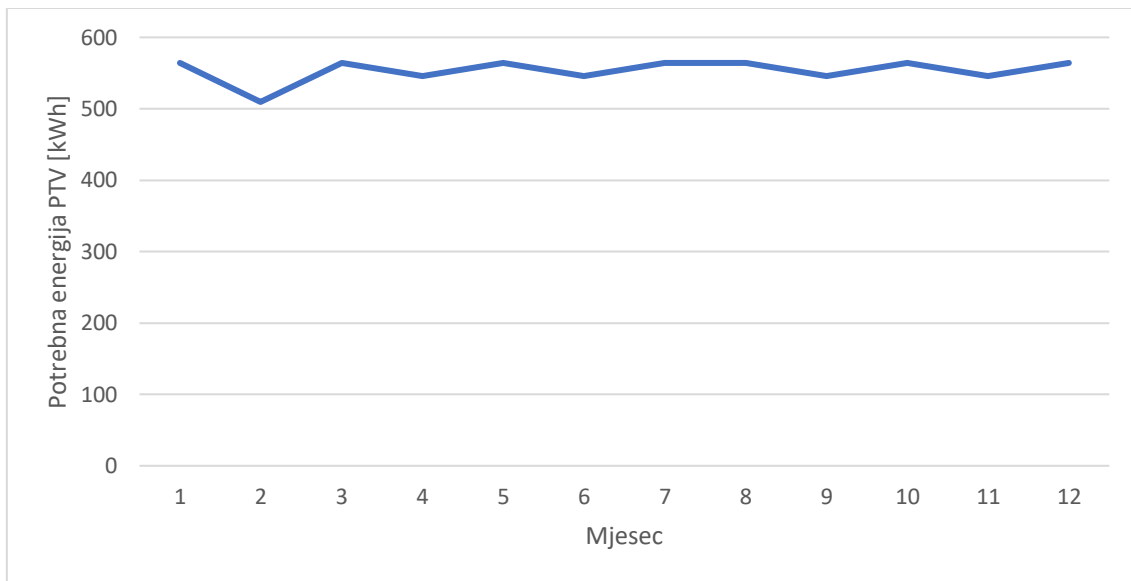
$\Delta T$  – razlika temperature solarnog kolektora i temperature okoline [K]

- Temperatura solarnog kolektora (hlađenje): 90 °C
- Temperatura solarnog kolektora (grijanje): 60 °C

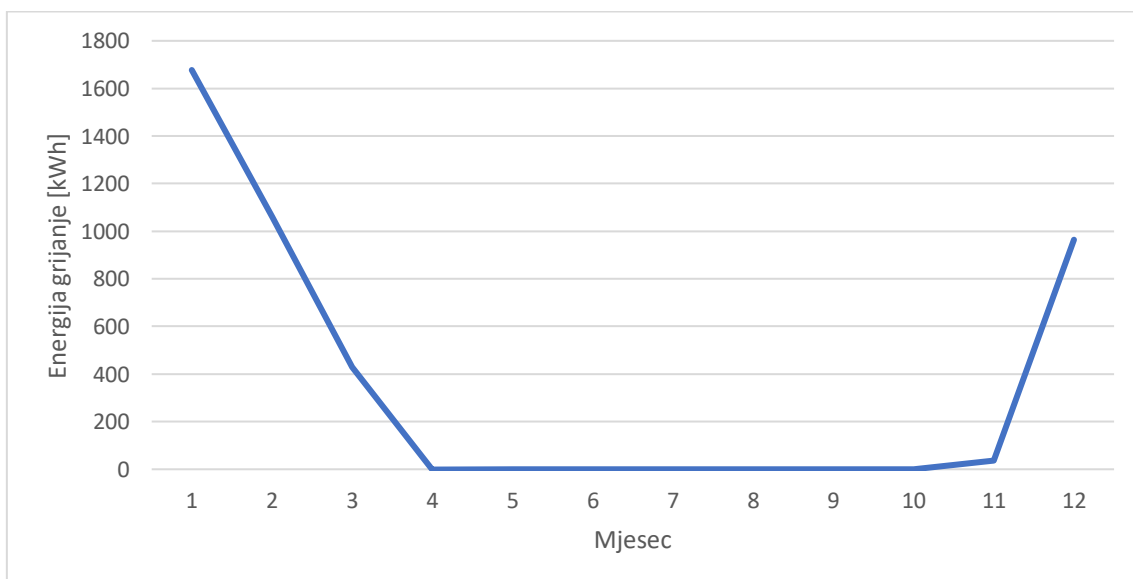
- Temperatura okoline: prosječne mjesečne temperature dobivene iz meteoroloških podataka

$G$  – intenzitet Sunčeva zračenja [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

Broj potrebnih solarnih kolektora određuje se prema potrebama toplinske energije za grijanje, hlađenje i pripremu PTV. Na slikama 8.20., 8.21., 8.22. prikazane se potrebne energije odvojeno te na slici 8.23. sumirano.

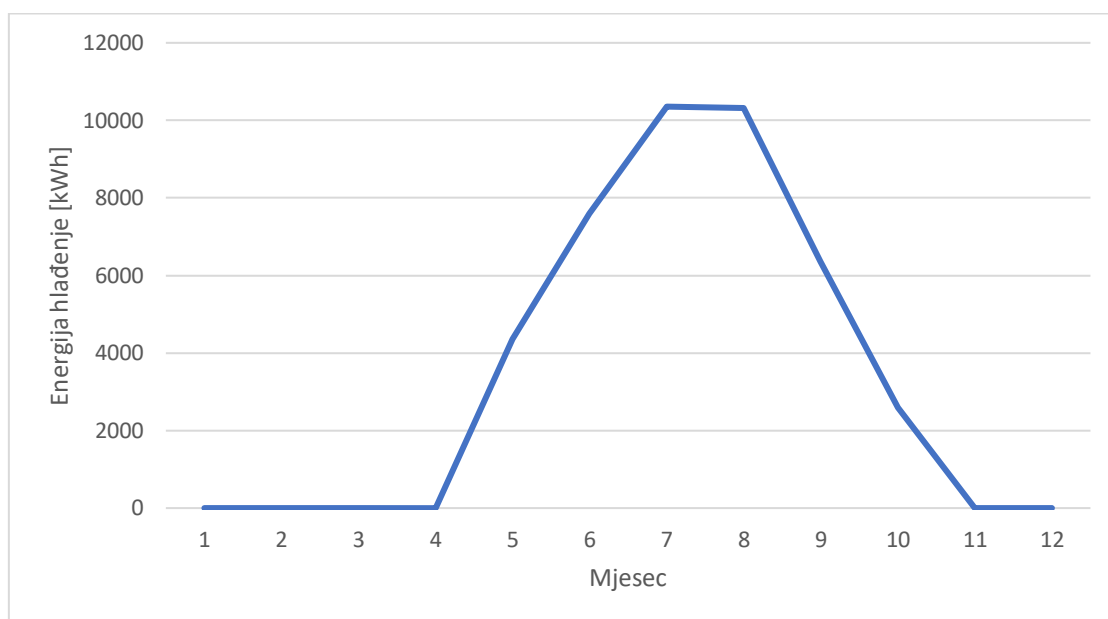


Slika 8.20 Potrebna energija za pripremu PTV po mjesecima

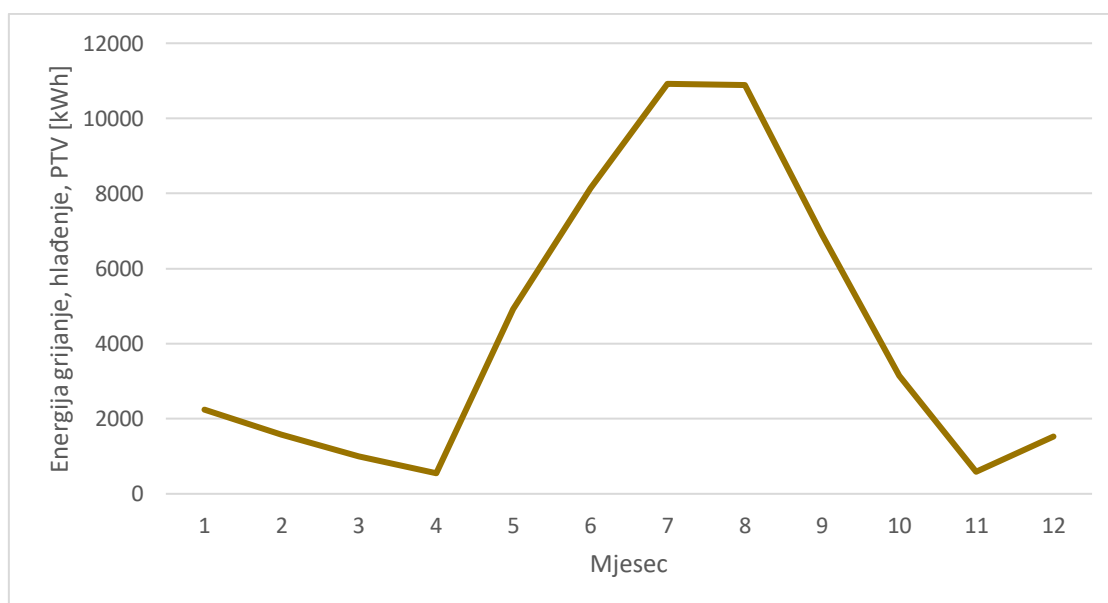


Slika 8.21 Potrebna energija za grijanje po mjesecima





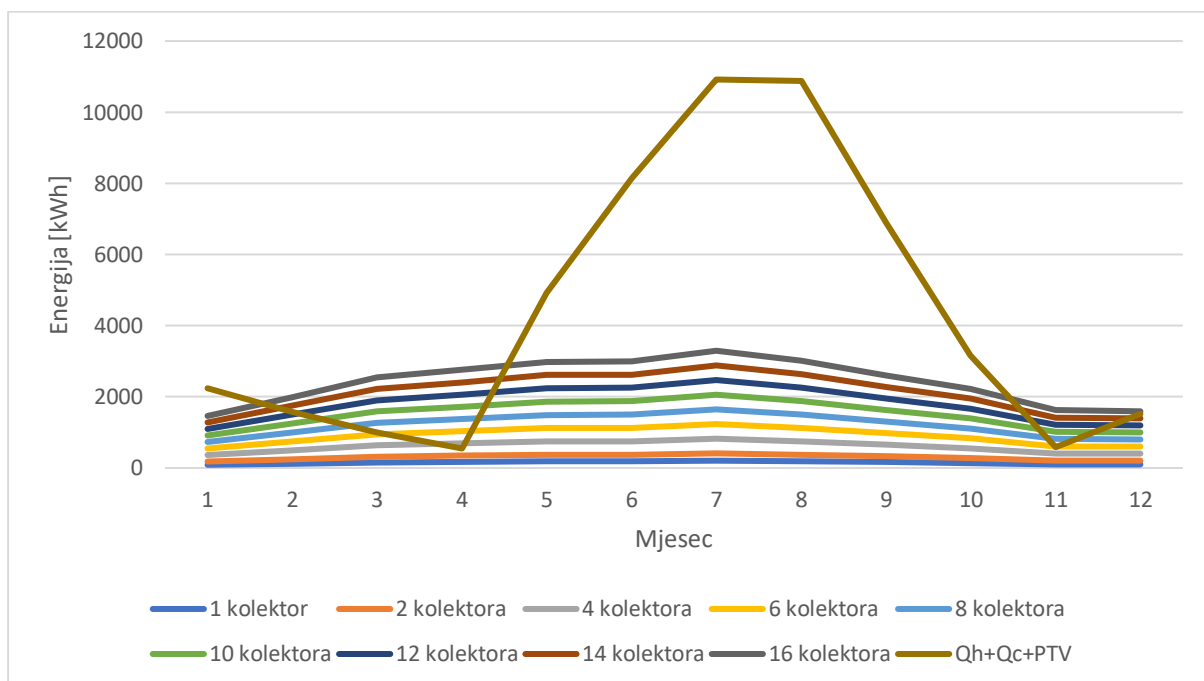
Slika 8.22 Potrebna energija za hlađenje po mjesecima



Slika 8.23 Potrebna ukupna energija po mjesecima

Broj solarnih kolektora kojima bi se pokrila energetska potreba grijanja, hlađenja i pripreme PTV određuje se na temelju dijagrama (Slika 8.24.) kojim je prikazana ukupna potrebna energija po mjesecima ( $Q_h + Q_c + Q_{PTV}$ ) te ukupnoj dobivenoj toplinskoj energiji po mjesecima prema postavljenom broju kolektora. Maksimalan broj kolektora ograničen je dostupnom

površinom ravnog krova etaže 2. kata koja iznosi 89,68 m<sup>2</sup> na koju je planirano postavljanje. Dobivena toplinska energija po mjesecima dobiva se prema stupnju djelovanja kolektora, raspoloživoj površini apsorbera prema broju kolektora te ukupnom globalnom zračenju za promatrani mjesec. Proizvedene toplinske energije promatrane su za 1 kolektor te više kolektora spojenih serijski. Potrebne energije grijanja objekta i potrošne tople vode su iz podataka dobivenih provedenih simulacijama. Potrebna energija za hlađenje uvećana je zbog stupnja djelovanja odabranog apsorpcijskog rashladnog uređaja PinkChiller PC19: EER = 0,62 (omjer rashladnog učinka uređaja  $Q = 19$  kW i potrebnog učinka hlađenja).



Slika 8.24 Prikaz potrebne energije [kWh] i proizvedene toplinske energije [kWh] po mjesecima

Iz dijagrama je vidljivo da je veliki nesrazmjer u potrebi energije u režimu grijanja i hlađenja tj. da objekt ima dominantnu energiju hlađenja. Stoga potreban broj solarnih kolektora za pokrivanje energije u ljetnim mjesecima iziskivao bi veću površinu postavljanja od dostupne. Također je vidljivo da u određenim mjesecima kada su manje potrebe energije već iznad 2 instalirana solarna kolektora javljaju se viškovi koji bi prouzročili pregrijavanje medija unutar kolektora. Mogao bi se projektirati solarni sustav za pripremu PTV, ali uz mogućnost primjene sustava dizalice topline također ekonomski nije opravdano zbog visoke cijene solarnih kolektora i relativno jeftine topline proizvedene dizalicom topline. Solarni sustav grijanja, hlađenja i pripreme PTV zbog svega navedenog je neopravdan te se u potpunosti odbacuje.

### 8.3. Rezultati proračuna sustava dizalica topline zrak – voda i voda – voda

Simulacije sustava za grijanje, hlađenje i pripremu potrošne tople vode pomoću dizalica topline zrak – voda i voda – voda provedene su u periodu jedne godine s ciljem dobivanja i usporedbe potrošnje primarne energije. Rezultati simulacije obuhvaćaju podatke o proizvedenim i potrebnim energijama sustava proizvodnje, predanoj energiji sustava distribucije i gubicima sustava.

#### 8.3.1. Sustav dizalica topline zrak – voda

Tablica 8.6. prikazuje proizvedene energije te potrebnu električnu energiju za pogon dizalica topline zrak – voda sustava grijanja i hlađenja objekta po mjesecima u godini.

*Tablica 8.6 Proizvedene energije grijanja i hlađenja i potrebne energije za pogon dizalica topline zrak - voda*

| Mjesec | Proizvedena energ.<br>(grijanje) [kWh] | Proizvedena energ.<br>(hlađenje) [kWh] | El. energ.<br>(grijanje) [kWh] | El. energ.<br>(hlađenje) [kWh] |
|--------|--|--|--------------------------------|--------------------------------|
| 1      | 2099                                   | 0                                      | 847                            | 0                              |
| 2      | 1397                                   | 0                                      | 555                            | 0                              |
| 3      | 722                                    | 0                                      | 274                            | 0                              |
| 4      | 244                                    | 6                                      | 81                             | 1                              |
| 5      | 0                                      | 2880                                   | 0                              | 769                            |
| 6      | 0                                      | 4438                                   | 0                              | 1285                           |
| 7      | 0                                      | 5916                                   | 0                              | 1889                           |
| 8      | 0                                      | 5516                                   | 0                              | 1754                           |
| 9      | 0                                      | 3545                                   | 0                              | 997                            |
| 10     | 4                                      | 1776                                   | 1                              | 465                            |
| 11     | 325                                    | 0                                      | 109                            | 0                              |
| 12     | 1312                                   | 0                                      | 521                            | 0                              |
| Σ      | 6099                                   | 24077                                  | 2388                           | 7160                           |

U sljedećoj tablici 8.7. prikazani su podaci predane energije sustava distribucije i gubitaka sustava grijanja i hlađenja te potrebnoj el. energiji za pogon pomoćnih uređaja (pumpe sustava proizvodnje) po mjesecima u godini.

*Tablica 8.7 Predana energija, gubici sustava i el. energija pomoćnih uređaja sustava grijanja i hlađenja DT zrak – voda*

| Mjesec | Pred. energ. (grij.) [kWh] | Pred. energ. (hlađ.) [kWh] | Gub.sustava (grij.) [kWh] | Gub.sustava (hlađ.) [kWh] | El. energ. (pom. uređaji) [kWh] |
|--------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 1      | 1677                       | 0                          | 422                       | 0                         | 89                              |
| 2      | 1060                       | 0                          | 337                       | 0                         | 79                              |
| 3      | 428                        | 0                          | 294                       | 0                         | 84                              |
| 4      | 0                          | 1                          | 244                       | 5                         | 80                              |
| 5      | 0                          | 2611                       | 0                         | 269                       | 91                              |
| 6      | 0                          | 4193                       | 0                         | 245                       | 93                              |
| 7      | 0                          | 5677                       | 0                         | 239                       | 102                             |
| 8      | 0                          | 5263                       | 0                         | 253                       | 100                             |
| 9      | 0                          | 3287                       | 0                         | 258                       | 90                              |
| 10     | 0                          | 1516                       | 4                         | 260                       | 87                              |
| 11     | 38                         | 0                          | 287                       | 0                         | 80                              |
| 12     | 964                        | 0                          | 348                       | 0                         | 86                              |
| Σ      | 4167                       | 22548                      | 1936                      | 1529                      | 1061                            |

Sumirani godišnji rezultati simulacije:

- Proizvedena energija (grijanje): 6099 kWh
- Proizvedena energija (hlađenje): 24077 kWh
- Predana energija (grijanje): 4167 kWh
- Predana energija (hlađenje): 22548 kWh
- Gubici (grijanje): 1936 kWh
- Gubici (hlađenje): 1529 kWh
- Gubici sustava (ukupno): 3465 kWh
- El. energija (grijanje): 2388 kWh

- El. energija (hlađenje): 7160 kWh
- El. energija (pomoćni uređaji): 1061 kWh
- El. energija (ukupno): 10609 kWh

Sezonski faktor grijanja koji predstava omjer proizvedene energije grijanja i potrebne električne energije za pogon uređaja:

$$SCOP = \frac{6099}{2388} = 2,56$$

Sezonski faktor hlađenja koji predstava omjer proizvedene energije za hlađenje i potrebne električne energije za pogon uređaja:

$$SEER = \frac{24077}{7160} = 3,36$$

Tablica 8.8. prikazuje rezultate simulacije pripreme PTV pomoću dizalice topline zrak – voda.

*Tablica 8.8 Rezultati simulacije pripreme PTV DT zrak - voda*

| Mjesec | Proizvedena energ.<br>(grijanje) [kWh] | El. energ. (grijanje)<br>[kWh] | El. energ. (pom. uređaji)<br>[kWh] |
|--------|--|--------------------------------|------------------------------------|
| 1      | 635                                    | 261                            | 2                                  |
| 2      | 565                                    | 229                            | 2                                  |
| 3      | 626                                    | 236                            | 2                                  |
| 4      | 611                                    | 214                            | 1                                  |
| 5      | 621                                    | 207                            | 1                                  |
| 6      | 607                                    | 200                            | 1                                  |
| 7      | 627                                    | 206                            | 1                                  |
| 8      | 633                                    | 207                            | 1                                  |
| 9      | 601                                    | 198                            | 1                                  |
| 10     | 627                                    | 211                            | 1                                  |
| 11     | 605                                    | 219                            | 1                                  |
| 12     | 625                                    | 248                            | 2                                  |
| Σ      | 7383                                   | 2636                           | 16                                 |

Iz dobivenih podataka za ukupnu potrošnju električne energije sustava grijanja i hlađenja te sustava pripreme PTV potrošnja primarne energije sustava DT zrak – voda računa se prema izrazu:

$$E_{prim} = (E_{uk,gr+hl} + E_{uk,PTV}) \cdot f \quad (8.2)$$

$E_{uk,gr+hl}$  – ukupna potrošnja električne energije sustava grijanja i hlađenja [kWh]

$E_{uk,PTV}$  – ukupna potrošnja električne energije sustava pripreme PTV [kWh]

$f$  – faktor primarne energije, za električnu energiju preuzetu iz mreže  $f = 1,583$  [10]

Slijedi iznos potrošnje primarne energije za sustav dizalice topline zrak – voda:

$$E_{prim} = (10609 + 2652) \cdot 1,583 = 20992 \text{ [kWh]}$$

### 8.3.2. Sustav dizalica topline voda – voda

Tablica 8.9. prikazuje proizvedene energije te potrebnu električnu energiju za pogon dizalica topline zrak – voda sustava grijanja i hlađenja objekta po mjesecima u godini.

*Tablica 8.9 Proizvedene energije grijanja i hlađenja i potrebne energije za pogon dizalica topline voda - voda*

| Mjesec | Proizvedena energ.<br>(grijanje) [kWh] | Proizvedena energ.<br>(hlađenje) [kWh] | El. energ.<br>(grijanje) [kWh] | El. energ.<br>(hlađenje) [kWh] |
|--------|--|--|--------------------------------|--------------------------------|
| 1      | 2157                                   | 0                                      | 687                            | 0                              |
| 2      | 1453                                   | 0                                      | 467                            | 0                              |
| 3      | 823                                    | 0                                      | 264                            | 0                              |
| 4      | 368                                    | 0                                      | 118                            | 0                              |
| 5      | 0                                      | 2900                                   | 0                              | 564                            |
| 6      | 0                                      | 4452                                   | 0                              | 817                            |
| 7      | 0                                      | 5928                                   | 0                              | 1018                           |
| 8      | 0                                      | 5536                                   | 0                              | 976                            |
| 9      | 0                                      | 3564                                   | 0                              | 684                            |
| 10     | 2                                      | 1781                                   | 0                              | 357                            |
| 11     | 453                                    | 0                                      | 140                            | 0                              |
| 12     | 1367                                   | 0                                      | 438                            | 0                              |
| Σ      | 6621                                   | 24161                                  | 2114                           | 4416                           |

U sljedećoj tablici 8.10. prikazani su podaci predane energije sustava distribucije i gubitak sustava grijanja i hlađenja te potrebne el. energije za pogon pomoćnih uređaja (pumpe sustava proizvodnje) po mjesecima u godini.

*Tablica 8.10 Predana energija, gubici sustava i el. energija pomoćnih uređaja sustava grijanja i hlađenja DT voda – voda*

| Mjesec | Pred. energ. (grij.) [kWh] | Pred. energ. (hlađ.) [kWh] | Gub.sustava (grij.) [kWh] | Gub.sustava (hlađ.) [kWh] | El. energ. (pom. uređaji) [kWh] |
|--------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 1      | 1677                       | 0                          | 480                       | 0                         | 246                             |
| 2      | 1060                       | 0                          | 393                       | 0                         | 222                             |
| 3      | 428                        | 0                          | 395                       | 0                         | 246                             |
| 4      | 0                          | 0                          | 368                       | 0                         | 238                             |
| 5      | 0                          | 2611                       | 0                         | 289                       | 186                             |
| 6      | 0                          | 4193                       | 0                         | 259                       | 220                             |
| 7      | 0                          | 5677                       | 0                         | 251                       | 243                             |
| 8      | 0                          | 5263                       | 0                         | 273                       | 242                             |
| 9      | 0                          | 3287                       | 0                         | 277                       | 204                             |
| 10     | 0                          | 1516                       | 2                         | 265                       | 150                             |
| 11     | 38                         | 0                          | 415                       | 0                         | 238                             |
| 12     | 964                        | 0                          | 403                       | 0                         | 246                             |
| Σ      | 4167                       | 22548                      | 2456                      | 1614                      | 2681                            |

Sumirani godišnji rezultati simulacije:

- Proizvedena energija (grijanje): 6621 kWh
- Proizvedena energija (hlađenje): 24161 kWh
- Predana energija (grijanje): 4167 kWh
- Predana energija (hlađenje): 22548 kWh
- Gubici (grijanje): 2456 kWh
- Gubici (hlađenje): 1614 kWh
- Gubici sustava (ukupno): 4070 kWh
- El. energija (grijanje): 2114 kWh



- El. energija (hlađenje): 4416 kWh
- El. energija (pomoćni uređaji): 2681kWh
- El. energija (ukupno): 9211 kWh

Sezonski faktor grijanja koji predstava omjer proizvedene energije grijanja i potrebne električne energije za pogon uređaja:

$$SCOP = \frac{6621}{2114} = 3,13$$

Sezonski faktor hlađenja koji predstava omjer proizvedene energije za hlađenje i potrebne električne energije za pogon uređaja:

$$SEER = \frac{24161}{4416} = 5,47$$

Tablica 8.11. prikazuje rezultate simulacije pripreme PTV pomoću dizalice topline zrak – voda.

*Tablica 8.11 Rezultati simulacije pripreme PTV DT voda - voda*

| Mjesec | Proizvedena energ.<br>(grijanje) [kWh] | El. energ. (grijanje)<br>[kWh] | El. energ. (pom. uređaji)<br>[kWh] |
|--------|--|--------------------------------|------------------------------------|
| 1      | 635                                    | 177                            | 67                                 |
| 2      | 561                                    | 156                            | 60                                 |
| 3      | 621                                    | 173                            | 67                                 |
| 4      | 601                                    | 167                            | 65                                 |
| 5      | 623,                                   | 173                            | 67                                 |
| 6      | 601                                    | 167                            | 67                                 |
| 7      | 622                                    | 173                            | 67                                 |
| 8      | 622                                    | 173                            | 67                                 |
| 9      | 602                                    | 167                            | 65                                 |
| 10     | 622                                    | 173                            | 67                                 |
| 11     | 603                                    | 168                            | 65                                 |
| 12     | 622                                    | 173                            | 67                                 |
| Σ      | 7335                                   | 2040                           | 791                                |

Iz dobivenih podataka za ukupnu potrošnju električne energije sustava grijanja i hlađenja te sustava pripreme PTV slijedi iznos potrošnje primarne energije sustava DT voda – voda prema izrazu (8.2):

$$E_{prim} = (9211 + 2831) \cdot 1,583 = 19063 \text{ [kWh]}$$

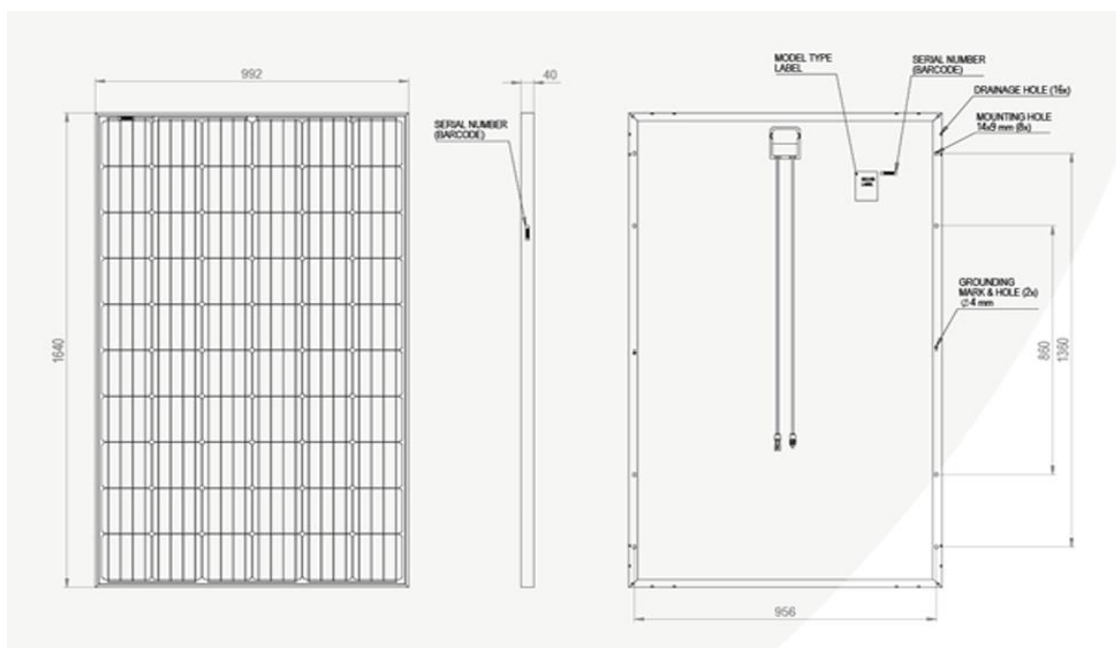
Iz dobivenih rezultata uočljivo je da potrošnja primarne energije sustava DT voda – voda u iznosu 19063 kWh niža za 1929 kWh od potrošnje primarne energije sustava DT zrak – voda u iznosu 20992 kWh.

## 9. FOTONAPONSKI SUSTAVI

Kod sustava proizvodnje energije za potrebe grijanja, hlađenja i pripreme potrošne tople vode uz pomoć dizalica topline za pogon uređaja planirana je ugradnja fotonaponskog sustava. Osnovna komponenta sustava je fotonaponski modul građen od fotonaponskih ćelija u kojima dolazi do izravne pretvorbe sunčevog zračenja u istosmjernu struju na principu fotoelektričnog učinka. Serijski ili paralelno spojene fotonaponske ćelije najčešće su izrađene od monokristalnog, polikristalnog ili amorfno silicija. Fotonaponski moduli se spajaju u niz ili mrežu.

Fotonaponski sustavi mogu biti samostalni („off-grid“) ili priključeni na vanjsku električnu mrežu („on-grid“) sustavi. Samostalni FN sustavi sastoje se od sljedećih osnovnih komponenti: fotonaponski moduli, regulator punjenja, akumulator za pohranu energije i inverter (pretvarač istosmjerne struje u izmjeničnu). Prednosti sustava vlastite proizvodnje električne energije pomoću fotonaponski modula osim korištenja obnovljivih izvora energije uz izostanak štetnih emisija jest dug vijek trajanja te u slučaju povećanja potrebe za energijom moguća nadogradnja sustava.

Za projektiranje sustava za pogon dizalica topline odabran je fotonaponski modul Solvis tip SV60-290 E (slika 9.1.) čiji su električni parametri i tehničke karakteristike prikazani na slici 9.2.



Slika 9.1 Solvis SV60-290 E (dimezije modula) [11]

| Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC) |     |            |            |            |            |            |
|---|-----|------------|------------|------------|------------|------------|
| MODEL   |     | SV60-290 E | SV60-295 E | SV60-300 E | SV60-305 E | SV60-310 E |
| Peak power $P_{MPP}$                                    | [W] | 290        | 295        | 300        | 305        | 310        |
| Peak power tolerance                                    | [W] | -0/+4,9    |            |            |            |            |
| Short circuit current $I_{SC}$                          | [A] | 9,69       | 9,73       | 9,73       | 9,76       | 9,81       |
| Open circuit voltage $V_{OC}$                           | [V] | 39,94      | 39,54      | 40,14      | 40,26      | 40,38      |
| Rated current $I_{MPP}$                                 | [A] | 9,16       | 9,20       | 9,13       | 9,23       | 9,36       |
| Rated voltage $V_{MPP}$                                 | [V] | 32,03      | 32,14      | 33,03      | 33,13      | 33,28      |
| Current and voltage tolerance                           | [%] | ± 3        |            |            |            |            |
| Module efficiency                                       | [%] | 17,83      | 18,13      | 18,44      | 18,75      | 19,05      |

STC: 1000W/m<sup>2</sup> irradiance, 25 °C cell temperature, AM1, 5 g spectrum according to EN 60904-3  
Average relative efficiency reduction of 3,4 % at 200 W/m<sup>2</sup> according to EN 60904-1

| Electrical parameters at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) |     |            |            |            |            |            |
|--|-----|------------|------------|------------|------------|------------|
| MODEL  |     | SV60-290 E | SV60-295 E | SV60-300 E | SV60-305 E | SV60-310 E |
| Peak power $P_{MPP}$   | [W] | 213,5      | 215,2      | 219,4      | 222,5      | 226,7      |
| Peak power tolerance   | [W] | -0/+4,9    |            |            |            |            |
| Short circuit current $I_{SC}$                                     | [A] | 7,78       | 7,81       | 7,81       | 7,84       | 7,88       |
| Open circuit voltage $V_{OC}$                                      | [V] | 35,9       | 36,4       | 36,9       | 37,0       | 37,1       |
| Rated current $I_{MPP}$  | [A] | 7,34       | 7,37       | 7,31       | 7,39       | 7,48       |
| Rated voltage $V_{MPP}$  | [V] | 29,1       | 29,2       | 30,0       | 30,1       | 30,3       |

NOCT: module operating parameters at 800 W/m<sup>2</sup> irradiance, 20 °C ambient temperature, 1 m/s wind speed

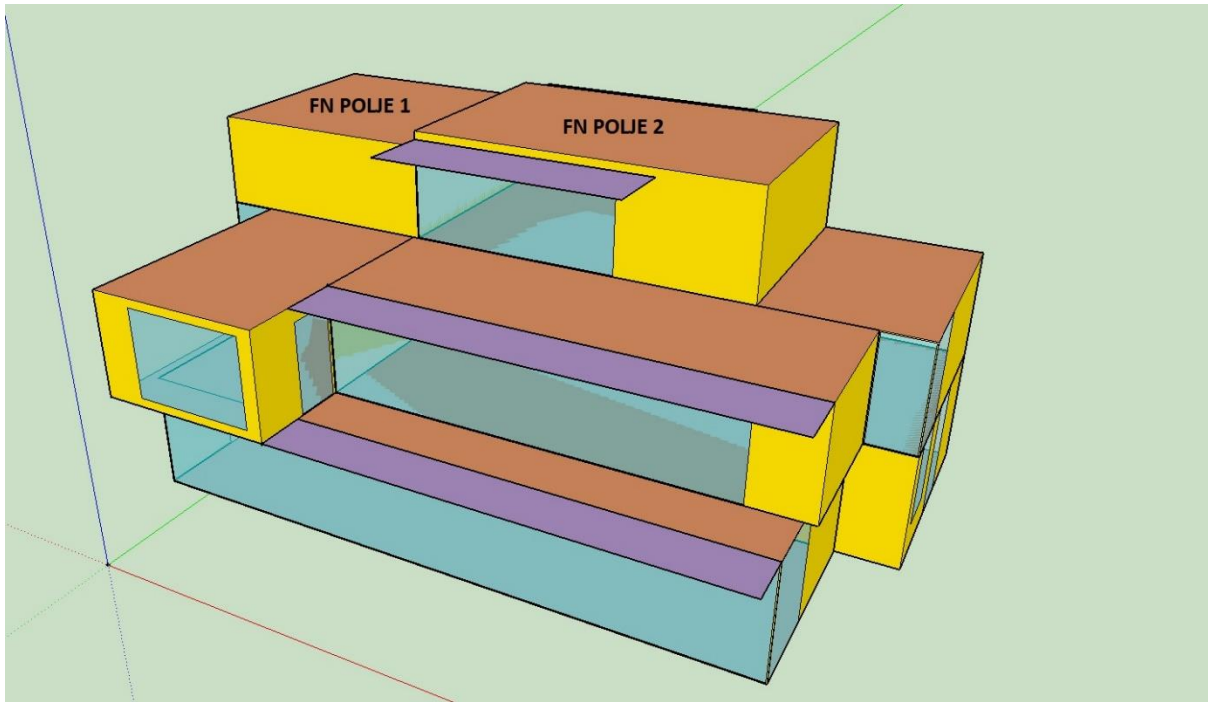
| MECHANICAL DATA        |  |
|------------------------|--|
| Dimensions (H x W x D) | [mm] 1640 x 992 x 40   |
| Weight                 | [kg] 18,3  |
| Solar cells            | 60 cells, monocrystalline Si (PERC), 156 x 156 mm +/- 1mm          |
| Cells encapsulation    | Ethylene vinyl acetate (EVA)                                       |
| Front                  | Tempered solar glass, 3,2 mm                                       |
| Back                   | Composite polyester Film   |
| Frame                  | Anodized aluminium frame with twin-wall profile and drainage holes |
| Junction box           | IP67 with 3 Bypass diodes,   |
| Cable and connectors   | Solar cable 4 mm <sup>2</sup> , length 1200 mm                     |

| OPERATING CONDITIONS          |      |   |
|-------------------------------|------|---|
| Temperature range             | [°C] | -40 to +85                                      |
| Maximum system voltage        | [V]  | 1000  |
| Max. series fuse rating       |      | 15A   |
| Limiting reverse current      |      | 15A   |
| Maximum surface load capacity |      | 5400 Pa (Snow load)                             |
| Resistance against hail       |      | Max. diameter of 25 mm with impact speed 23 m/s |

| THERMAL CHARACTERISTICS              |       |       |
|--------------------------------------|-------|-------|
| Temperature coefficient of $P_{MPP}$ | [%/K] | -0,42 |
| Temperature coefficient of $I_{SC}$  | [%/K] | 0,05  |
| Temperature coefficient of $V_{OC}$  | [%/K] | -0,33 |

Slika 9.2 Tehnički podaci Solvis SV60-290 E [11]

Dimenzioniranje sustava ovisi o raspoloživosti površine za postavljanje modula. U slučaju objekta raspoložive površine za ugradnju modula su gornji ravni krov zadnje etaže. Kako bi se maksimizirala proizvodnja električne energije moduli se postavljaju u orijentaciji juga pod kutom od 30°. Ukupna raspoloživa površina iznosi 89.68 m<sup>2</sup> na koju je potrebno rasporediti module na način da ne dolazi do međusobnog zasjenjenja a time i do neželjenih gubitaka u proizvodnji električne energije. Prema iznosu površine određen je najveći mogući broj modula koji su raspoređeni u dva polja (tablica 9.1.). Smještaj polja na objektu prikazan je na slici 9.3.



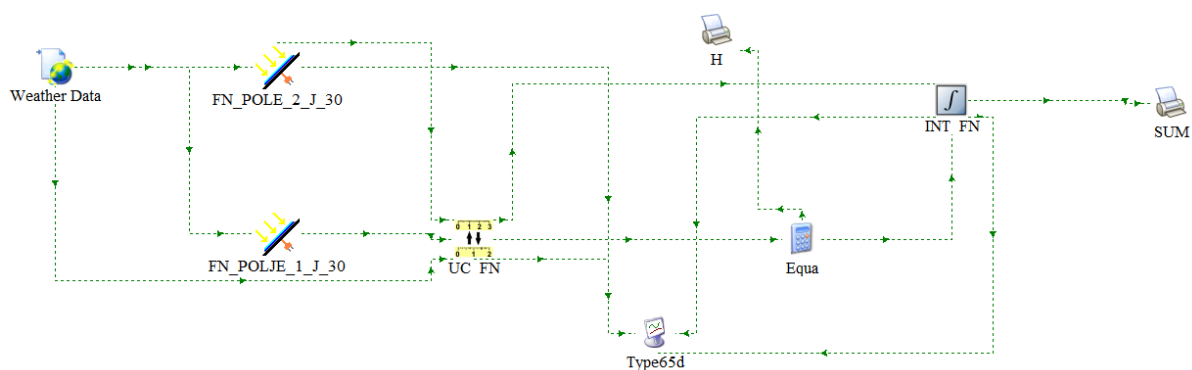
*Slika 9.3 Smještaj FN polja na objektu*

*Tablica 9.1 Broj postavljenih FN modula*

| Polje | Površina polja [m <sup>2</sup> ] | Površina modula [m <sup>2</sup> ] | Broj modula |
|-------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| 1     | 35,99                            | 1,63                              | 12          |
| 2     | 53,69                            | 1,63                              | 20          |

Ukupno su postavljena 32 modula na 2 polja sa ukupnom površinom 52,16 m<sup>2</sup> (12 modula na polju 1: 3 redova modula povezanih serijski, red je s 4 modula povezana paralelno; 20 modula na polju 2: 5 redova modula povezanih serijski, red je s 4 modula povezana paralelno).

Unutar Simulation Studia modeliran je sustav proizvodnje el. energije za pogon dizalica topline sa prikazom korisničkog sučelja korisnika (slika 9.4.)



Slika 9.4 Korisničko sučelje - FN sustav

Godišnja ukupno proizvedena električna energija za oba polja te proizvedena el. energija po mjesecima prikazana je u tablici 9.2.

Tablica 9.2 FN sustav – godišnja proizvedena električna energija [kWh]

| Mjesec | Proizvedena električna energija [kWh] |
|--------|---------------------------------------|
| 1      | 690,64                                |
| 2      | 813,55                                |
| 3      | 1142,52                               |
| 4      | 1199,57                               |
| 5      | 1398,39                               |
| 6      | 1364,71                               |
| 7      | 1446,67                               |
| 8      | 1332,35                               |
| 9      | 1199,48                               |
| 10     | 1072,71                               |
| 11     | 735,06                                |
| 12     | 748,29                                |
| Σ      | 13143,94                              |

Godišnja ukupno proizvedena energija iznosi 13143,94 kWh.

## 9.1. FN sustavi – pokrivanje potreba el. energije kod sustava dizalica topline

Provedena je analiza FN sustava dimenzioniranih za pokrivanje potreba godišnje potrošnje električne energije kod sustava dizalica topline zrak -voda i voda – voda za grijanje, hlađenje i pripremu PTV.

Ukupno potrebne električna energija za promatrana dva sustava dizalica topline zrak – voda i dizalica topline voda – voda za grijanje i hlađenje te pripremu PTV prikazane su u tablici 9.3. Ukupna električna energija je potrebna energija za pogon dizalica topline i pogon pomoćnih uređaja.

Tablica 9.3 Ukupna el. energija za potrebe sustava DT zrak – voda i DT voda – voda

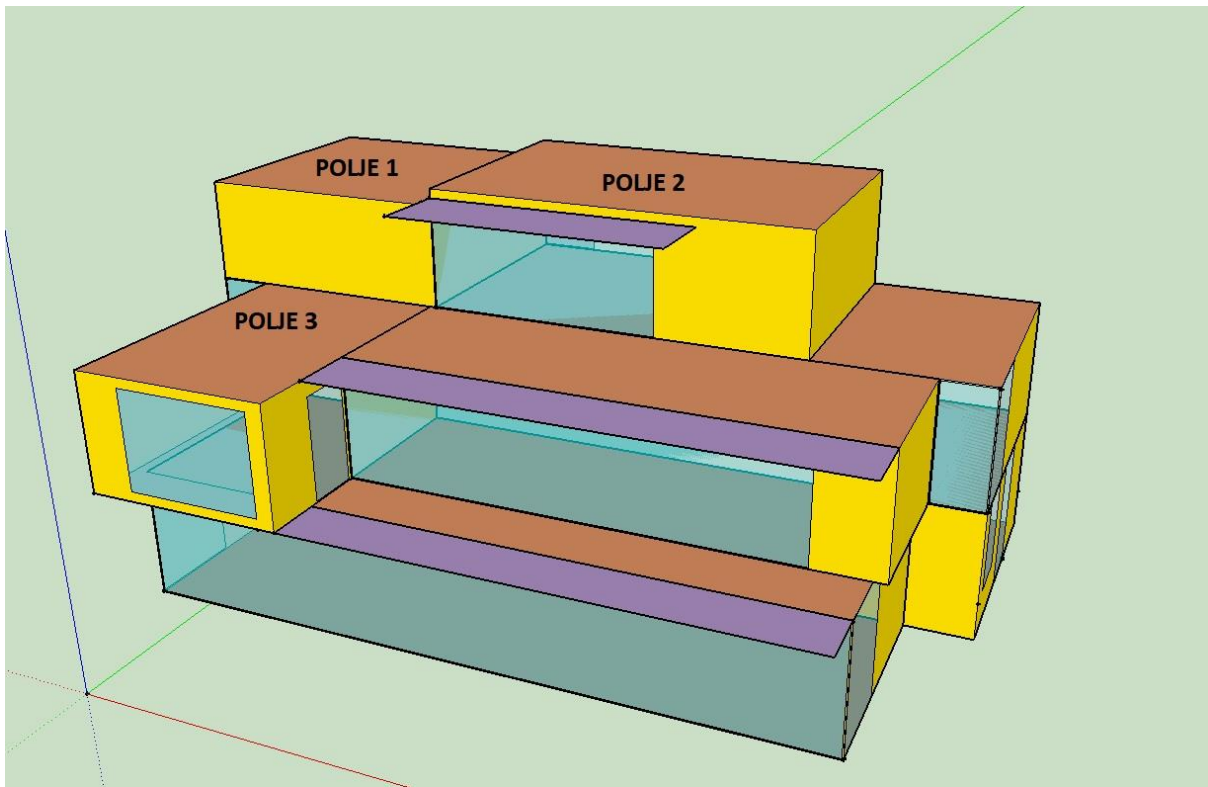
| Sustav         | El. energ. (grij. + hl.)<br>[kWh] | El. energ. (PTV) [kWh] | Ukupno |
|----------------|-----------------------------------|------------------------|--------|
| DT voda – voda | 9211                              | 2831                   | 12042  |
| DT zrak – voda | 10609                             | 2652                   | 13261  |

Kod sustava DT voda – voda ukupna potrošnja el. energije iznosi 12042 kWh. Za potrebe sustava FN sustav vlastite proizvodnje električne energije projektiran je kao i kod FN sustava sa raspoloživom površinom ravnog krova gornje etaže uz to da su uklonjena 2 FN modula. Polje 1 sadržava 12 modula, a na polje 2 postavljeno je 18 modula s ukupnom proizvodnjom 12322,45 kWh električne energije. Pretpostavlja se da se višak proizvedene el. energije od 280,45 kWh koristi za ostale potrebe kućanstva.

Tablica 9.4 Broj postavljenih FN modula za pokrivanje potreba sustava DT voda - voda

| Polje | Površina polja [m <sup>2</sup> ] | Površina modula [m <sup>2</sup> ] | Broj modula |
|-------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| 1     | 35,99                            | 1,63                              | 12          |
| 2     | 53,69                            | 1,63                              | 18          |

Kod sustava DT zrak – voda ukupna potrošnja el. energije iznosi 13261 kWh. FN sustav je projektiran da je uz ukupan broj FN modula za raspoloživu površinu gornje etaže na poljima 1 i 2 dodano polje 3 sa 2 modula na etaži niže (slika 9.5.).



*Slika 9.5 Smještaj FN polja na objektu (potrebe sustava DT zrak – voda)*

*Tablica 9.5 Broj postavljenih FN modula za pokrivanje potreba sustava DT zrak - voda*

| Polje | Površina polja [m <sup>2</sup> ] | Površina modula [m <sup>2</sup> ] | Broj modula |
|-------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| 1     | 35,99                            | 1,63                              | 12          |
| 2     | 53,69                            | 1,63                              | 18          |
| 3     | 30,55                            | 1,63                              | 2           |

FN sustav sa postavljena 32 modula na 3 polja godišnje proizvodi 13965,44 kWh el. energije. Višak energije od 704,44 kWh koristi se za potrebe kućanstva.



## 10. EKONOMSKA ANALIZA SUSTAVA

Potrebno je provesti ekonomsku analizu pri odabiru tehničkog sustava tako da se odrede pogonski i investicijski troškovi. Troškovi se gledaju na duži vremenski period u kojem se uspoređuju ukupne cijenovne vrijednosti sustava u sagledanom vremenskom periodu na temelju koje je moguće odrediti ekonomski najisplativiji sustav.

### 10.1. Troškovi korištenja i distribucije konačne električne energije

Za sustave dizalica topline za grijanje, hlađenje i pripremu PTV provodi se proračun troškova korištenja i distribucije mreže na osnovi krajnje potrošnje električne energije sustava po tarifnim stavkama izraženim u €/kWh preuzetim na stranicama HEP-a (tablica 10.1.).

Tablica 10.1 Cjenik tarifnih modela HEP-a [12]

| Kategorija |             | Tarifni model | Tarifni element |           |           |                    |  |
|------------|-------------|---------------|-----------------|-----------|-----------|--------------------|--|
|            |             |               | Radna energija  |           |           | Naknada za opskrbu |  |
|            |             |               | JT              | VT        | NT        |                    |  |
|            |             |               | Tarifne stavke  |           |           |                    |  |
|            |             |               | [EUR/kWh]       | [EUR/kWh] | [EUR/kWh] | [EUR/mj]           |  |
| 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              |  |

Tarifni model za pripadajuće kućanstvo je bijeli model, za kupce na niskom naponu s višetarifnim brojilom, po kojem se obračunava cijenovni iznos korištenja el. energije po višetarifnoj stavci (viša tarifa VT i niža tarifa NT) i mjesečnoj naknadi za opskrbu. Na iznos se dodaje 13% PDV-a.

Raspored više i niže tarife tokom dana za zimsko i ljetno računanje vremena:

- Zimsko računanje vremena: VT 07-21 h, NT 21-07 h
- Ljetno računanje vremena: VT 08-22 h, NT 22-08 h

Obračun iznosa se provodi prema izrazu:

$$C_{GOD} = (1 + I_{PDV}) \cdot (TM_B(VT) \cdot E_{el} \cdot 0,583 + TM_B(NT) \cdot E_{el} \cdot 0,417 + N_{MJops} \cdot 12 + N_{OiE} \cdot E_{el}) \quad (10.1)$$

Gdje je:

$C_{GOD}$  – iznos za korištenje, distribuciju mreže i opskrbu [EUR/god]

$I_{PDV}$  – PDV,  $I_{PDV} = 0,13$

$TM_B(VT)$  – viša tarifna stavka (cijena) bijelog modela [EUR/kWh]

$TM_B(NT)$  – niža tarifna stavka (cijena) bijelog modela [EUR/kWh]

$N_{MJops}$  – mjesečna naknada za opskrbu [EUR/mj],  $N_{MJops} = 0,982$  [EUR/mj]

$N_{OiE}$  – naknada za obnovljive izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju [EUR/kWh]

$E_{el}$  – godišnja potrošnja [kWh/god]

Sustav DT zrak – voda:

$$C_{GOD} = (1 + 0,13) \cdot (0,074789 \cdot 13265,445 \cdot 0,583 + 0,036697 \cdot 13265,445 \cdot 0,417 + 0,982 \cdot 12 + 0,013936 \cdot 13265,445)$$

$$C_{GOD} = 1105,19 \text{ EUR/god}$$

Sustav DT voda – voda:

$$C_{GOD} = (1 + 0,13) \cdot (0,074789 \cdot 12037,605 \cdot 0,583 + 0,036697 \cdot 12037,605 \cdot 0,417 + 0,982 \cdot 12 + 0,013936 \cdot 12037,605)$$

$$C_{GOD} = 1004,13 \text{ EUR/god}$$

Godišnji iznos korištenja i distribucije mreže za potrošnju el. energije za sustav dizalice topline zrak – voda iznosi 1105,19 €, dok za sustav dizalice topline voda – voda iznosi 1004,13 €.

## 10.2. Investicijski troškovi sustava

Dimenzionirani sustavi također će se usporediti sa gledišta početnih investicijskih troškova. Analizom neće biti obuhvaćen podsustava predaje i distribucije, već će se investicijski troškovi usporediti cijenovnom vrijednošću uređaja podsustava proizvodnje koji čine razliku među sustavima.

U tablici 10.2. navedeni su dimenzionirani sustavi na kojima se provodi usporedba troškova.

Tablica 10.2 Analizirani sustavi sa strane investicijskih troškova

| SUSTAV | Grijanje i hlađenje | Priprema PTV   | Proizvodnja vlastite el. energije |
|--------|---------------------|----------------|-----------------------------------|
| 1      | DT zrak – voda      | DT zrak – voda | -                                 |
| 2      | DT voda – voda      | DT voda – voda | -                                 |
| 3      | DT zrak – voda      | DT zrak – voda | FN moduli                         |
| 4      | DT voda – voda      | DT voda – voda | FN moduli                         |

### 10.2.1. Sustav 1

U tablici 10.3. prikazani su ukupni investicijski troškovi instalacije sustava 1 koji obuhvaćaju cijene uređaja sustava proizvodnje i montažu. Također na cijenu je uključen PDV 25%.

Tablica 10.3 Investicijski troškovnik sustava 1

| SUSTAV 1                     |                                 | Cijena [EUR] | Količina | Ukupno [EUR] |
|------------------------------|---------------------------------|--------------|----------|--------------|
| Dizalica topline zrak – voda | Aermec ANKI075H                 | 7668         | 2        | 15336        |
|                              | Upravljački i hidraulički modul |              |          |              |
| Dizalica topline zrak – voda | Aermec ANKI045H                 | 7215         | 1        | 7215         |
|                              | Upravljački i hidraulički modul |              |          |              |
| Inercijski sprem             | Centrometal TB600               | 670          | 1        | 670          |
| Spremnik PTV                 | Centrometal CAS-S 503           | 775          | 1        | 775          |

|   |       |
|---|-------|
| UKUPNO                                    | 23996 |
| Montaža, potrošni materijal, prijevoz 30% | 7199  |
| UKUPNO                                    | 31195 |
| PDV 25%                                   | 7799  |
| UKUPNO                                    | 38994 |

### 10.2.2. Sustav 2

Tablica 10.4. prikazuje cjenovnik uređaja i montaže sustava 2 s uključenim PDV-om.

*Tablica 10.4 Investicijski troškovnik sustava 2*

| SUSTAV 2                                  |                                 | Cijena<br>[EUR] | Količina | Ukupno<br>[EUR] |
|---|---------------------------------|-----------------|----------|-----------------|
| Dizalica topline<br>voda – voda           | Aermec WRL101XH                 | 19231           | 1        | 19231           |
|   | Upravljački i hidraulički modul |                 |          |                 |
| Dizalica topline<br>voda – voda           | Aermec WRL026                   | 4738            | 1        | 4738            |
|   | Upravljački i hidraulički modul |                 |          |                 |
| Inercijski sprem                          | Centrometal TB600               | 670             | 1        | 670             |
| Spremnik PTV                              | Centrometal CAS-S 503           | 775             | 1        | 775             |
| Titanijski izmjenjivač topline            |                                 | 2115            | 1        | 2115            |
| UKUPNO                                    |                                 |                 |          | 27529           |
| Montaža, potrošni materijal, prijevoz 30% |                                 |                 |          | 8259            |
| UKUPNO                                    |                                 |                 |          | 35788           |
| PDV 25%                                   |                                 |                 |          | 8947            |
| UKUPNO                                    |                                 |                 |          | 44735           |

### 10.2.3. Sustav 3

Sustav 3 se sastoji od sustava dizalice topline zrak – voda (sustav 1) i sustava vlastite proizvodnje električne energije pomoću fotonaponskih modula dimenzioniranog za pokrivanje potrošnje sustava 1. Prema odredbi Republike Hrvatske za energetska obnova objekata iz 2024. godine za postavljanje fotonaponskih elektrana vlastite proizvodnje električne energije koje su spojene ili nisu spojene na vanjsku mrežu provodi se sufinanciranje od 50% investicijskih troškova. U tablici 10.5. prikazan je investicijski troškovnik sustava 3 sa cijenama uređaja i troškovima montaže.

Tablica 10.5 Investicijski troškovnik sustava 3

| SUSTAV 3                                  |                    | Cijena<br>[EUR] | Količina | Ukupno<br>[EUR] |
|---|--------------------|-----------------|----------|-----------------|
| Fotonaponski panel                        | Solvis SV60- 290 E | 128             | 32       | 4096            |
| Inverter                                  | Sungrow SG10RS     | 142             | 1        | 142             |
| Nosači                                    | TRB F10-NS1        | 3               | 128      | 384             |
| Kablovi za struju                         | PV Solar; po m     | 2               | 200      | 400             |
| UKUPNO                                    |                    |                 |          | 5022            |
| Sufinanciranje RH za FN elektrane 50%     |                    |                 |          | 2511            |
| UKUPNO                                    |                    |                 |          | 2511            |
| Montaža, potrošni materijal, prijevoz 30% |                    |                 |          | 753             |
| UKUPNO                                    |                    |                 |          | 3264            |
| Sustav 1                                  |                    |                 |          | 38994           |
| UKUPNO                                    |                    |                 |          | 42258           |

### 10.2.4. Sustav 4

Kombinacijom sustava 2 i sustavom proizvodnje električne energije za pokrivanje potrošnje pogona sustava 2 pomoću FN modula dobije se sustav 4 čiji je investicijski troškovnik prikazan u tablici 10.6. Također u troškovniku je uračunato sufinanciranje za energetska obnova korištenjem FN sustava za proizvodnju vlastite el. energije od 50% iznosa investicije.

Tablica 10.6 Investicijski troškovnik sustava 4

| SUSTAV 4                                  |                    | Cijena<br>[EUR] | Količina | Ukupno<br>[EUR] |
|---|--------------------|-----------------|----------|-----------------|
| Fotonaponski panel                        | Solvis SV60- 290 E | 128             | 28       | 3584            |
| Inverter                                  | Sungrow SG10RS     | 142             | 1        | 142             |
| Nosači                                    | TRB F10-NS1        | 3               | 112      | 336             |
| Kablovi za struju                         | PV Solar; po m     | 2               | 200      | 400             |
| UKUPNO                                    |                    |                 |          | 4462            |
| Sufinanciranje RH za FN elektrane 50%     |                    |                 |          | 2231            |
| UKUPNO                                    |                    |                 |          | 2231            |
| Montaža, potrošni materijal, prijevoz 30% |                    |                 |          | 670             |
| UKUPNO                                    |                    |                 |          | 2901            |
| Sustav 2                                  |                    |                 |          | 44735           |
| UKUPNO                                    |                    |                 |          | 47636           |

### 10.3. Troškovi pogona i održavanja sustava

Troškovi pogona podrazumijevaju godišnji trošak korištenja električne energije, dok troškovi održavanja na godišnjoj razini iznose 1-2% investicijskog troška.

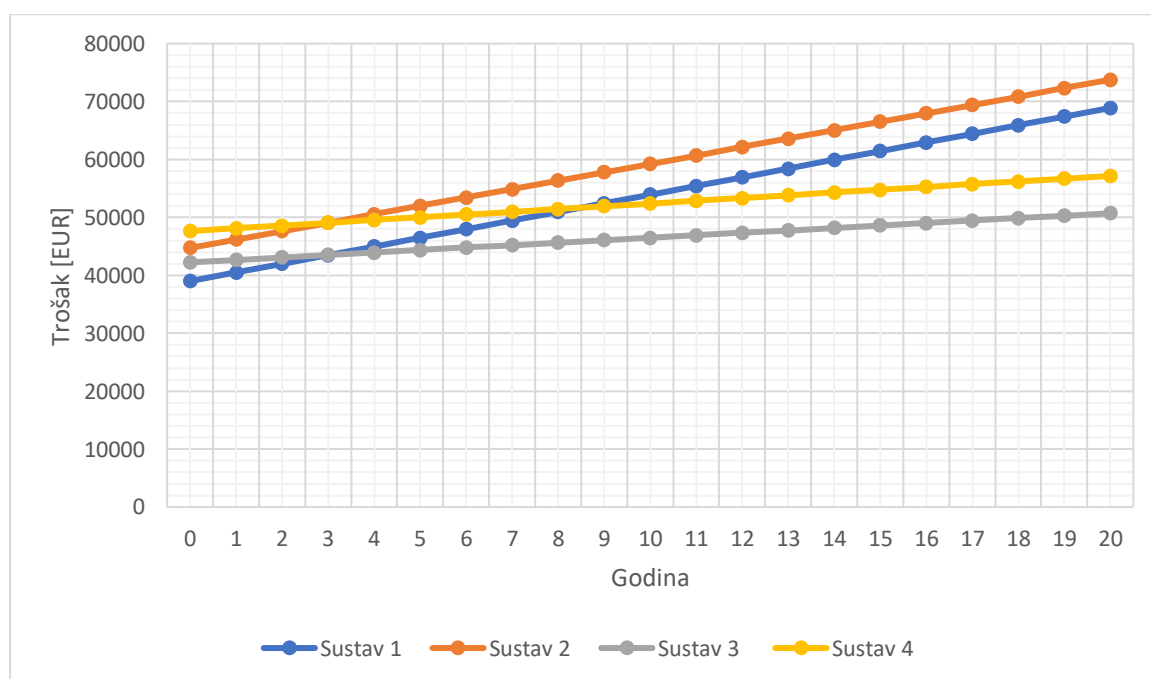
U tablici 10.7. prikazani su ukupni godišnji troškovi pogona i održavanja promatranih sustava.

Tablica 10.7 Troškovi pogona i održavanja sustava

| Sustav   | Pogonski trošak [EUR] | Trošak održavanja [EUR] | UKUPNO  |
|----------|-----------------------|-------------------------|---------|
| Sustav 1 | 1105,19               | 390                     | 1495,19 |
| Sustav 2 | 1004,13               | 447                     | 1451,13 |
| Sustav 3 | -                     | 423                     | 423     |
| Sustav 4 | -                     | 476                     | 476     |

## 10.4. Usporedba isplativosti sustava

Konačni odabir sustava koji će se instalirati za grijanje i hlađenje objekta te pripremu potrošne tople vode uvelike ovisi o ekonomskoj isplativosti istog. Krajnji predviđeni trošak instalacije, pogona i održavanja promatra se u periodu očekivanog životnog vijeka sustava. Isplativost sustava promatra se za početnu cijenu investicije te za izdatke za pogon i održavanje. Najisplativiji će biti onaj sustav kojemu je ukupni trošak najniži u promatranom periodu. Grafičkim prikazom (slika 10.1.) ukupnih troškova sustava 1, sustava 2, sustava 3 i sustava 4 najlakše će se uočiti najisplativiji i time ekonomski najopravdaniji.



Slika 10.1 Graf troškova sustava

Na grafu je vidljivo da svi sustavi iziskuju poprilične početne investicijske troškove od kojih je najviši onaj za primjenu sustava s dizalicom topline voda – voda i vlastitom proizvodnjom električne energije (sustav 4), a najniži za sustav dizalice topline zrak – voda (sustav 1). Kasnijom analizom pogonskih troškova i troškova održavanja vidljivo je da sustav 1 i 2 čija investicijska cijena nije bila najskuplja nakon promatranog perioda se pokazuju neisplativim u odnosu na iste sustave s primjenom sustava za pokrivanje potrošnje električne energije FN panelima (sustavi 3 i 4). Upravo radi velikih godišnjih pogonskih troškova koji kumulativno nakon vremena korištenja postanu mnogo viši u odnosu na troškove korištenja sustava 3 i 4

koji iziskuju samo troškove održavanja. Usporedbom svih sustava najopravdaniji i najisplativiji pokazuje se sustav 3 ( dizalica topline zrak – voda u kombinaciji sa FN panelima). Već nakon četvrte godine promatranog perioda isplativiji je od istog sustava bez FN panela.



## 11. ZAKLJUČAK

Za novoizgrađeni objekt na području Dalmacije predviđena je ugradnja sustava grijanja, hlađenja i pripreme potrošne tople vode korištenjem obnovljivih izvora energije. Provedbom cjelogodišnjih simulacija unutar programskog paketa TRNSYS analizirani su različiti tehnički sustavi među kojima je ispitana primjena implementacije solarne energije. Na temelju dobivenih rezultata utvrđene su mogućnosti korištenja pojedinih sustava. Također usporedbom podataka nakon provedenih simulacija te ekonomskom analizom odabran je najoptimalniji tehnički sustav.

Za provedbu simulacija potrebno je bilo generirati 3D model objekta unutar programa Google SketchUp sa postavljenim toplinskim zonama te ugađanjem fizikalnih svojstava toplinskog modela zgrade unutar programa TRNSYS odrediti energetska opterećenja. Sagledana je mogućnost smanjenja toplinskih opterećenja primjenom zasjenjenja i mehaničke ventilacije s rekuperacijom topline. Kombinacijom unutarnjeg i vanjskog aktivnog zasjenjenja dolazi do najmanjih pregrijavanja unutar zona s obzirom na postavljene temperature u režimu grijanja i hlađenja. Upotreba zasjenjenja imala je povoljan utjecaj na smanjenje potrebne energije za hlađenje koja je u slučaju promatranog objekta dominirajuća, time je ukupna energija za potrebe grijanja i hlađenja u slučaju unutarnjeg i vanjskog aktivnog zasjenjenja najniža. Primjena mehaničke ventilacije s rekuperacijom topline smanjila je potrebnu energiju u režimu grijanja. Na temelju dobivenih projektnih učinaka provedeno je dimenzioniranje mogućih tehničkih sustava. Sustav grijanja objekta i potrošne tople vode te hlađenja objekta sastoji se od podsustava predaje i distribucije te podsustava proizvodnje energije. Za podsustav predaje grijanja i hlađenja objekta odabrani su ventilokovektori, dok je za podsustave proizvodnje energije (grijanje, hlađenje i PTV) predviđeno korištenje dizalica topline zrak – voda, dizalice topline voda – voda te sustav solarnog toplinskog grijanja i hlađenja korištenjem cijevnih vakuumskih kolektora i aposorpcijskog rashladnog uređaja, sa ugrađenim inercijskim spremnicima. Kod sustava dizalica topline dodani su fotonaponski sustavi vlastite proizvodnje električne energije za pokrivanje troškova pogona. Na taj način kod svih sustava provedena je implementacija solarne energije, koja se kod FN sustava pretvara u električnu, a kod sustava sa solarnim vakuumskim kolektorima u toplinsku energiju. Analizom toplinskog solarnog sustava mogućnost primjene je u potpunosti odbačena zbog velikih potreba energije u periodu hlađenja što bi zahtjevalo veliki broj kolektora za koje nema dovoljno raspoložive površine postavljanja. Osim toga, postavljanjem većeg broja solarnih kolektora u periodu manje potrebe

energije (veliki nesrazmjer potrebne energije u periodu grijanja i hlađenja) dolazilo bi do pregrijavanja radnog medija unutar kolektora. Provedbom simulacija sustava sa dizalicama topline dobiveni su podaci proizvedene toplinske energije te potrebne električne energije. Provedbom simulacija FN sustava dobiveni su podaci proizvedene električne energije koja se koristi za pogon sustava sa dizalicama topline.

Nakon provedbe simulacija bilo je potrebno provesti ekonomsku analizu sustava sa dizalicama topline bez FN sustava i sa primjenom FN sustava. Analiza je obuhvaćala određivanje investicijskih i pogonskih troškova te troškova održavanja sustava u periodu od 20 godina. Na temelju ekonomske analize utvrđeno je da je najisplativiji sustav sa dizalicama topline zrak – voda u kombinaciji sa FN sustavom i to već nakon četvrte godine promatranog perioda.

## 12. LITERATURA

- [1] S interneta: „Tehnički propisi o izmjenama i dopunama tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama“, Narodne novine, broj 1527/13, 20/17, [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018\\_08\\_70\\_1422.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_08_70_1422.html), 20.6.2024.
- [2] Soldo V., Novak S., Horvat I., „Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora prema HRN EN ISO 13790“, FESB, Zagreb, svibanj 2017.
- [3] S interneta: <https://mcsolar.hr/rekuperacija-zraka/>, 20.6.2024.
- [4] S interneta: <https://global.aermec.com/en/download/product-selection/>
- [5] Dović D., Horvat I., Rodić A., „Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama“, FESB, Zagreb, svibanj 2017.
- [6] S interneta: [https://www.centrometal.hr/public/downloads/spremnici-ptv/CAS/CAS-3-Tehnicke-upute\\_MultiLang.pdf](https://www.centrometal.hr/public/downloads/spremnici-ptv/CAS/CAS-3-Tehnicke-upute_MultiLang.pdf), 20.6.2024.
- [7] Izv. prof. dr.sc. Delač B., predavanja i vježbe iz kolegija „Računalno modeliranje sustava u termoenergetici i termotehnici“, Tehnički fakultet u Rijeci, 2022.
- [8] Prof. dr. sc. Wolf I., predavanja iz kolegija „Obnovljivi izvori energije“, Tehnički fakultet u Rijeci, 2019.
- [9][https://www.viessmann.ca/content/dam/public-brands/ca/pdfs/solar/vitosol\\_200-t\\_spe\\_tdm.pdf/ jcr\\_content/renditions/original./vitosol\\_200-t\\_spe\\_tdm.pdf](https://www.viessmann.ca/content/dam/public-brands/ca/pdfs/solar/vitosol_200-t_spe_tdm.pdf/jcr_content/renditions/original./vitosol_200-t_spe_tdm.pdf), s interneta, 20.6.2024.
- [10][https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/meteoroloski\\_podaci/Tablice\\_faktori\\_prim.en-1.4.2022..pdf](https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/meteoroloski_podaci/Tablice_faktori_prim.en-1.4.2022..pdf), s interneta, 20.6.2024.
- [11] S interneta: [https://solvis.hr/wp-content/uploads/2019/05/LQSOLVIS-DS-HR-SV60\\_E\\_5BB-1640x992x40-290-310-20190125.pdf](https://solvis.hr/wp-content/uploads/2019/05/LQSOLVIS-DS-HR-SV60_E_5BB-1640x992x40-290-310-20190125.pdf), 20.6.2024.
- [12] S interneta: <https://www.hep.hr/elektra/kucanstvo/tarifne-stavke-cijene/1547>, 20.6.2024.

### 13. POPIS SLIKA

|  |    |
|--|----|
| Slika 2.1 3D model objekta (pogled na južno pročelje).....   | 5  |
| Slika 2.2 3D model objekta (pogled na sjeverno pročelje) .....   | 5  |
| Slika 2.3 Grafičko sučelje korisnika – osnovni model.....  | 13 |
| Slika 2.4 Temperaturni graf - model bez zasjenjenja.....   | 14 |
| Slika 2.5 Temperaturni graf – model s unutarnjim zasjenjenjem .....  | 15 |
| Slika 2.6 Temperaturni graf - model s unutarnjim i vanjskim zasjenjenjem.....  | 16 |
| Slika 3.1 Mehanička ventilacija s rekuperacijom topline [3] .....  | 17 |
| Slika 3.2 Grafičko sučelje korisnika – mehanička ventilacija.....  | 19 |
| Slika 4.1 Grafički prikaz potrebnih energija - osnovni model .....   | 21 |
| Slika 4.2 Grafički prikaz potrebnih energija - osnovni model (mehanička ventilacija) .....                             | 22 |
| Slika 4.3 Grafički prikaz potrebnih energija – model s unutarnjim zasjenjenjem.....                                    | 24 |
| Slika 4.4 Grafički prikaz potrebnih energija – model s unutarnjim zasjenjenjem (mehanička ventilacija) .....           | 25 |
| Slika 4.5 Grafički prikaz potrebnih energija – model s unutarnjim i vanjskim zasjenjenjem                              | 26 |
| Slika 4.6 Grafički prikaz potrebnih energija – model s unutarnjim i vanjskim zasjenjenjem                              | 28 |
| Slika 4.7 Grafički prikaz usporedbe enrgije za grijanje .....  | 29 |
| Slika 4.8 Grafički prikaz usporedbe energije za hlađenje .....   | 29 |
| Slika 4.9 Grafički prikaz usporedbe ukupne potrebne energije za grijenje i hlađenje.....                               | 30 |
| Slika 5.1 Projektni učinci za grijanje .....   | 32 |
| Slika 5.2 Projektni učinci za hlađenje - model bez zasjenjenja.....  | 33 |
| Slika 5.3 Projektni učinci za hlađenje – model s unutarnjim zasjenjenjem .....   | 34 |
| Slika 5.4 Projektni učinci za hlađenje - model su unutarnjim i vanjskim zasjenjenjem.....                              | 35 |
| Slika 6.1 Grafički prikaz promjene relativne snage regulacijom protoka zraka promjenom brzine ventilatora .....        | 38 |
| Slika 8.1 Učinkovitost toplinskih izvora u odnosu na raspoloživost [7].....  | 46 |
| Slika 8.2 Shema dizalice topline zrak – voda [8] .....   | 47 |
| Slika 8.3 Pojednostavljena shema sustava grijanja i hlađenja DT zrak – voda.....                                       | 48 |
| Slika 8.4 Graf efikasnosti u režimu grijanja uređaja Aermec ANKI075H .....   | 50 |
| Slika 8.5 Graf efikasnosti u režimu hlađenja uređaja Aermec ANKI075H .....   | 50 |
| Slika 8.6 Korisničko sučelje - sustav grijanja i hlađenja DT zrak - voda sa sustavom predaje ventilokonvektorima ..... | 51 |
| Slika 8.7 Pojednostavljena shema pripreme PTV DT zrak – voda.....  | 52 |

|   |    |
|---|----|
| Slika 8.8 Graf efikasnosti u režimu grijanja uređaja Aermec ANKI045H .....  | 53 |
| Slika 8.9 Korisničko sučelje – Sustav pripreme PTV pomoću dizalice topline zrak – voda..                                | 54 |
| Slika 8.10 Dnevni profil potrošnje PTV.....   | 54 |
| Slika 8.11 Shema dizalica topline voda – voda [7].....  | 55 |
| Slika 8.12 Pojednostavljena shema sustava grijanja i hlađenja DT voda – voda.....                                       | 56 |
| Slika 8.13 Graf efikasnosti u režimu grijanja uređaja Aermec WRL101XH.....  | 58 |
| Slika 8.14 Korisničko sučelje - sustav grijanja i hlađenja DT zrak - voda sa sustavom predaje ventilokonvektorima ..... | 59 |
| Slika 8.15 Pojednostavljena shema pripreme PTV DT zrak – voda.....  | 59 |
| Slika 8.16 Graf efikasnosti u režimu grijanja uređaja Aermec WRL026XH.....  | 61 |
| Slika 8.17 Korisničko sučelje – Sustav pripreme PTV pomoću dizalice topline zrak – voda                                 | 61 |
| Slika 8.18 Tehnički podaci Vitasol 200-T tip SPE [9].....   | 62 |
| Slika 8.19 Sastavni dijelovi vakuumskog cijevnog kolektora [9] .....  | 63 |
| Slika 8.20 Potrebna energija za pripremu PTV po mjesecima .....   | 64 |
| Slika 8.21 Potrebna energija za grijanje po mjesecima.....  | 64 |
| Slika 8.22 Potrebna energija za hlađenje po mjesecima .....   | 65 |
| Slika 8.23 Potrebna ukupna energija po mjesecima .....  | 65 |
| Slika 8.24 Prikaz potrebne enengije [kWh] i proizvedene toplinske energije [kWh] po mjesecima .....                     | 66 |
| Slika 9.1 Solvis SV60-290 E (dimezije modula) [11] .....  | 75 |
| Slika 9.2 Tehnički podaci Solvis SV60-290 E [11].....   | 76 |
| Slika 9.3 Smještaj FN polja na objektu .....  | 77 |
| Slika 9.4 Korisničko sučelje - FN sustav .....  | 78 |
| Slika 9.5 Smještaj FN polja na objektu ( potrebe sustava DT zrak – voda).....   | 80 |
| Slika 10.1 Graf troškova sustava .....  | 87 |

## 14. POPIS TABLICA

|   |    |
|---|----|
| Tablica 2.1 Strop/pod između katova.....  | 7  |
| Tablica 2.2 Unutarnji zid.....  | 7  |
| Tablica 2.3 Vanjski pod.....  | 8  |
| Tablica 2.4 Ravni krov .....  | 8  |
| Tablica 2.5 Vanjski zid.....  | 9  |
| Tablica 2.6 Pod prema tlu.....  | 9  |
| Tablica 2.7 Koeficijenti apsorpcije i emisije sunčevog zračenja; koeficijenti prijelaza topline<br>.....  | 10 |
| Tablica 2.8 Godišnji raspored grijanja/hlađenja tijekom mjeseci.....  | 12 |
| Tablica 3.1 Vaillant VAR 260/4 .....  | 19 |
| Tablica 4.1 Varijante modela s obzirom na tip zasjenjenja i vrstu ventilacije .....   | 20 |
| Tablica 4.2 Potrebne energije za grijanje i hlađenje (osjetna + latentna) - osnovni model....   | 21 |
| Tablica 4.3 Potrebne energije za grijanje i hlađenje (osjetna + latentna) - osnovni model<br>(mehanička ventilacija) .....                              | 22 |
| Tablica 4.4 Potrebne energije za grijanje i hlađenje (osjetna + latentna) – model s unutarnjim<br>zasjenjenjem .....                                    | 23 |
| Tablica 4.5 Potrebne energije za grijanje i hlađenje (osjetna + latentna) – model s unutarnjim<br>zasjenjenjem (mehanička ventilacija) .....            | 25 |
| Tablica 4.6 Potrebne energije za grijanje i hlađenje (osjetna + latentna) – model s unutarnjim<br>i vanjskim zasjenjenjem .....                         | 26 |
| Tablica 4.7 Potrebne energije za grijanje i hlađenje (osjetna + latentna) – model s unutarnjim<br>i vanjskim zasjenjenjem (mehanička ventilacija) ..... | 27 |
| Tablica 4.8 Usporedba energija za potrebe grijanja i hlađenja objekta .....   | 28 |
| Tablica 5.1 Projektni učinci za grijanje.....   | 32 |
| Tablica 5.2 Maksimalni projektni učinci za hlađenje – model bez zasjenjenja.....  | 33 |
| Tablica 5.3 Maksimalni projektni učinci za hlađenje – model s unutarnjim zasjenjenjem....   | 34 |
| Tablica 5.4 Maksimalni projektni učinci za hlađenje – model s unutarnjim i vanjskim<br>zasjenjenjem .....   | 35 |
| Tablica 6.1 Tehničke karakteristike uređaja Aermec FCZ 300 [4] .....  | 37 |
| Tablica 6.2 Podaci uređaja FCZ 300 [4] .....  | 38 |
| Tablica 6.3 Dobiveni koeficijenti .....   | 38 |
| Tablica 6.4 Dimenzije cjevovoda .....   | 39 |

|  |    |
|--|----|
| Tablica 7.1 Tehničke karakteristike akumulacijskog spremnika s ugrađenim cijevnim izmjenjivačem Centrometal CAS-S 503 [6]..... | 43 |
| Tablica 8.1 Razmatrani sustavi.....  | 44 |
| Tablica 8.2 Tehničke karakteristike uređaja Aermec ANKI075H [4] .....  | 49 |
| Tablica 8.3 Tehničke karakteristike uređaja Aermec ANKI045H [4] .....  | 53 |
| Tablica 8.4 Tehničke karakteristike uređaja Aermec WRL101XH [4] .....  | 57 |
| Tablica 8.5 Tehničke karakteristike uređaja Aermec WRL026XH [4] .....  | 60 |
| Tablica 8.6 Proizvedene energije grijanja i hlađenja i potrebne energije za pogon dizalica toline zrak - voda .....            | 67 |
| Tablica 8.7 Predana energija, gubici sustava i el. energija pomoćnih uređaja sustava grijanja i hlađenja DT zrak – voda .....  | 68 |
| Tablica 8.8 Rezultati simulacije pripreme PTV DT zrak - voda .....   | 69 |
| Tablica 8.9 Proizvedene energije grijanja i hlađenja i potrebne energije za pogon dizalica toline voda - voda .....            | 71 |
| Tablica 8.10 Predana energija, gubici sustava i el. energija pomoćnih uređaja sustava grijanja i hlađenja DT voda – voda.....  | 72 |
| Tablica 8.11 Rezultati simulacije pripreme PTV DT voda - voda .....  | 73 |
| Tablica 9.1 Broj postavljenih FN modula .....  | 77 |
| Tablica 9.2 FN sustav – godišnja proizvedena električna energija [kWh].....  | 78 |
| Tablica 9.3 Ukupna el. energija za potrebe sustava DT zrak – voda i DT voda – voda.....  | 79 |
| Tablica 9.4 Broj postavljenih FN modula za pokrivanje potreba sustava DT voda - voda....                                       | 79 |
| Tablica 9.5 Broj postavljenih FN modula za pokrivanje potreba sustava DT zrak - voda ....                                      | 80 |
| Tablica 10.1 Cjenik tarifnih modela HEP-a [12].....  | 81 |
| Tablica 10.2 Analizirani sustavi sa strane investicijskih troškova .....   | 83 |
| Tablica 10.3 Investicijski troškovnik sustava 1 .....  | 83 |
| Tablica 10.4 Investicijski troškovnik sustava 2 .....  | 84 |
| Tablica 10.5 Investicijski troškovnik sustava 3 .....  | 85 |
| Tablica 10.6 Investicijski troškovnik sustava 4 .....  | 86 |
| Tablica 10.7 Troškovi pogona i održavanja sustava .....  | 86 |

## 15. SAŽETAK

Zadatak rada bio je za novoizgrađeni stambeni objekt smješten na lokaciji grada Splita utvrditi mogućnost primjene solarnog sustava za grijanje, hlađenje i pripremu potrošne tople vode. Za provedbu simulacija korišten je računalni dinamički simulacijski program za termoenergetske i termotehničke sustave TRNSYS. Pomoću programa Google SketchUp generiran je 3D model objekta.

U prvom dijelu za toplinski matematički model objekta proveden je proračun godišnje potrošnje energije za grijanje i hlađenje u ovisnosti o tipu zasjenjenja. Zatim je za nekoliko tehničkih sustava za grijanje, hlađenje i pripremu potrošne tople vode proveden odabir opreme i njihova implementacija. Razmotreni su sustavi dizalice topline zrak -voda, sustavi dizalice topline voda – voda i solarni toplinski sustav sa vakuumskim cijevnim solarnim kolektorima u kombinaciji sa apsorpcijskim rashladnim uređajem. Kod sustava sa dizalicama topline implementiran je fotonaponski sustav za proizvodnju električne energije za pokrivanje troškova pogona sustava.

U drugom dijelu rada provedena je energetska i ekonomska analiza sustava. Na temelju analize odabran je sustav dizalice topline zrak – voda u kombinaciji sa fotonaponskim sustavom koji se pokazao kao najisplativiji.

Ključne riječi: grijanje, hlađenje, priprema PTV, dizalica topline zrak – voda, dizalica topline voda – voda, solarni toplinski sustav, fotonaponski sustav, energetska i ekonomska analiza



## 16. ABSTRACT

The aim of the work was to determine the possibility of applying a solar system for heating, cooling and preparation of domestic hot water for a newly built residential building located in the city of Split. The computer dynamic simulation program for thermoenergetic and thermotechnical systems TRNSYS was used to perform the simulations. 3D model of the object was generated using the Google SketchUp program.

In the first part of work, for the thermal mathematical model of the building, the annual energy consumption for heating and cooling was calculated depending on the type of shading. Then, for several technical systems for heating, cooling and preparation of domestic hot water, the selection of equipment and their implementation was carried out. Air-water heat pump systems, water-water heat pump systems and a solar thermal system with vacuum tube solar collectors in combination with an absorption cooling device were considered. In the system with heat pumps, a photovoltaic system is implemented for the production of electricity to cover the costs of operating the system.

In the second part of the work, the energy and economic analysis of the system was carried out. Based on the analysis, the air-water heat pump system was selected in combination with the photovoltaic system, which proved to be the most cost-effective.

Keywords: heating, cooling, DHW preparation, air to water heat pump, water to water heat pump, solar thermal system, photovoltaic system, energy and economic analysis