

# GVIK sustav zgrade gotovo nulte energije

---

**Frank-Jerman, Angelo**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*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:190:661488>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-11**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad  
**GVIK SUSTAV ZGRADE GOTOVO NULTE ENERGIJE**

Rijeka, rujan 2022.

Angelo Frank-Jerman  
0069076862

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**GVIK SUSTAV ZGRADE GOTOVO NULTE ENERGIJE**

Mentor: Doc.dr.sc.Boris Delač

Komentor: Prof.dr.sc. Branimir Pavković

Rijeka, rujan 2022.

Angelo Frank-Jerman

0069076862

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
**POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKE ISPITE**

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: **Angelo Frank-Jerman (0069076862)**  
Studij: **Diplomski sveučilišni studij strojarstva**  
Modul: **Termotehnika**

Zadatak: **GVIK sustav zgrade gotovo nulte energije / HVAC system for a nearly zero energy building**

**Opis zadatka:**

Za obiteljsku kuću smještenu na području Sjevernog Jadrana potrebno je utvrditi optimalan koncept i pogonske parametre sustava grijanja, hlađenja i pripreme potrošne tople vode. Simulacije provesti dinamičkim energetske modelom simulacijskog sučelja TRNSYS. Proračune i koncept tehničkih sustava potrebno je izraditi u skladu s trenutno važećom regulativom u Republici Hrvatskoj. Tehničko rješenje treba obuhvaćati termotehnički sustav baziran na obnovljivim izvorima energije i vlastiti sustav proizvodnje električne energije.

Arhitektonske podloge s definiranom fizikom zgrade 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 13. Pravilnika o diplomskom radu i diplomskom ispitu diplomskom sveučilišnom studiju Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad : „GVIK sustav zgrade gotovo nulte energije“, pod stručnim vodstvom mentora doc. dr. sc. Borisa Delača i komentora prof. dr. sc. Branimira Pavkovića u razdoblju od 16. ožujka 2022. do 18. rujna 2022. godine.

---

U Rijeci, 20.rujna 2022.

## **ZAHVALA**

*Zahvaljujem se mentoru, doc. dr. sc. Borisu Delaču na izuzetnoj suradnji i beskrajnom strpljenju tijekom izrade čitavog rada te na korisnim savjetima i svom prenesenom znanju koje sam stekao radeći ovaj rad i koje će mi u budućnosti puno značiti i koristiti. Također se zahvaljujem i komentoru red. prof. doc. sc. Branimiru Pavkoviću na korisnim savjetima i podijeljenim iskustima.*

## SADRŽAJ:

1. UVOD .....	1
1.1 Zgrada gotovo nulte energije .....	1
2. DEFINIRANJE MODELA .....	3
2.1 Ugađanje modela u programu Trnsys .....	6
2.2 Definiranje konstrukcijskih elemenata zgrade (Wall type manager) .....	6
2.3 Prozori, vrata, zasjenjenja .....	10
2.4 Grijanje, hlađenje i infiltracija zraka.....	10
2.5 Unutarnji dobici topline .....	12
3. Proračun energije potrebne za grijanje i hlađenje zgrade.....	14
3.1 Rezultati proračuna .....	14
3.1.1 Osnovni slučaj .....	14
3.2.2 Slučaj s mehaničkom ventilacijom za pokrivanje minimalnog provjetravanja .....	15
4. Projektni učinci za grijanje i hlađenje .....	20
5. Distribucija i predaje toplinske energije.....	22
5.1 Ventilatorski konvektori .....	22
5.2.1 Cijevni razvod ventikokonvektora.....	23
5.2.2 Odabir ventilokonvektora .....	23
5.3 Podno grijanje .....	26
5.4 Dizalice topline .....	26
5.4.1 Dizalica topline zrak/voda .....	27
6. Sustav pripreme PTV-a .....	32
6.1 Sunčeva energija – solarni toplinski sustav .....	34
6.1.2 Fotonaponski sustav.....	38
7. Sustavi grijanja, hlađenja, pripreme PTV i vlastite potrošnje električne energije.....	41
7.1 Sustav 1 .....	41
7.2 Sustav 2.....	43
7.3 Sustav 3 .....	45
7.4 Sustav 4.....	47
7.5 Troškovi sustava .....	47
7.6 Ekonomsko razmatranje.....	48
7.6 Moguća poboljšanja sustava .....	49
8. Zaključak .....	55
9. Literatura .....	56
10. Sažetak .....	57
11. Abstract .....	58
POPIS SLIKA .....	59
POPIS TABLICA.....	61

# 1. UVOD

Cilj ovoga rada jest odrediti optimalan koncept i pogonske parametre sustava grijanja, ventilacije, hlađenja te pripreme potrošne tople vode za obiteljsku kuću smještenu na području Sjevernog Jadrana te analiza i razrada najoptimalnijeg sustava GVIK. Analiza potrošnje energije te općenito cijeli uvid u raspodjelu temperatura i ostalih parametra zgrade vrši se pomoću dinamičkih simulacija koje su dio simulacijskog sučelja TRNSYS. Pomoću navedenog programa postavljanjem određenog matematičkog modela moguća je provedba simulacija koja nam daju informacije o potrošnji energije koje nam dalje koriste za određivanje i samih troškova vezanih uz energiju koje za sobom nose i odabir odgovarajuće opreme za rad samih sustava. Osnovni cilj pri izradi termoenergetskih sustava jest da se prvenstveno udovolji potreba ugodnosti korisnika samog sustava odnosno objekta u kojem je sustav instaliran ali također i zadovoljavanje sustava za potrebnom isporukom energije. Ovim radom glavni fokus je stavljen na određivanje najefikasnijeg sustava GVIK za zadani objekt na temelju analize različitih konfiguracija odnosno izvedbi sustava kao i izračuna potrošnje energije i troškova za iste.

Objekt točnije obiteljska kuća jest starija kamena kuća koja prolazi proces renovacije te je zato potrebno odrediti najoptimalniji i najefikasniji sustav za taj objekt. Za određivanje meteoroloških parametara određena je lokacija Rijeka. Riječ je o objekt s prizemljem i katom te tavanom u koja je predviđena za boravak do pet osoba.

## 1.1 Zgrada gotovo nulte energije

U današnje vrijeme kada sve više dolaze do izražaja problemi vezani uz klimatske promjene i zagađenja atmosfere potrebno je na razne načine smanjiti djelovanje stvaranja navedenih pojava. Procjena je da zgrade uzrokuju stvaranje do 35% emisije CO<sub>2</sub> te također da troše oko 40% energije te se stoga teži smanjenju istih parametara pomoću gradnje zgrada gotovo nulte energije. Zgrada nulte energije tj. nZEB (nearly zero-energy building) jest objekt koji ima vrlo visoka energetska svojstva, točnije za rad sustava GVIK koristi vrlo malo energije koju najvećim dijelom dobiva iz obnovljivih izvora energije. Prednosti ovakvih zgrada u odnosu na ostale su mnogobrojne a neke temeljne su:



- Korištenjem obnovljivih izvora energije (sunce, vjetar, tlo) doprinosi se očuvanju klime
- Uvelike niži troškovi za korištenje energije
- Mogućnost korištenja viška proizvedene energije za druge potrebe
- Manja potrošnja vode radi ugrađenih kontrola protoka vode na izljevnim mjestima
- Manje su potrebe za održavanjem te je duži životni vijek same zgrade

Na temelju svega navedenog kod projektriranja svih novih zgrada ili rekonstrukcije postojećih cilj je čim više smanjiti energetske potrebe same zgrade. Za to postići potrebna je dobra povezanost svih struka koje sudjeluju u projektiranju same zgrade te upotreba ekoloških materijala za izrada same zgrade. Sve navedeno dovodi do manjeg utroška energije i također korištenja energije iz obnovljivih izvora što rezultira manjim završnim troškovima i smanjenim emisijama same zgrade.

Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama definirane su najveće dopuštene vrijednosti za nove zgrade (nZEB) grijane na temperaturu 18°C ili više. Prilikom rekonstrukcije obiteljske kuće u primorskoj Hrvatskoj zahtjev za potrošnju primarne energije definiran je granicom od 80 kWh/m<sup>2</sup>, dok je dozvoljena potrošnja korisne energije za grijanje 27 - 60 kWh/m<sup>2</sup>, ovisno o faktoru oblika građevine.

## 2. DEFINIRANJE MODELA

Korisna površina objekta je 208 m<sup>2</sup>. Dimenzije objekta su a x b x c m. Objekt sadrži dvije etaže pretežno stambene namjene. Za razvoj toplinskog modela zgrade etaža prizemlja podijeljena je na tri toplinske zone, dok je etaža kata podijeljena na dvije toplinske zone. Model zgrade izrađen je u programu Google Sketchup-u koji je uparen s programom Trnsys3D [10]. Kako je gore navedeno zgrada je podijeljena na grijane i negrijane zone.

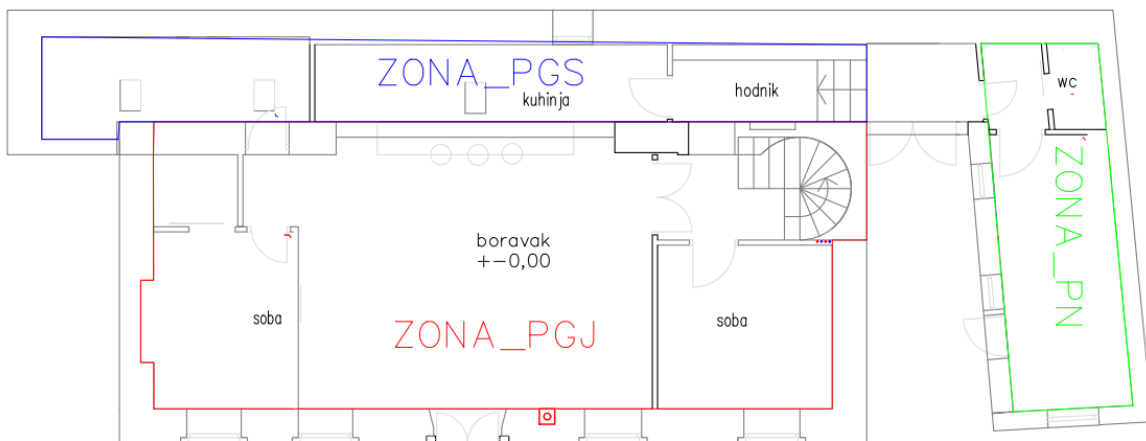
Grijane zone:

- Prizemlje ( južna i sjeverna strana (P\_G\_J i P\_G\_S))
- Kat ( područje iznad prizemlja (K\_G))

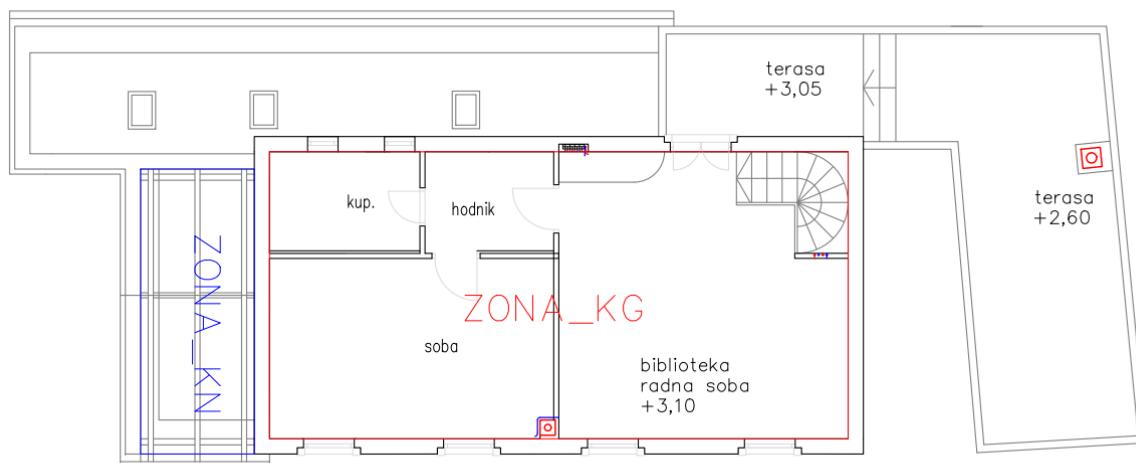
Negrijane zone:

- Prizemlje ( dio u koji se odnosi na konobu(P\_N))
- Kat ( dio područja iznad prizemlja (K\_N))
- Tavan (T\_N)

Prikaz raspodjele zona na arhitektonskim podlogama dan je na slikama 2.1 (prizemlje) i 2.2 (kat).

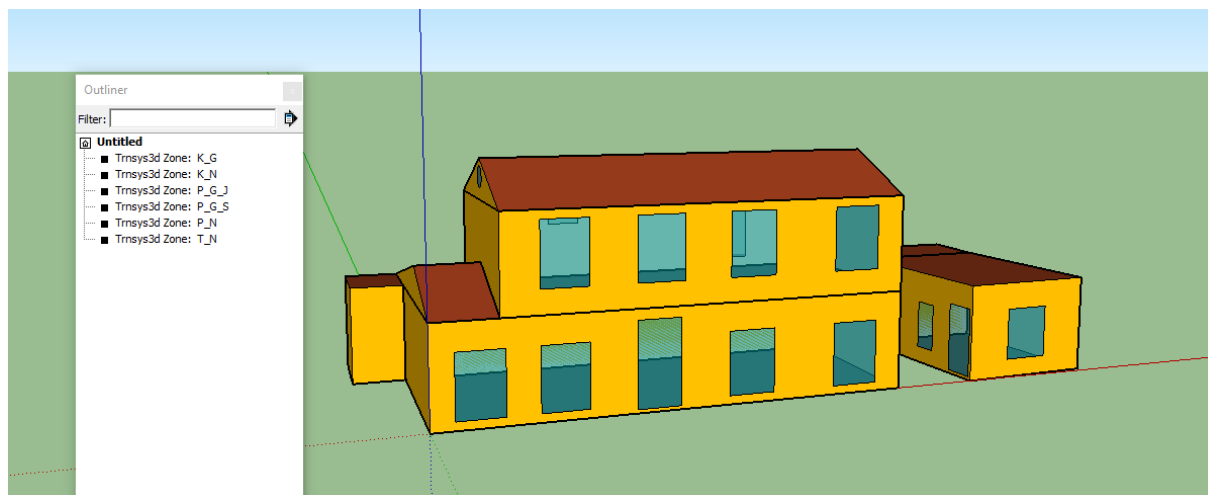


Slika 2.1 Raspodjela toplinskih zona – prizemlje

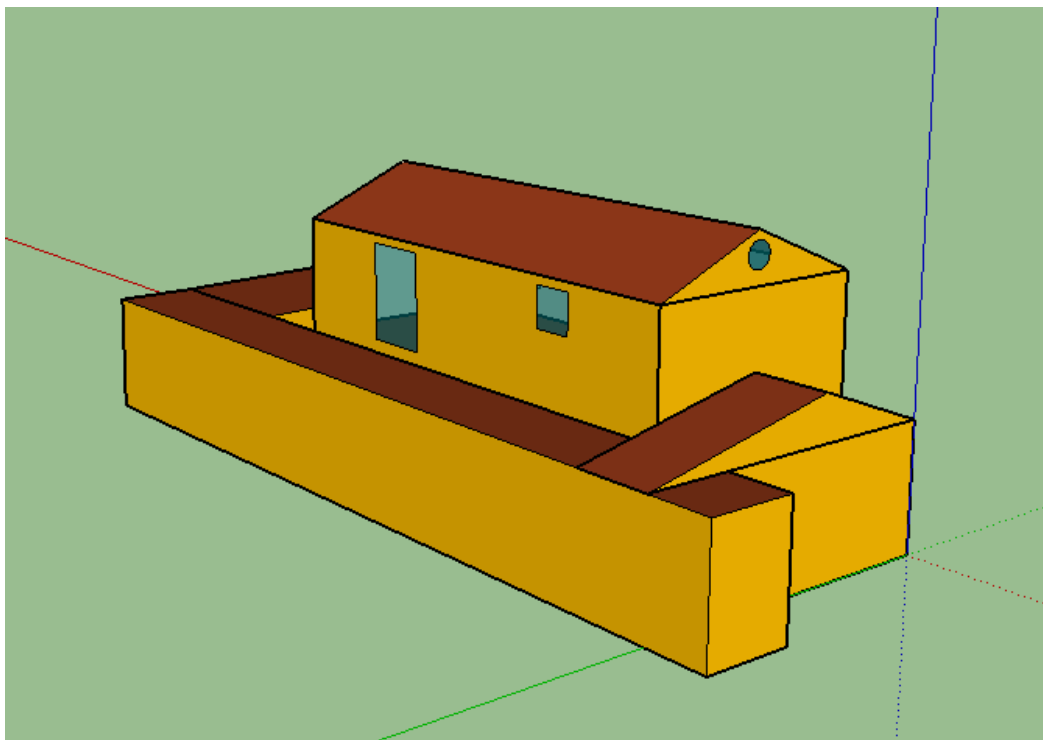


*Slika 2.2 Raspodjela toplinskih zona – kat*

Prilikom izrade toplinskog modela zgrade stvarni objekt potrebno je podijeliti na toplinske zone. Pri tome se može definirati broj zona jednak broju prostorija u zgradi, ili pojednostavniti model i objediniti prostore koji se održavaju na jednakoj temperaturi tijekom godine i imaju slična svojstva u pogledu gubitaka i dobitaka topline u jednu toplinsku zonu. Svaka zona definirana je volumenom zraka koji ju ispunjava na temelju njenih gabarita. Prikaz tako definiranog modela iz dva pogleda prikazan je na slici 2.3 i 2.4.



*Slika 2.3 Model zgrade (pogled jug)*



*Slika 2.4 Model zgrade ( pogled sjever)*

Nakon definiranja početnog modela slijedi određivanje konstrukcijskih elemenata zgrade. Razlikujemo vanjske elemente odnosno vanjske zidove, podove prema tlu te krov (ravni i kosi) te unutarnje elemente koji graniče sa pojedinim zonama kao što su unutarnji zidovi, i međukatne konstrukcije.

Vanjski elementi:

- EXT\_WALL – vanjski zid
- GROUND\_FLOOR – podovi prema tlu
- EXT\_ROOF- krov zgrade

Unutarnji elementi:

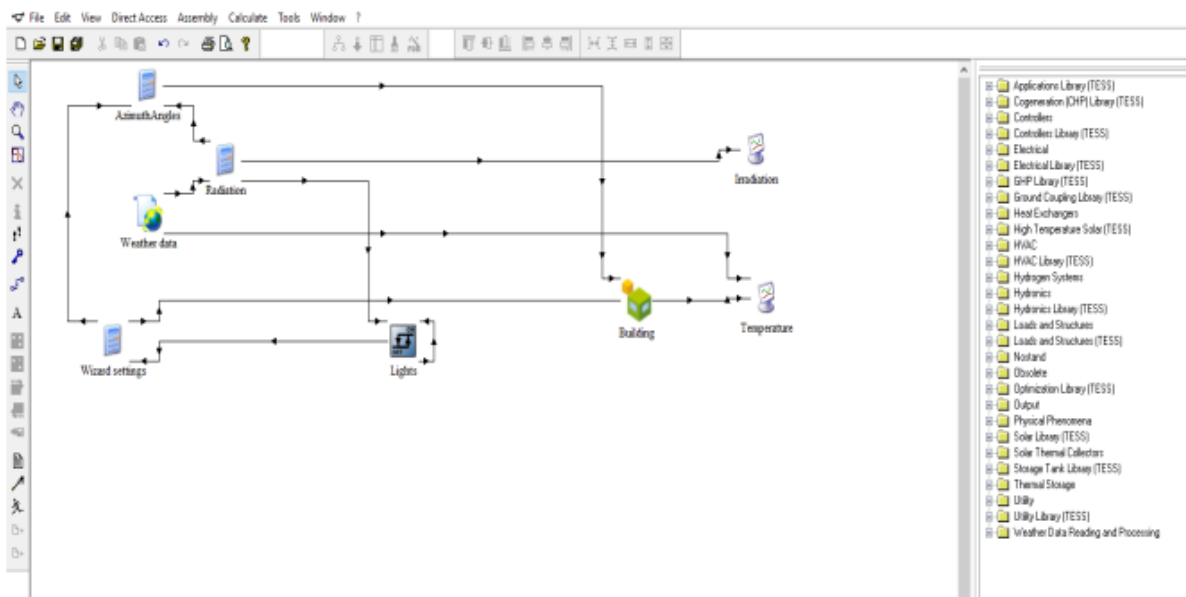
- ADJ\_WALL – unutarnji zid između pojedinih zona
- ADJ\_CEILING – međukatna konstrukcija, strop/pod između prizemlja i kata
- ADJ\_ATTIC – međukatna konstrukcija, strop/pod između kata i tavana

Prilikom određivanja samog konstrukcijskih elemenata također je potrebno definirati njihove rubne uvjete koji se nalazi s druge strane same konstrukcije a to može biti ili okolni zrak ili susjedna toplinska zona.

Posljednji korak da bi sam model zgrade bio potpuno definiran jest definirati ostakljene površine prozore i vrata. Ovime je završen postupak definiranja samog modela zgrade te se kreće u Simulation studio u kojem se izvode daljnji proračuni.

## 2.1 Ugadanje modela u programu Trnsys

Prethodno definirani model zgrade se učitava u program Simulation studio koji ima već unaprijed pripremljenu podlogu za potrebe rada s višezonskim modelom zgrade (3D Building Project multizone). Prilikom samog učitavanja određuje se lokacija zgrade (Rijeka) te orijentacija zgrade. Na slici 2.5 prikazano je sučelje osnovnog toplinskog modela sa svojim komponentama.



Slika 2.5 Prikaz sučelja osnovnog toplinskog modela u programu Simulation Studio

## 2.2 Definiranje konstrukcijskih elemenata zgrade (Wall type manager)

U ovom dijelu programa definiraju se debljine i sastav slojeva svih konstrukcijskih elemenata. U nastavku su prikazane tablice s definiranim karakteristikama za pojedine konstrukcijske dijelove.

1. ADJ\_ATTIC (strop grijanog kata prema tavanu te pod tavana prema grijanom katu )

*Tablica 2.1 ADJ\_ATTIC*

R.b.	MATERIJAL	Debljina d [m]	Gustoća $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Specifični toplinski kapacitet c [J/kgK]	Toplinska vodljivost $\lambda$ [W/mK]
1	Ploča- drvo,usmjereno,iverje,OSB	0,030	650	1700	0.13
2	Cementni estrih	0,060	2000	1100	1,60
3	Polistirenske ploče	0,020	30	1260	0,04
4	Beton od kamenog agregata	0,16	2500	1000	2,60
5	Vapneno gipsana žbuka	0,020	1800	1000	1,00

2. ADJ\_CEELING (strop/pod između grijanog prizemlja jug i grijanog kata)

*Tablica 2.2 ADJ\_CEELING*

R.b.	MATERIJAL	Debljina d [m]	Gustoća $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Specifični toplinski kapacitet c [J/kgK]	Toplinska vodljivost $\lambda$ [W/mK]
1	Keramičke pločice-podne	0,010	2300	840	1,30
2	Cementni estrih	0,060	2000	1100	1,60
3	Polistirenske ploče	0,020	30	1260	0,04
4	Beton od kamenog agregata	0,16	2500	1000	2,60
5	Vapneno gipsana žbuka	0,020	1800	1000	1,00

3. ADJ\_WALL ( unutarnji zidovi)

*Tablica 2.3 ADJ\_WALL*

R.b.	MATERIJAL	Debljina d [m]	Gustoća $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Specifični toplinski kapacitet c [J/kgK]	Toplinska vodljivost $\lambda$ [W/mK]
1	Vapneno gipsana žbuka	0,020	1800	1000	1,00
2	Porozna opeka	0,070	800	900	0,33
3	Vapneno gipsana žbuka	0,020	1800	1000	1,00

4. EXT\_ROOF (kosi krov)

Tablica 2.4 EXT\_ROOF

R.b.	MATERIJAL	Debljina d [m]	Gustoća $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Specifični toplinski kapacitet c [J/kgK]	Toplinska vodljivost $\lambda$ [W/mK]
1	Crijep	0,010	1900	840	0,99
2	Krovnna ljepenka	0,001	1100	1000	0,19
3	Polistirenske ploče	0,10	30	1260	0,04
4	Beton od kamenog agregata	0,16	2500	1000	2,60
5	Vapneno gipsana žbuka	0,020	1800	1000	1,00

5. EXT\_ROOF\_R (ravni krov)

Tablica 2.5 EXT\_ROOF\_R

R.b.	MATERIJAL	Debljina d [m]	Gustoća $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Specifični toplinski kapacitet c [J/kgK]	Toplinska vodljivost $\lambda$ [W/mK]
1	Keramičke pločice- podne	0,010	2300	840	1,30
2	Beton od kamenog agregata	0,050	2500	1000	2,60
3	Krovnna ljepenka	0,001	1100	1000	0,19
4	Polistirenske ploče	0,10	30	1260	0,04
5	Beton od kamenog agregata	0,16	2500	1000	2,60
6	Vapneno gipsana žbuka	0,020	1800	1000	1,00

6. EXT\_WALL (vanjski zidovi)

Tablica 2.6 EXT\_WALL

R.b.	MATERIJAL	Debljina d [m]	Gustoća $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Specifični toplinski kapacitet c [J/kgK]	Toplinska vodljivost $\lambda$ [W/mK]
1	Vapneno gipsana žbuka	0,020	1800	1000	1,00
2	Zid od prirodnog kamena	0,650	2000	1000	1,40
3	Polistirenske ploče	0,060	30	1260	0,04
4	Vapneno gipsana žbuka	0,020	1800	1000	1,00

7. GROUND\_FLOOR (pod prema tlu)

Tablica 2.7 GROUND\_FLOOR

R.b.	MATERIJAL	Debljina d [m]	Gustoća $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Specifični toplinski kapacitet c [J/kgK]	Toplinska vodljivost $\lambda$ [W/mK]
1	Keramičke pločice-podne	0,010	2300	840	1,30
2	Cementni estrih	0,060	2000	1100	1,60
3	Polistirenske ploče	0,060	30	1260	0,04
4	Polistirenske ploče 1	0,060	15	1260	0,04
5	Beton od kamenog agregata	0,16	2500	1000	2,60
6	Pijeska i sitni šljunak	0,150	1750	1000	1,50

Također potrebno je odrediti za pojedini konstrukcijski element koeficijente apsorpcije sunčevog zračenja i koeficijente konvektivnog prijelaza topline. Vrijednosti navedenih parametara nalaze se u tablici 2.8.

Tablica 2.8 Prikaz koeficijenata

R.b.	Konstrukcijski element	Koeficijenti apsorpcije sunčevog zračenja, $\epsilon$		Koeficijent prijelaza topline $\alpha$ [W/m <sup>2</sup> K]	
		Prednja strana	Stražnja strana	Prednja strana	Stražnja strana
1	ADJ_ATICC	0,3	0,4	3.056	18
2	ADJ_CEILING	0,25	0,4	3.056	3.056
3	ADJ_WALL	0,25	0,25	3.056	3.056
4	EXT_ROOF	0,6	0,4	3.056	18
5	EXT_ROOF_R	0,6	0,4	3.056	18
6	EXT_WALL	0,25	0,3	3.056	18
7	GROUND_FLOOR	0,4	0,6	3.056	0,001



### 2.3 Prozori, vrata, zasjenjenja

Za sve ostakljene površine koje predstavljaju prozore definirani su oznakom EXT\_WINDOW1. Riječ je o novim prozorima s PVC okvirom, dvostrukim staklima debljine 4 mm između kojih se nalazi inertni plin argon debljine 16 mm s površinom okvira koja zauzima 5% ukupne ostakljene površine prozora.

Vanjska vrata definirana su kao EXT\_WINDOW2 te su ona po vrsti jednaka prozorima ali je udio neprozirnog elementa 50%.

U toplinskom modelu zgrade prisutno je unutarnje (zavjese, zastori i slično) i vanjsko zasjenjenje.

### 2.4 Grijanje, hlađenje i infiltracija zraka

Za definiranu zgradu određena je prirodna infiltracija zraka ali također i mehanička ventilacija koja će kasnije biti obrađena. Što se tiče minimalno potrebne izmjena zraka ona je izračunata prema proračunu iz [1] na temelju norme DIN V 18599-2 uz pomoć izraza:

$$n_{inf} = e_{wind} \cdot n_{50} \quad [1]$$

Gdje je:

$n_{inf}$  – broj izmjene zraka uslijed infiltracija [ $h^{-1}$ ]

$n_{50}$  – broj izmjena zraka pri narinutoj razlici tlaka od 50 Pa, ovisi o kategoriji zgrade, usvojeno je da je riječ o zgradi druge kategorije:  $n_{50} = 4 h^{-1}$

$e_{wind}$  – faktor zaštićenosti zgrade od vjetra, usvojeno je da je zgrada srednje zaklonjena te je izloženo više od jedne fasade,  $e_{wind} = 0,07$  dok je  $f_{wind} = 15$  za ovakav tip zgrade.

Slijedi:

$$n_{inf} = 4 \cdot 0,07 = 0,28$$

Te ukupna izmjena zraka definirana je kao:

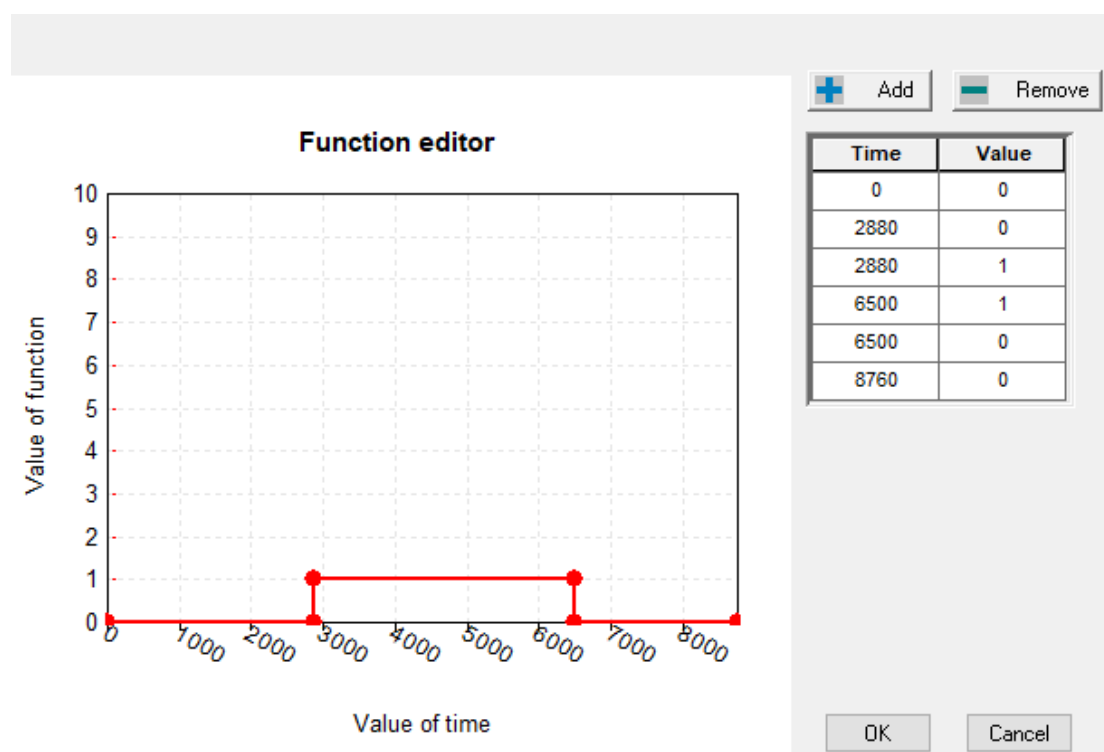
$$n = n_{inf} + n_{min} \quad [2]$$

Gdje je  $n_{min}$  minimalno potrebna izmjena zraka i iznosi  $0,5h^{-1}$  te slijedi:

$$n = 0,28 + 0,5 = 0,78 \text{ h}^{-1}$$

Hlađenje je određeno da je prisutno u tri aktivne zone koje su predviđene za boravak ljudi a to su prizemlje grijano jug i sjever te grijani kat. Definirano je da se hlađenje uključuje samo u ljetnim mjesecima točnije od 5. mjeseca do 9. mjeseca. Projektna temperatura za period hlađenja jest 24°C, a relativna vlažnost 50%.

Grijanje je definirano za iste zone kao i hlađenje te je određeno da je ono aktivno u mjesecima kada hlađenja nema. Projektna temperatura grijanih prostora jest 20°C te je tu riječ o idealnome grijanju koje nam služi da bi dobili energiju potrebnu za grijanje prostora na zadanu temperaturu. Definirani raspored grijanja i hlađenja prikazan je na slici 2.6 te je također dana tablica 2.9 u kojoj su po mjesecima prikazani režimi grijanja odnosno hlađenja.



Slika 2.6 Raspored sezone grijanja i hlađenja (0 – grijanje, 1 – hlađenje)

Tablica 2.9 Sezona grijanje/hlađenje

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
Prosinac	grijanje

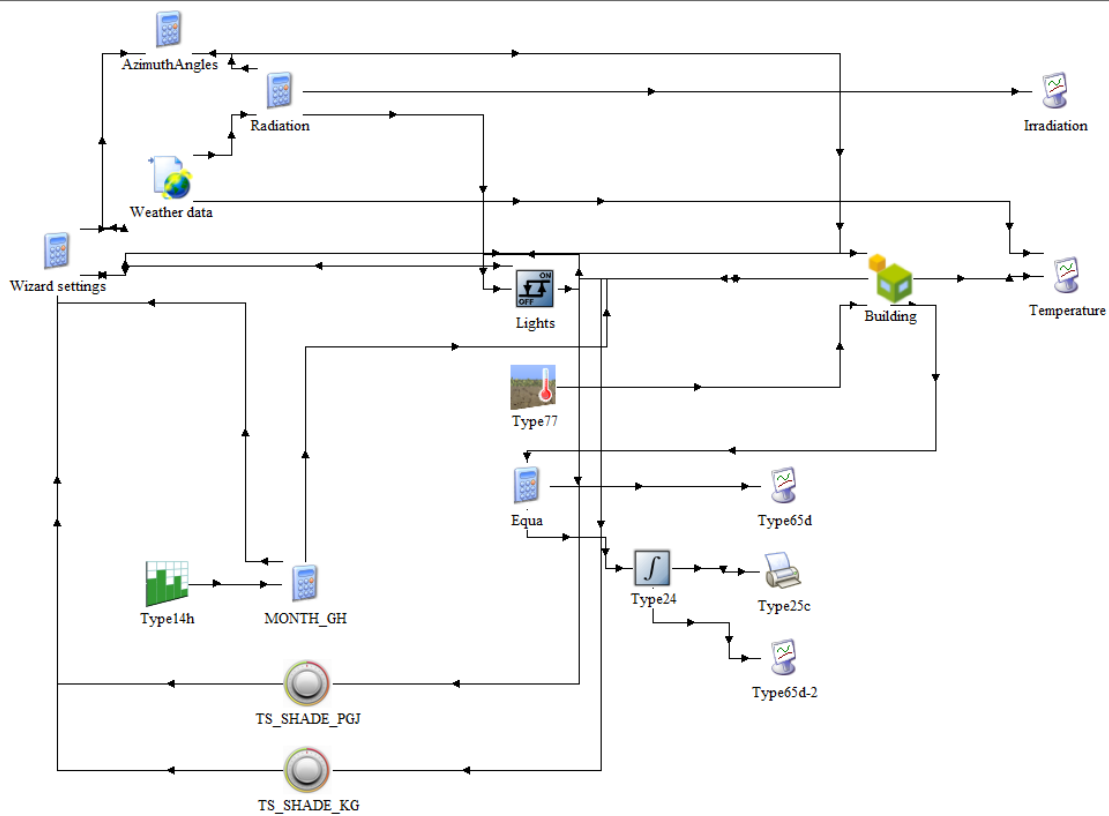
## 2.5 Unutarnji dobici topline

Pod unutarnje dobicke topline podrazumijevaju se dobici radi prisutnosti ljudi u prostorijama, dobici od rasvjetnih tijela i uređaja u prostoru. Objekt je predviđen za boravak prosječno četiri osobe te kako je riječ o stambenoj jedinici dobici od ljudi definirani su za lagani rad i osobe koje sjede te kao takav iznosi 150W po osobi. Međutim radi pojednostavljanja samog proračun definirano je da svaka grijana zona ima dobicke od 5 W/m<sup>2</sup> određene za površinu same zone.

Nakon definiranja svih parametara moguće je izvršiti analizu dobivenih rezultata i to na način da se prate sljedeće vrijednosti:

- Godišnja ili mjesečna potrošnja energije za grijanje čitavog objekta i pojedinih zona
- Godišnja ili mjesečna potrošnja energije za hlađenje čitavog objekta i pojedinih zona
- Godišnja ili mjesečna potrošnja latentne energije čitavog objekta i pojedinih zona

Na slici 2.7 prikazan je izgled sučelja u Simulation Studiu koji čini osnovni odnosno bazni model i na temelju njega se kreće u daljnje simulacije i analiza.



Slika 2.7 Prikaz korisničkog sučelja-bazni model

### 3. Proračun energije potrebne za grijanje i hlađenje zgrade

Nakon definiranja osnovnog modela provedena je analiza energija potrebnih za grijanje i hlađenje zgrade i to za nekoliko slučajeva koji se razlikuju prema načinu provedbe minimalnog provjetravanja u objektu:

1. Osnovni slučaj (minimalno provjetravanje otvaranjem prozora)
2. Slučaj s mehaničkom ventilacijom za pokrivanje minimalnog provjetravanja
3. Slučaj s mehaničkom ventilacijom za pokrivanje minimalnog provjetravanja dodatno reguliranom u režimu hlađenja

Proračun se vrši za period od godine dana (8760 h) u vremenskom koraku od 1 h

#### 3.1 Rezultati proračuna

##### 3.1.1 Osnovni slučaj

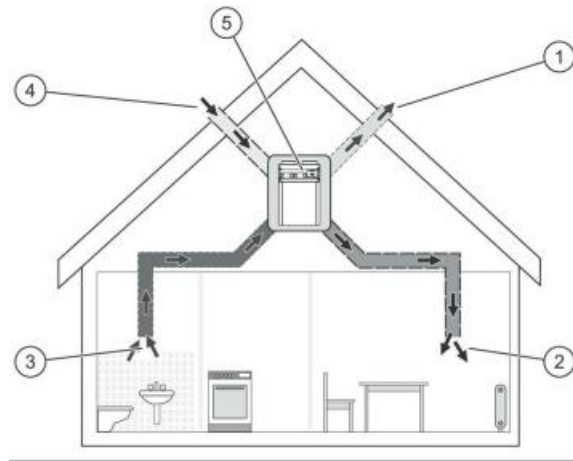
Tablica 3.1 Osnovni slučaj-energije

Mjesec	Energija za grijanje [kWh]	Energija za hlađenje – osjetna [kWh]	Energija za hlađenje - latentna [kWh]
1	2250	0	0
2	1959	0	0
3	1326	0	0
4	260.6	0	0
5	0	42.1	142
6	0	511	279
7	0	1178.8	366.88
8	0	1100	389.27
9	0	262.41	87.2
10	123	0	0
11	1230	0	0
12	2261.4	0	0
Σ	9410	3094.31	1264.35
	Σ (Q <sub>hl</sub> +Q <sub>lat</sub> )	4358.66	

Energija za grijanje u ovom slučaju iznosi 9410 kWh, za hlađenje osjetna 3094,31 kWh dok latentna toplina iznosi 1264,35 kWh. Uz korisnu površinu od je 208 m<sup>2</sup> specifična potrošnja korisne energije za grijanje je 45 kWh/m<sup>2</sup>.

### 3.2.2 Slučaj s mehaničkom ventilacijom za pokrivanje minimalnog provjetravanja

Riječ je o mehaničkoj ventilaciji s povratom topline odnosno rekuperator. Sustav se sastoji od ventilatora i pločastog izmjenjivača topline (rekuperator). Princip rada samog sustava prikazan je na slici 3.1.



Slika 3.1 Princip rada sustava mehaničke ventilacije [9]

Temeljem prikaze sheme rada vidljivo je da se u ventilacijski uređaj (5) koji u sebi ima ugrađen ventilator i rekuperator, kroz kanale za dovod zraka (4) se dovodi vanjski zrak koji se zatim priprema (zagrijava) i distribuira kroz kanale (2) do svih prostorija, a istovremeno se vrši i usis ustajalog zraka iz prostorija koji se putem odsisnih kanala (3) preko rekuperatora vraća u okolinu (1).

Kako bi se odabrao odgovarajući rekuperator potrebno je proračunati volumni protok zraka u svakoj od grijanih i hlađenih zona. Volumni protok jest umnožak volumena pojedine zone i minimalnog protoka zraka ( $n_{min}$ ) koji iznosi  $0.5 \text{ h}^{-1}$ :

#### 1. ZONA PRIZEMLJE JUG

$$\dot{V}_{PGJ} = V_{pgj} \cdot n_{min} = 205,8 \cdot 0,5 = 102,9 \text{ m}^3/\text{h} \quad [3]$$

#### 2. ZONA PRIZEMLJE SJEVER

$$\dot{V}_{PGS} = V_{pgs} \cdot n_{min} = 84 \cdot 0,5 = 42 \text{ m}^3/\text{h} \quad [4]$$

#### 3. ZONA KAT

$$\dot{V}_{KG} = V_{kg} \cdot n_{min} = 173,99 \cdot 0,5 = 86,99 \text{ m}^3/\text{h} \quad [5]$$

## UKUPNO

$$\dot{V}_{UK} = 102,9 + 42 + 86,99 = 232 \text{ m}^3/\text{h} = 280 \text{ kg/h}$$

Temeljem dobivenog volumnog protoka se odabire jedinica:

Odabrano: Vaillant VAR 260/4 (specifikacije slika 3.2). Riječ je o ventilacijskom uređaju s rekuperativnim izmjenjivačem topline kojim se postiže da se s otpadnog zraka iskoristi toplinska energija.

recoVAIR	Jedinica	VAR 260/4	VAR 360/4
Maksimalni protok zraka	m <sup>3</sup> /h	260	360
Klasifikacijski razred filtera kod usisa zraka			F7
Klasifikacijski razred filtera kod ispuha zraka			G4
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	55
Napajanje	V	230	

Slika 3.2 Tehničke karakteristike Vaillant 260/4 [9]

Rezultati simulacije energija za grijanje, hlađenje i latentnu toplinu prikazani su u tablici 3.2:

Tablica 3.2 Mehanička ventilacija - energije

Mjesec	Energija za grijanje [kWh]	Energija za hlađenje – osjetna [kWh]	Energija za hlađenje - latentna [kWh]
1	1446	0	0
2	1245.8	0	0
3	747.13	0	0
4	44.14	0	0
5	0	100.23	93.452
6	0	650.77	269.04
7	0	1207.8	363.86
8	0	1134.3	385.79
9	0	354.99	72.59
10	13.82	0	0
11	600.42	0	0
12	1495	0	0
Σ	5592.31	3448.09	1184.732
	Σ (Q <sub>hl</sub> +Q <sub>lat</sub> )	4632.822	

Uz korisnu površinu od je 208 m<sup>2</sup> specifična potrošnja korisne energije za grijanje je 26,8 kWh/m<sup>2</sup> što ispunjava uvjet postavljen u hrvatskom zakonodavstvu.

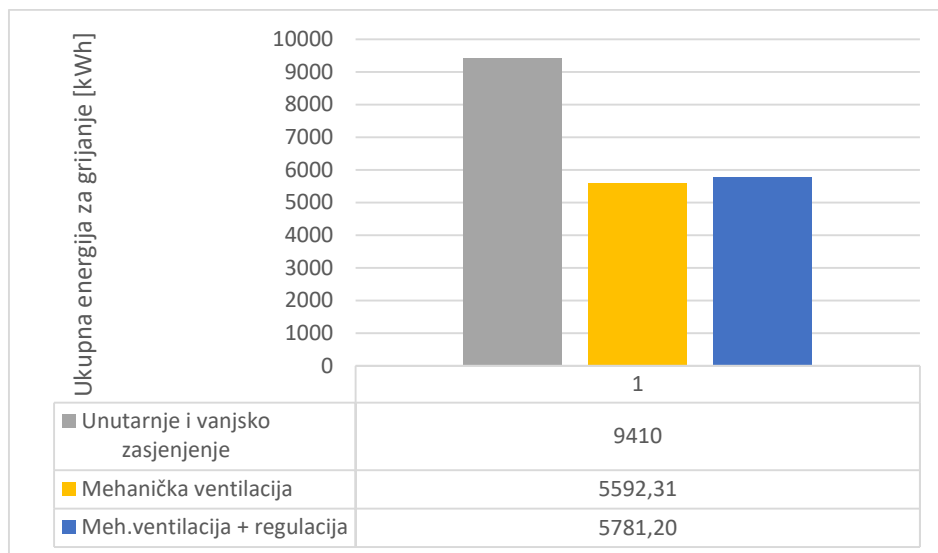
Ako usporedimo dobivene podatke s podacima dobivenim prethodno za slučaj s unutarnjim i vanjskim aktivnim zasjenjenjem (tablica 3.3) vidljivo je da se uvelike smanjila potreba za energijom grijanja, dok se energija za hlađenje povećala. Povećanje same osjetne energije za hlađenje nije u skladu s realnim principom rada rekuperatora koji bi trebao omogućiti da se osjetna energija za hlađenje smanji. Uzrok tome jest taj što se vanjski zrak ohladi na temperaturu koja je niža od temperature zraka u prostoriji te se zato takav vanjski zrak počinje zagrijavati. Da bi se spriječila ta pojava postavlja se regulacija koja je povezana na rekuperator te ona radi na način da se povrat topline s otpadnog zraka vrši samo onda kada je temperatura zraka u prostoriji viša od temperature vanjskog zraka. Nakon izvršene regulacije vrijednosti su poprimile realne iznose te se ovaj princip simulacije s mehaničkom ventilacijom koristi u daljnjim simulacijama.

*Tablica 3.3 Usporedba rezultata potrebnih energija za tri razmatrana slučaja*

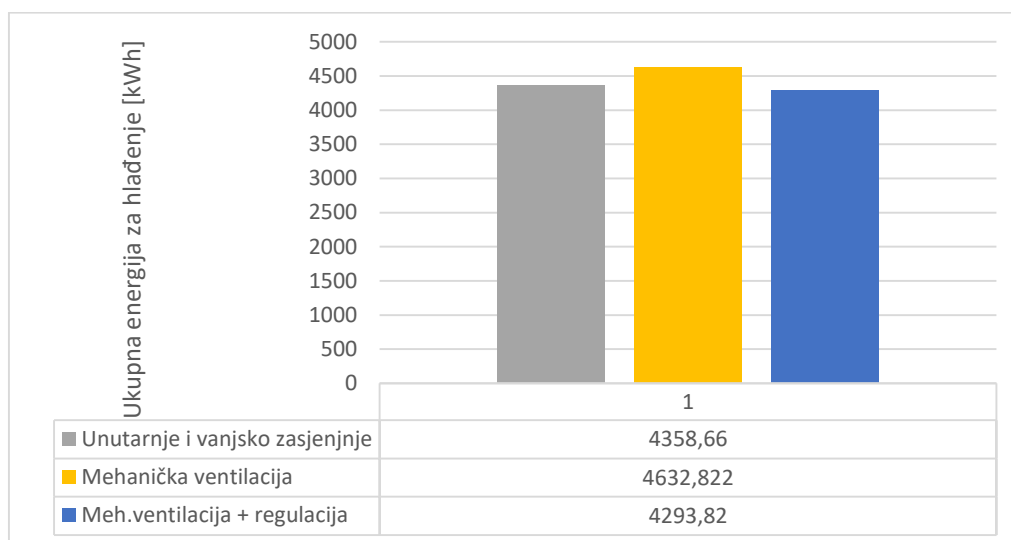
<b>Slučaj</b>	Energija za grijanje [kWh]	Energija za hlađenje – osjetna [kWh]	Energija za hlađenje - latentna [kWh]	Ukupna energija za hlađenje [kWh]
Osnovni slučaj	9410	3094.31	1264.35	4358.66
Mehanička ventilacija	5592.31	3448.09	1184.732	4632.822
Meh.ventilacija s regulacijom	5781.20	3071.94	1221.88	4293.82

U nastavku su prikazani sumirani rezultati za sva tri slučaja (slika 3.3 – energija za grijanje, slika 3.4 – energija za hlađenje).





*Slika 3.3 Prikaz energija za grijanje*



*Slika 3.4 Prikaz energija za hlađenje*

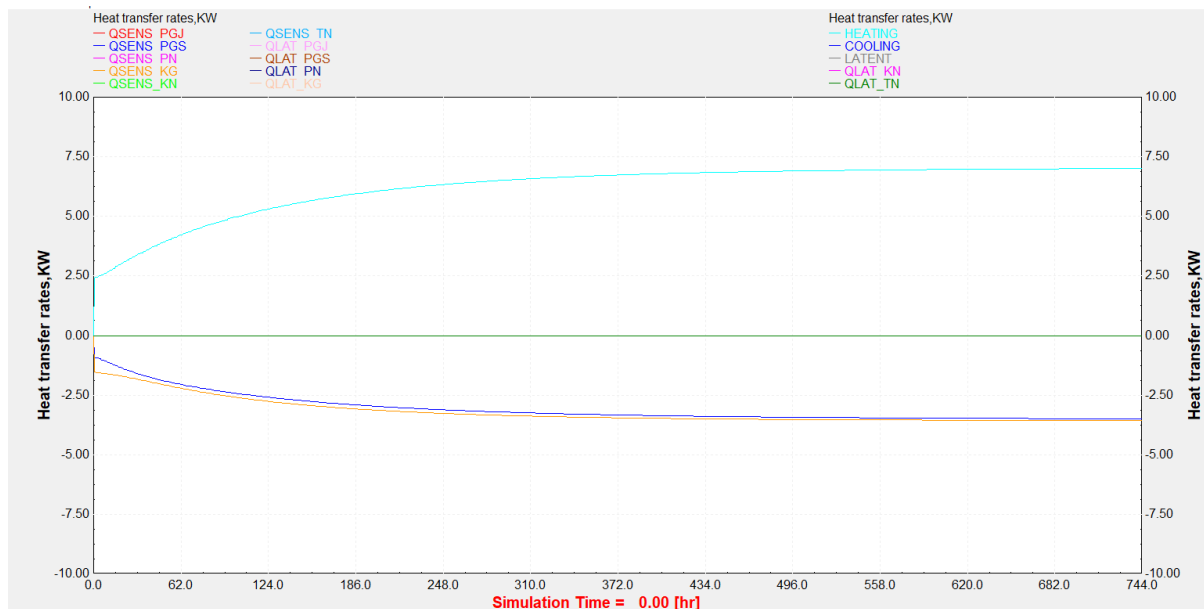
Prikaz sučelja simulacije mehaničke ventilacije s regulacijom za režim hlađenje prikazan je na slici 3.5.



## 4. Projektni učinci za grijanje i hlađenje

Na temelju određivanja učinaka za grijanje odnosno hlađenje zgrade u projektnim uvjetima odabire se oprema koja se ugrađuje u sam sustav.

Kada je riječ o određivanju projektnih učinaka za grijanje u modelu zgrade potrebno je isključiti sve unutarnje dobitke topline te također i eliminirati sunčevo zračenje. U pogledu temperatura, temperatura vanjskog zraka je konstantna i jednaka vanjskoj projektnoj temperaturi zraka (-7 °C) dok je temperatura tla također konstantna te je jednaka srednjoj godišnjoj temperaturi zraka. Grijanje prostorija postavljeno je na projektnu temperaturu zraka od 20°C te radi bez prekida. Rezultat simulacije prikazan je na slici 4.1.



Slika 4.1 Projektni učinci za grijanje

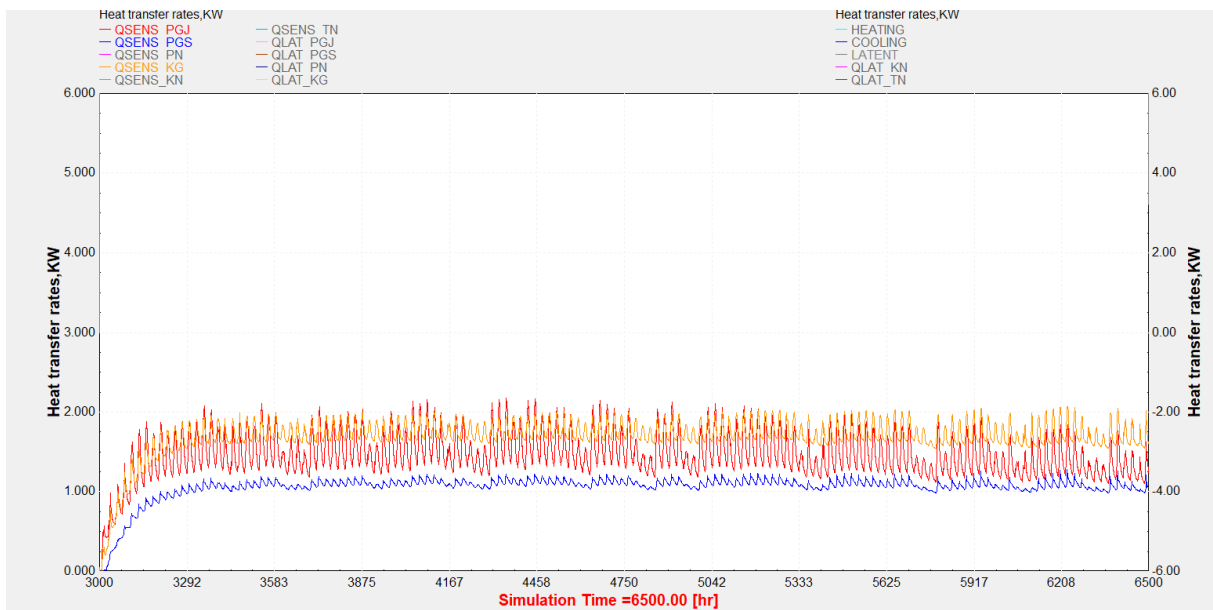
Određeno je da je projektni učinak za grijanje 7 kW. Prikaz projektnih učinaka po zonama nalazi se u tablici 4.1.

Tablica 4.1 Projektni učinci za grijanje

ZONA	Učinak za grijanje [kW]
PGJ	1.9
PGS	1.6
KG	3.5
<b>Ukupno</b>	<b>7</b>

Prilikom određivanja projektnih učinaka za hlađenje potrebno je uključiti sve unutarnje dobitke te također i utjecaj sunčevog zračenja. Temperatura i relativna vlažnost vanjskog zraka imaju konstantne vrijednosti koje su određene samim projektnim uvjetima (35°C i \_\_\_ % relativne vlažnosti).

Nakon provedbe same simulacije (slika 4.2) potrebno je izvršiti analizu rezultata i odrediti maksimalne vrijednosti učina za pojedine zone. Prikaz rezultata dan je u tablici 4.2 te je vidljivo da je ukupni učinak potreban za hlađenje jednak 5,4 kW.



Slika 4.2 Projektni učinci za hlađenje

Tablica 4.2 Projektni učinci za hlađenje

Maksimalni učinak za hlađenje	
ZONA	Osjetni [kW] + Latentni [kW]
PGJ	2.178
PGS	1.2
KG	2
Ukupno	5.378

Temeljem dobivenih rezultati vidljivo je da prilikom odabire opreme za grijanje odnosno hlađenje, ona mora biti takva da zadovolji 7 kW potrebu za grijanjem te 5,4 kW potrebu za hlađenjem objekta.

## **5. Distribucija i predaje toplinske energije**

Zadatak i uloga ogrjevnih tijela je prijenos energije odnosno topline s medija za prijenos topline na zrak u prostoriji. Način izmjene topline može biti zračenjem ili konvekcijom. Zračenjem se izmjenjuje topline između dvaju tijela koja nisu u međusobnome dodiru putem elektromagnetskih valova, dok konvekcija predstavlja izmjenu topline između dvaju fluida na način da topliji fluid se giba prema hladnijem i predaje toplinu. U projektu određeno je da je temperaturi režim za hlađenje 7/12 °C te je projektna temperatura zraka u prostoru 24°C, dok je za grijanje temperaturni režim 45/40 °C pri čemu je projektna temperatura zraka u prostoru 22°C.

### **5.1 Ventilatorski konvektori**

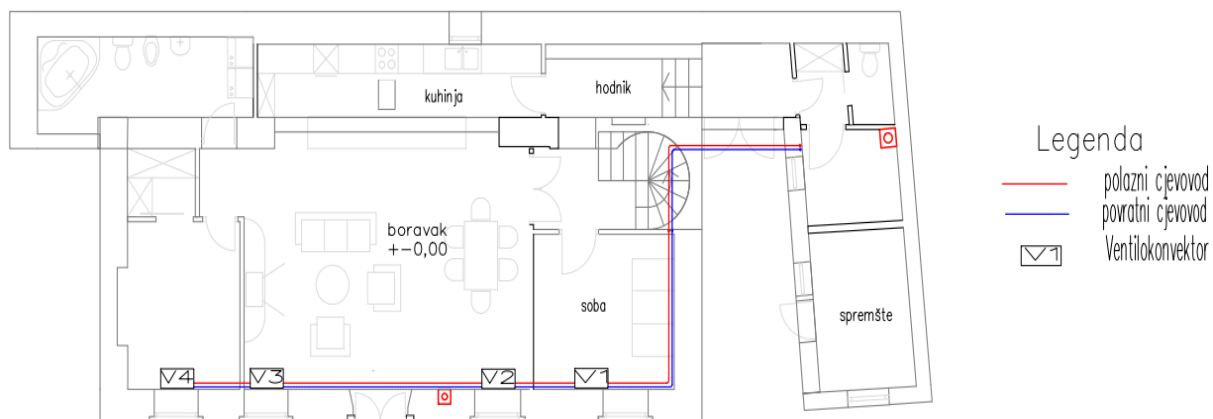
Ventilatorski konvektori su uređaji koji omogućuju grijanje i hlađenje struje zraka pomoću izmjenjivača topline zrak-voda. Sam uređaj se sastoji od zaklopki pomoću kojih se vrši miješanje struja vanjskog zraka za ventilaciju i optočnog zraka iz same prostorije. Takva mješavina dviju struju se zatim grije ili hladi uz pomoć ugrađenih grijača odnosno hladnjaka. Pomoći ugrađenog ventilatora tako pripremljena mješavina zraka cirkulira preko konvektora. Učinak ventilokonvektora se regulira na način da se vrši promjena protoka na strani vode otvaranjem ili zatvaranjem usisnog ventila na ulazu u sam izmjenjivač ili promjenom brzine vrtnje ugrađenog ventilatora čime se vrši regulacija učinka na strani zraka. Što je površina veća te također i prisilna cirkulacija zraka to će veći biti specifični učinci te će se ostvariti niže temperature kod grijanja i manji cjelokupni gubici. Dok s druge strane što su više temperature u samim prostorijama to se ostvaruju i viši gubici. Ventilokonvektor može imati dvocijevni ili četverocijevni razvod te je u ovom projektu određeno da će imati dvocijevni razvod.

### 5.2.1 Cijevni razvod ventilkonvektora

Pomoću softverskog alata MultiCalc vršilo se dimenzioniranje cjevovoda temeljem projektnih učinaka za pojedinu zonu u periodu hlađenja i maksimalnog dopuštenog pada tlaka u cjevovodu pri temperaturnome režimu 12/7. Karakteristike cjevovoda se nalazi u tablici 5.1 dok cijevni razvod prizemlja je prikazan na slici 5.1.

Tablica 5.1 Karakteristike cjevovoda

Dionica	Cijev	Vanjska dimenzija dv, [mm]	Stijenka cijevi s, [mm]	Duljina l, [m]
Strojarnica	DN 25	28	1,5	5
PGJ,PGS	DN 20	22	1	18,5
KG	DN 20	22	1	10,2



Slika 5.1 Cijevni razvod (prizemlje)

### 5.2.2 Odabir ventilkonvektora

Ventilokonvektori se odabiru na temelju projektnih učinaka u grijanju odnosno hlađenju koji su prethodno određeni te iznose za sezonu grijanja 7 kW dok za period hlađenja iznose 5.4 kW. Na temelju navedenog odabran je ventilokonvektor tvrtke Ciat: 102 C. Riječ je uređaju s dvocijevnim razvodom čije se tehničke karakteristike nalaze u tablici 5.2. Potrebna su 4 uređaja za zonu PGJ i PGS odnosno za čitavo prizemlje te 4 uređaja za kat te je preporučena brzina rada motora srednja ili četvrta. Snaga motora koju uređaj proizvodi ovisi o brzini samog motora.

Tablica 5.2 Tehničke karakteristike: CIAT 102C

102C	Brzina motora	Protok zraka [m <sup>3</sup> /h]	Učin u režimu hlađenju [W]	Učin u režimu grijanja [W]	Apsorbirana snaga [W]
	V5	280	1520	2000	11
	V4	245	1350	1780	9
	V3	200	1130	1460	6
	V2	180	1020	1310	5
	V1	145	854	1100	4

Na temelju odabranog ventilokonvektora i njegovih tehnički podataka u Simulation Studiu potrebno je također definirati odabrani tip ventilokonvektora. Za to je potrebno odrediti koeficijente koje ovise o snagama samog uređaja.

Izraz kojim se određuju koeficijenti definiran je kao:

$$P_{fan} = P_{max} \cdot (a_0 + a_1 \cdot y_{fan} + a_2 \cdot y_{fan}^2 + a_3 \cdot y_{fan}^3 + a_4 \cdot y_{fan}^4 + \dots a_n \cdot y_{fan}^n)$$

Gdje je:

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

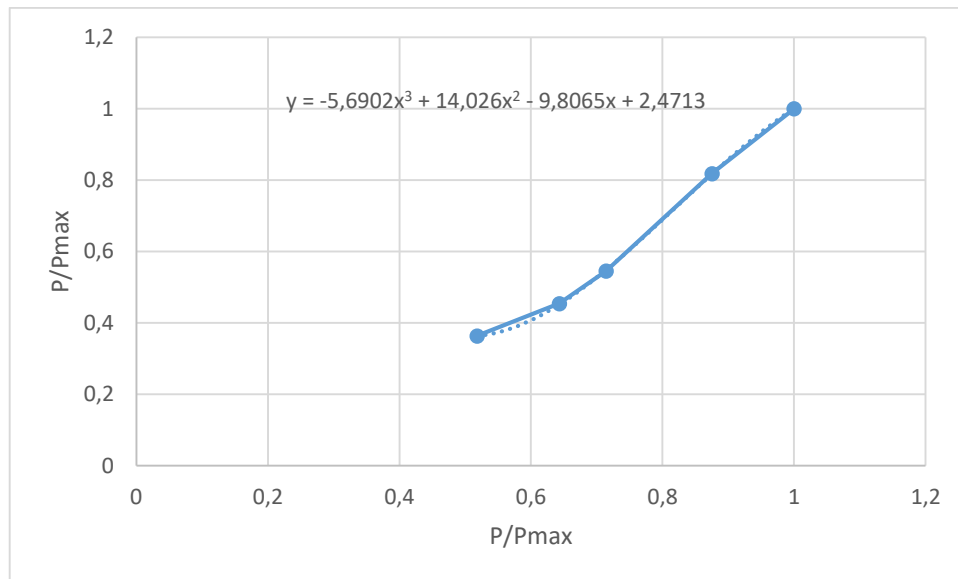
$y$  – ulazni signal za regulaciju

$P_{max}$  – maksimalna snaga

Koeficijenti su dobiveni uz pomoć programa EXCEL gdje je uz pomoć tablice 5.3 dobiveni graf sa pripradnim koeficijentima (slika 5.2).

Tablica 5.3 Podaci za CIAT 102C

Volumni protok [m <sup>3</sup> /h]	Ulazni signal za regulaciju, $y = V/v_{max}$	Snaga [W]	P/Pmax
280	1.000	11	1.0000
245	0.875	9	0.8182
200	0.714	6	0.5455
180	0.643	5	0.4545
145	0.518	4	0.3636



Slika 5.2 Prikaz relativne promjene snage  $P/P_{max}$  pri smanjenju brzine vrtnje ventilatora

Vidljivo je da su dobiveni sljedeći koeficijenti (tablica 5.4):

Tablica 5.4 Koeficijenti

a0	2.4713
a1	-9.865
a2	14.026
a3	-5.6902

U sam model simulacije također je integrirani termostati za grijanje i hlađenje pri čemu je u sezoni grijanja postavljena temperatura (setpoint temperature)  $18^{\circ}\text{C}$  dok je u sezoni hlađenja ta temperatura postavljena na  $24^{\circ}\text{C}$ . Kod termostata vrijedi da se u sezoni grijanja isključuju termostati hlađenja te vrijedi i obrnuto da u sezoni hlađenja termostat grijanja je isključen. Ukoliko je bilo koji termostat zabilježi temperaturu različitu od definirane temperature šalje se signal cirkulacijskoj pumpi sustava ventilokonvektora te ju se pokreće. Nakon definiranja termostata također se vrši implementacija cjevovoda koji je dvocijevne izvedbe odnosno ima jedan polaz i jedan povrat.



### **5.3 Podno grijanje**

Podno grijanje jest oblik grijanja pri kojem se prijenos topline vrši uz pomoć vode koja struji cijevima koje su postavljene u podu same prostorije. Kod projektiranja podnih grijanja treba paziti na temperature koje se razvijaju radi moguće stvaranje nelagode korisnicima prostora zbog previsokih temperatura poda te iz toga razloga gornja granica površinske temperature 29°C u zoni boravka ljudi, a 35°C u zonama u kojima nije predviđen boravak ljudi dok kod hlađenja treba voditi računa o stvaranju rose na hlađenim stijenkama što uzrokuje oštećenje građevnih dijelova i pojavu gljivica.

Prilikom projektiranja podnih grijanja odabrane su cijevi Euroval koje imaju vanjski promjer 20,5 mm te debljinu stijenki 2,5 mm. Širina polaganja odnosno razmak između cijevi iznosi 0,2m. Također mora se na podnoj konstrukciji dodati sloj estriha od 0,06 m.

Regulacija sustava podnog grijanja se sastoji od termostata koji su definirani za temperaturu od 20°C te ukoliko je bilo koji termostat ima nižu vrijednost pokreće se pumpa podnog grijanja.

### **5.4 Dizalice topline**

Dizalice topline su uređaji koju proizvode korisnu energiju za grijanje objekta na način da preuzimaju otpadnu neiskorištenu toplinu te ju pretvaraju u korisnu energiju uz pomoć preuzete visokovrijedne energije. Dizalice topline koriste se za određivanje temperatura u prostorijama koje su više od okolišnih dok rashladni uređaji se koriste za održavanje temperatura nižih od okolišnih. Sama učinkovitost dizalice topline prvenstveno je ovisna o temperaturi izvora i ponora topline te o razlici temperature u izmjenjivačima topline.

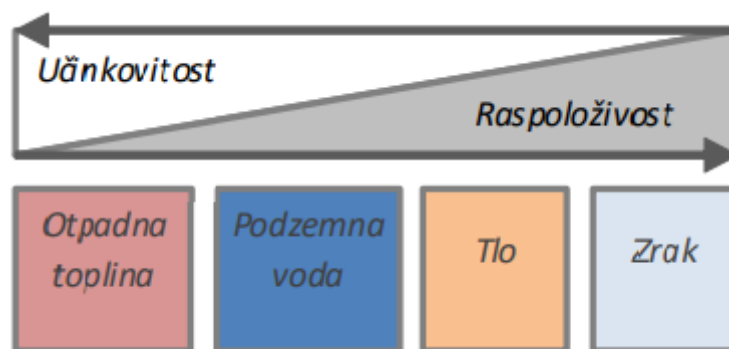
Dizalice topline dijele se na temelju toplinskog izvora odnosno ponora topline. Neki od uvjeta koje mora zadovoljiti izvor topline:

- Mora osigurati u svako doba dana potrebnu količinu topline na čim višoj temperaturi
- Toškovi priključenja dizalice topline na toplinski izvor trebaju biti čim niži
- Energija potrebna za prijenos topline od izvora do isparivača treba biti što manja

Neki od najčešće korištenih izvora topline su:

1. Zrak – može se koristiti okolišni zrak ili otpadni zrak iz ventilacijskih sustava
2. Tlo – toplina se akumulira u tlu sunčevim zračenjem te također provođenjem topline iz tople zemljine jezgre, a ponegdje je raspoloživa toplina tla u obliku geotermalnih izvora
3. Voda – podzemna ili površinska voda

Na slici 5.3 prikazana je ovisnost između učinkovitosti rada dizalice topline te raspoloživosti toplinskih izvora te je vidljivo da je najučinkovitije raditi s otpadnom toplinom dok najrašireniji i najraspoloživiji izvor topline jest zrak ali on ima najmanju učinkovitost u radu.

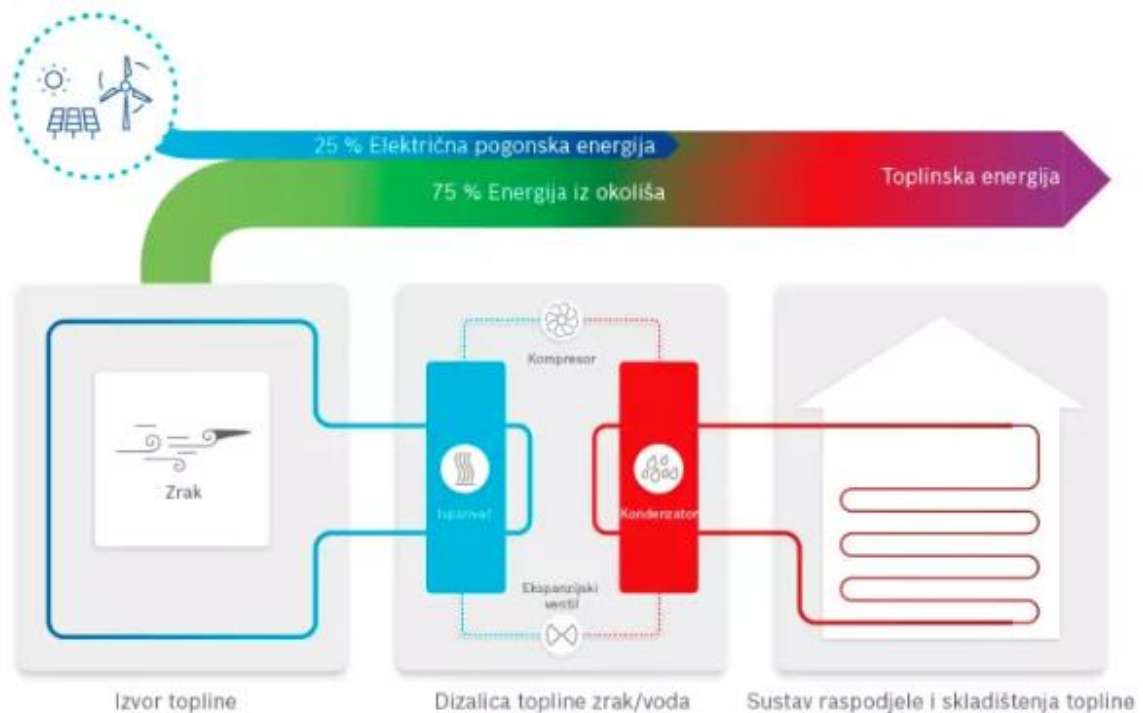


Slika 5.3 Ovisnost učinkovitosti i raspoloživosti toplinskih izvora

#### 5.4.1 Dizalica topline zrak/voda

U ovome projektu korištena je dizalica topline zrak/voda. Princip rada ove vrste dizalice topline temelji se na tome da se vanjski zrak usisava pomoću ugrađenog ventilatora te predaju toplinu na rashladno sredstvo koje se nalazi u dizalici topline. Rashladno sredstvo potom isparava te nastala para se komprimira uz pomoć kompresora s ciljem iskorištenja vezane energije. Dobivena energija zatim predaje toplinu na vodu u krugu grijanja te se s zagrijane vode prenosi topline uz pomoć ogrjevnih tijela u kojima voda cirkulira na zrak u prostorijama. (slika 5.4)

Prednosti korištenja dizalice topline prije svega odnose se na zaštitu okoliše iz razloga što nema izgaranja te sustav ne oslobađa CO<sub>2</sub> jer se za rad ne koriste fosilne goriva. Svaki se uređaj sastoji od vanjske i unutarnje jedinice.



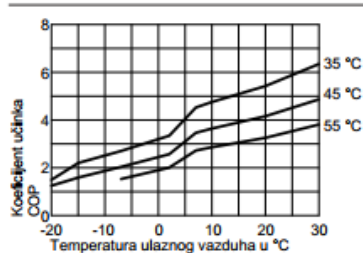
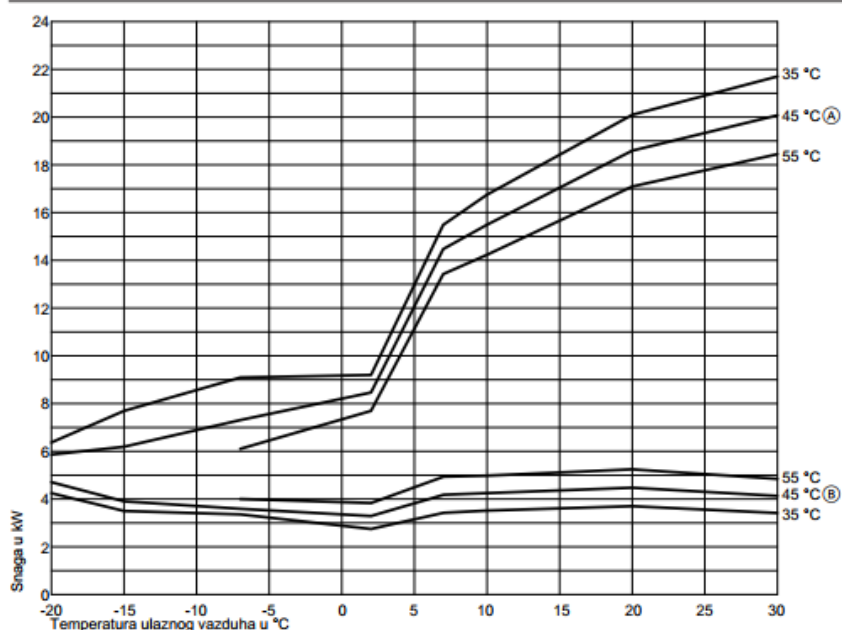
Slika 5.4 Princip rada dizalice topline zrak/voda

#### 5.4.2 Odabir dizalice topline

Dimenzioniranje i sam odabir dizalice topline vrši se na temelju projektnih učinaka i temperaturnih režima. Prethodno su dobiveni podaci o projektnim učincima koji iznose 9.1 kW za grijanje te 5.3 kW za hlađenje. Temperaturni režim za sezonu grijanja jest 45/40 °C kod temperature vanjskog zraka -7°C, dok je za hlađenje temperaturni režim vode 7/12 °C pri temperaturi vanjskog zraka 35°C. Temeljem navedenih podataka odabrana se dizalica topline Vitocal 100-S 101.A16 čije su karakteristike prikazane na slici 5.5. Temeljem priloženih karakteristika vidljivo je da je odabrana dizalica topline koja ima učin u grijanju 9,1 kW dok je učin u hlađenju 7,18 kW.

Nakon odabira uređaja potrebno je istog dimenzionirati i modalirati za potrebe samog modela u Simulation studiu. U tablicama 5.5 i 5.6 nalaze se karakteristike odabrane dizalice topline za grijanje i hlađenje. Za kalibraciju modela potrebno je odabrati temperaturni režim te prikazati ovisnost kapaciteta hlađenja ( $Q_c$ ) odnosno grijanja ( $Q_h$ ) te također i primljene električne snage ( $P_{el}$ ) u odnosu na podatke za odabrani temperaturni režim.

## Grejanje



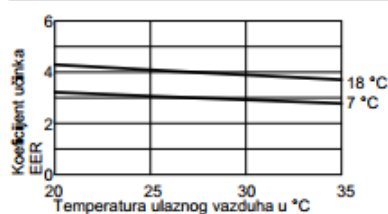
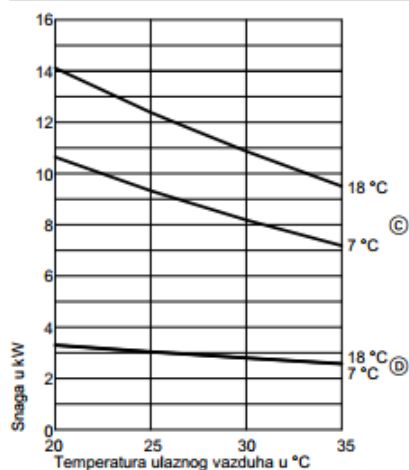
Karakteristike u zavisnosti od temperature polaznog voda:

- (A) Kapacitet grejanja kod temperatura polaznog voda 35 °C, 45 °C, 55 °C
- (B) Primljeni električni kapacitet pri grejanju kod temperatura polaznog voda 35 °C, 45 °C, 55 °C

### Napomena

- Podaci za COP u tabelama i dijagramima su određeni na osnovu standarda EN 14511.
- Karakteristike kapaciteta važe samo za nove uređaje sa čistim pločastim izmenjivačima toplote.

## Hlađenje



Karakteristike u zavisnosti od temperature polaznog voda:

- (C) Kapacitet hlađenja na temperaturama polaznog voda od 18 °C, 7 °C
- (D) Primljeni električni kapacitet pri hlađenju kod temperatura polaznog voda 18 °C, 7 °C

### Napomena

- Podaci za COP u tabelama i dijagramima su određeni na osnovu standarda EN 14511.
- Karakteristike kapaciteta važe samo za nove uređaje sa čistim pločastim izmenjivačima toplote.

Slika 5.5 Karakteristike dizalice topline Vitocal 100-S [11]

Tablica 5.5 Karakteristike za režim grijanja

Režim grijanja						
Temperatura vode [°C]	35		45		55	
Temperatura zraka [°C]	$Q_h$ [kW]	$P_{el}$ [kW]	$Q_h$ [kW]	$P_{el}$ [kW]	$Q_h$ [kW]	$P_{el}$ [kW]
-7	9.1	3.36	<b>7.32</b>	<b>3.59</b>	6.1	4
2	9.2	2.75	8.45	3.29	7.7	3.83
7	15.5	3.42	14.46	4.18	13.43	4.94
10	16.74	3.52	15.49	4.25	14.23	4.98
20	20.09	3.7	18.59	4.47	17.08	5.25
30	21.7	3.42	20.07	4.13	18.45	4.84

Temperatura vode [°C]	35		45		55	
Temperatura zraka [°C]	$Q_h/Q_h$	$P_{el}/P_{el}$	$Q_h/Q_h$	$P_{el}/P_{el}$	$Q_h/Q_h$	$P_{el}/P_{el}$
-7	1.24	0.94	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	0.83	1.11
2	1.26	0.77	1.15	0.92	1.05	1.07
7	2.12	0.95	1.98	1.16	1.83	1.38
10	2.29	0.98	2.12	1.18	1.94	1.39
20	2.74	1.03	2.54	1.25	2.33	1.46
30	2.96	0.95	2.74	1.15	2.52	1.35

Tablica 5.6 Karakteristike za režim hlađenja

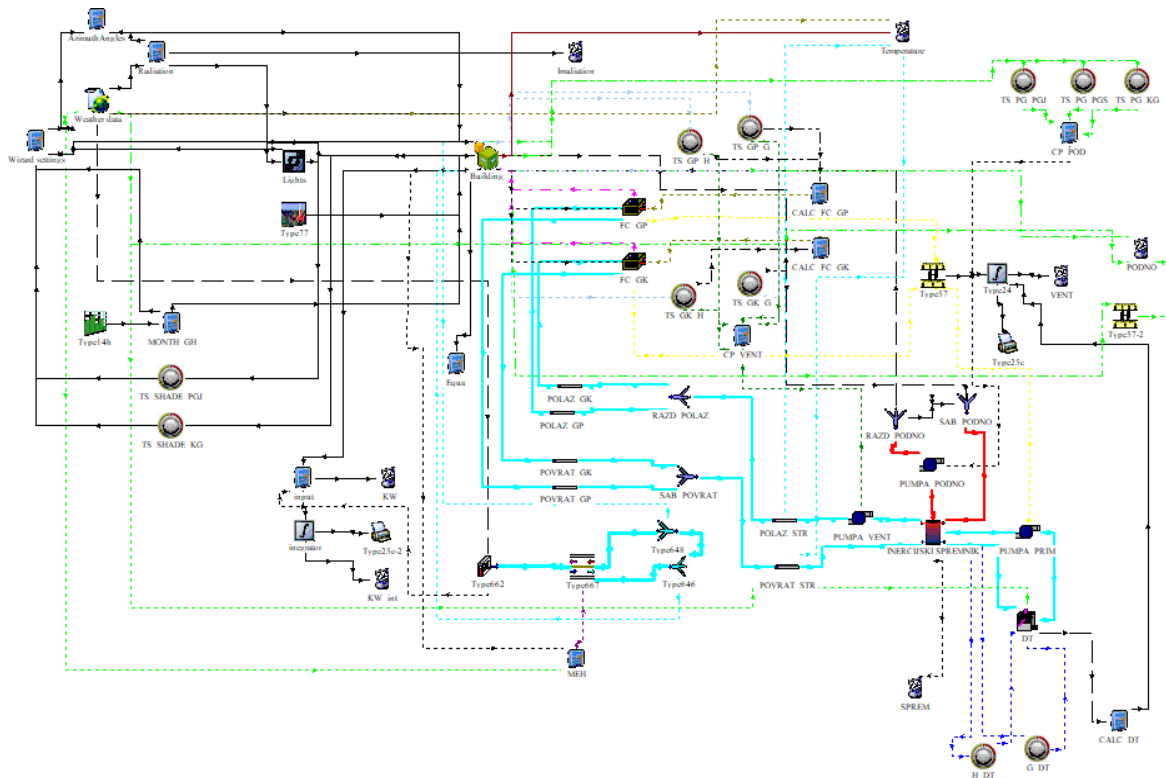
Režim hlađenja				
Temperatura vode [°C]	18		7	
Temperatura zraka [°C]	$Q_c$ [kW]	$P_{el}$ [kW]	$Q_c$ [kW]	$P_{el}$ [kW]
20	14.11	3.29	10.64	3.31
25	12.38	3.03	9.33	3.05
27	11.77	2.93	8.88	2.95
30	10.86	2.79	8.19	2.8
35	9.5	2.56	<b>7.18</b>	<b>2.58</b>

Temperatura vode [°C]	18		7	
Temperatura zraka [°C]	$Q_c / Q_c$	$P_{el} / P_{el}$	$Q_c / Q_c$	$P_{el} / P_{el}$
20	1.97	1.28	1.48	1.28
25	1.72	1.17	1.30	1.18
27	1.64	1.14	1.24	1.14
30	1.51	1.08	1.14	1.09
35	1.32	0.99	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>

Nakon definiranja svih parametara napravljen je model sustava u Simulation studio te njegov izgled prikazan je na slici 5.6. Termostati za sezonu hlađenja postavljeni su na 7 °C dok za sezonu grijanja na 38°C.

Također sama dizalica topline spojena je na inercijski spremnik. Spremnik se sastoji od tri čvora i tri kruga. Odabran je spremnik od 300 l tvrtke Centrometal: Terma 300L. Krugovi koji čine spremnik su primarni krug koji povezuje dizalicu topline sa samim spremnikom te sekundarni krug koji se dijeli na krug ventilokonvektora i krug podnog grijanja.



Slika 5.6 Simulacijsko sučelje: dizalica topline+ventilokonvektori+podno grijanje

## 6. Sustav pripreme PTV-a

Prilikom projektiranja sustava za pripremu potrošne tople vode točnije za njegovo zagrijavanja potrebno jest odrediti ukupnu potrošnju PTV-a.

Prvi korak jest odrediti toplinsku energiju koja je potrebna za pripremu PTV-a te se onda određuje prema sljedećem izrazu:

$$Q_w = \frac{Q_{wa}}{365} \cdot A_k \cdot d \quad [6]$$

Gdje je:

$A_k$  – korisna površina objekta (207,36 m<sup>2</sup>)

$d$  – broj dana u promatranom periodu

$Q_w$  – toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a [kWh]

$Q_{wa}$  – specifična toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a (usvojeno 12,5 kWh/m<sup>2</sup> – zgrada s 3 stambene jedinici, prema normi PECZ NN 36/10)

Slijedi da je potrebna toplinska energija za pripremu PTV-a:

$$Q_w = \frac{12,5}{365} \cdot 207,36 \cdot 365 = 2592 \text{ kWh godišnje} = 7,1 \text{ kWh dnevno}$$

Nadalje u objektu je predviđen boravak od najviše petero osoba, temperaturni režim jest da topla voda dolazi s temperaturom od 40°C a hladna voda s temperaturom od 10°C. Temeljem ovih podataka slijedi da je potrošnja vode jednaka:

$$V_w = \frac{n_{osoba}}{1,163 \cdot (T_{Tw} - T_{Hw})} = \frac{5}{1,163 \cdot (40 - 10)} = 143 \text{ l} \quad [7]$$

Usvojeno je da ukupno u jednom satu je potrebno 100 l vode iz čega slijedi da je trenutni učinak:

$$Q = V_h \cdot (T_{Tw} - T_{Hw}) \cdot \frac{c_{p,w}}{3600} \quad [8]$$

$$Q = 100 \cdot (40 - 10) \cdot \frac{4,19}{3600} = 3,5 \text{ kW}$$

Slijedi da je ukupni učinak grijača:

$$Q_g = Q \cdot \frac{z_B}{z_A + z_B} = 3,5 \cdot \frac{2}{1 + 2} = 2,32 \text{ kW} \quad [9]$$

Pri čemu je:

$z_A$  – vrijeme zagrijavanja (1h)

$z_B$  – vrijeme pogona (2h)

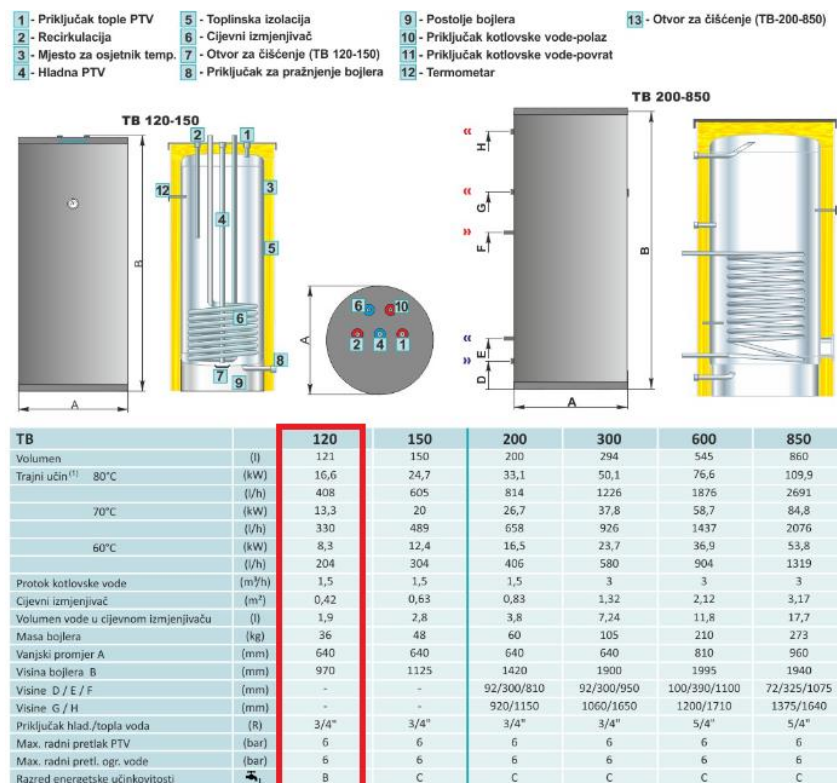
Poljednji korak jest odrediti kapacitet i volumen akumulacijskog sustava. Kapacitet se određuje na sljedeći način:

$$C = z_A \cdot Q_g = 1 \cdot 2,32 = 2,32 \text{ kWh} \quad [10]$$

Dok je volumen spremnika jednak:

$$V_s = C \cdot \frac{b}{c \cdot \Delta t} = 2,32 \cdot \frac{1,1}{1,163 \cdot 20} = 110 \text{ l} \quad [11]$$

Na temelju dobivenih vrijednosti odabran je akumulacijski spremnik: Centrometal TB 120 zapremnine 120 l. Tehničke karakteristike spremnika prikazane su na slici 6.1.



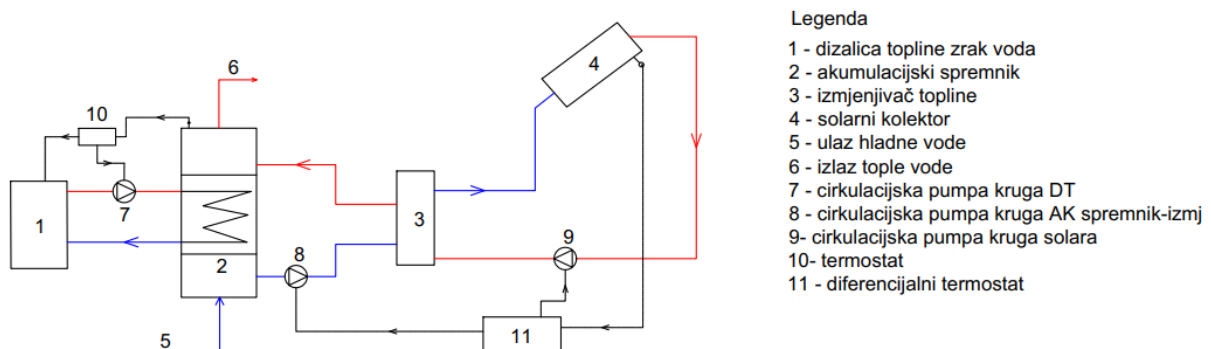
Slika 6.1 Tehničke karakteristike TB 120 [5]



## 6.1 Sunčeva energija – solarni toplinski sustav

Kako je u projektu cilj korištenje što većeg udjela obnovljivih izvora energija, tako je nemoguće ne koristiti energiju sunca koja je jedan od najčešćih odabira u današnje vrijeme kada je riječ o upotrebi obnovljivih izvora energije. Sunčeva se energija može iskoristiti putem toplinske ili fotonaponske pretvorbe upadnog sunčevog zračenja. Prilikom toplinske se pretvorba najčešće upotrebljavaju solarni kolektori koji vrše pretvorbu sunčeve energije u toplinsku koja se kasnije iskorištava u termotehničkim sustavima. Dok kod drugog načina iskorištavanja energije sunca, onog uz pomoć fotonaponskih panela, se energija sunčevog zračenja direktno pretvara u električnu energiju.

U ovom projektu solarni sustavi služe za sustav pripreme odnosno zagrijavanja potrošne tople vode. U sustav jest ugrađen i akumulacijski spremnik koji služi za izjednačavanje vremenske neusklađenosti energetskog izvora i energetske potrebe. Sheme sustava koji je korišten u samome projektu prikazan je na slici 6.2. sustav se sastoji od primarnog kruga koju čini dizalica topline. Kruga tople i hladne vode te kruga solarnih kolektora s ugrađenim protusmjernim izmjenjivačem topline. Regulacija je izvedena na način da ukoliko je temperatura vode u spremniku preniska uključuje se cirkulacijska pumpa koja dovodi hladnu vodu di izmjenjivača topline koji istu zagrijava izmjenom topline s vodom koja dolazi iz kruga solarnih kolektora te zatim tako zagrijana voda vraća se nazad u akumulacijski spremnik. Dok u uvjetima kada nema dovoljno energije iz kruga solarnih kolektora hladna se voda u akumulacijskom spremniku zagrijava preko ugrađenog izmjenjivača topline koji je spojen na dizalicu topline.



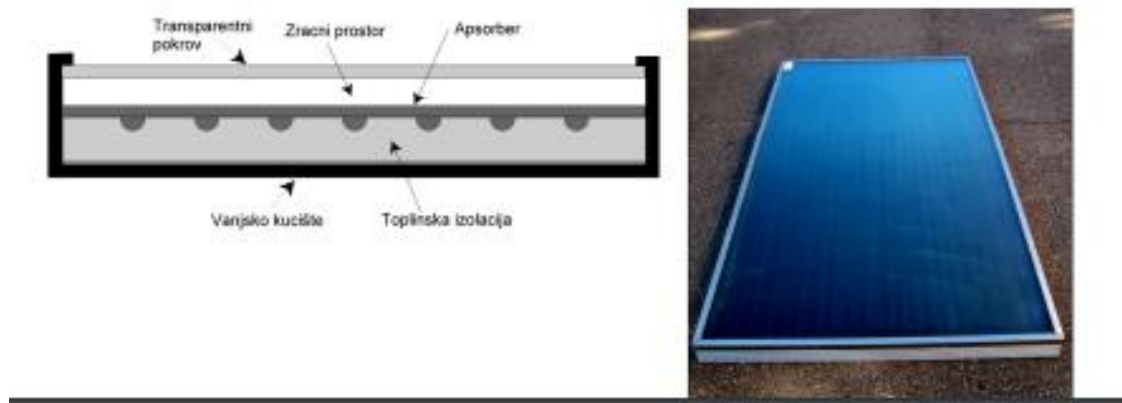
Slika 6.2 Shema pripreme PTV-a sa solarnim sustavom

### 6.1.1 Solarni sustav

U projektu za solarne kolektore je odabran: Tehnomont SKT 100. Riječ je o ravnom pločastom solarnom kolektoru čije se karakteristike nalaze u tablici 6.1. Općenito govoreći ravni pločasti solarni kolektori su najčešće korištena vrsta kolektora iz razloga što imaju visoku efikasnost rada i najpogodniji su za opskrbu toplinskom energijom na temperaturama do 100°C. Svaki se kolektor sastoji od apsorbera premazanog nekim silikatnim premazima kako bi se maksimalno apsorbiralo sunčevo zračenje uz minimalnu refleksiju, zatim sadrži također i transparentni pokrov, kućište te toplinsku izolaciju samog kućista (slika 6.3). Princip rada solarnog kolektora jest takav da apsorber upija sunčevo zračenje te se isti zagrijava te dolazi do predaje topline na radni fluid (najčešće smjesa vode i glikola) koji struji u cijevima koje su u dodiru s pločom apsorbera. Da bi se čim više smanjili gubici topline prema okoline apsorber se smješta u kućište koji s prednje strane je pokriven transparentnim pokrovom dok je sa stražnje strane izoliran izolacijskim materijalom.

*Tablica 6.1 Tehničke karakteristike Tehnomont SKT 100*

TEHNOMONT SKT 100	
Bruto površina [m <sup>2</sup> ]	2.031
Površina apsorbera [m <sup>2</sup> ]	1.9
Površina svijetlog otvora [m <sup>2</sup> ]	1.9
Optički stupanj djelovanja	0.79
Koeficijent gubitaka topline k1	3.02
Koeficijent gubitaka topline k2	0.028
Toplinski kapacitet [kJ/m <sup>2</sup> K]	52
Težina [kg]	37
Volumen tekućine [l]	1.3
Dozvoljeni pogonski tlak [bar]	6
Maksimalna temp. u mirovanju [°C]	200
Priključak [mm]	18



Slika 6.3 Ravni pločasti kolektor

Prosječnu iskoristivost kolektora određujemo temeljem sljedećeg izraza:

$$\eta = \eta_0 - \frac{k_1 \cdot \Delta T}{G} - \frac{k_2 \cdot \Delta T^2}{G} \quad [12]$$

Pri čemu je:

$\eta_0$  – optički stupanj djelovanja (79%)

$k_1$  – koeficijent gubitaka topline (3,02)

$k_2$  – koeficijent gubitaka topline (0,0228)

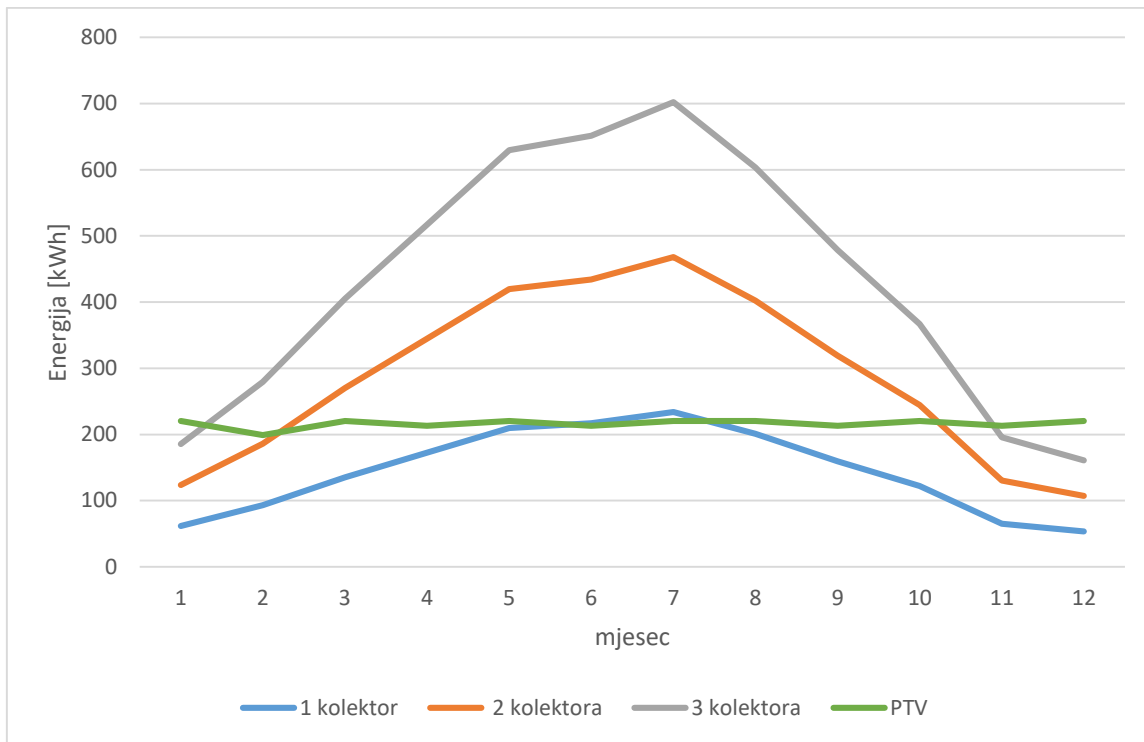
$\Delta T$  – temperaturna razlika između temp. solarnih kolektora (55°C) i temperature okoline (15°C)

$G = 1000 \text{ W/m}^2$

Sljedi:

$$\eta = 0,79 - \frac{3,02 \cdot 40}{1000} - \frac{0,0228 \cdot 40^2}{1000} = 63\%$$

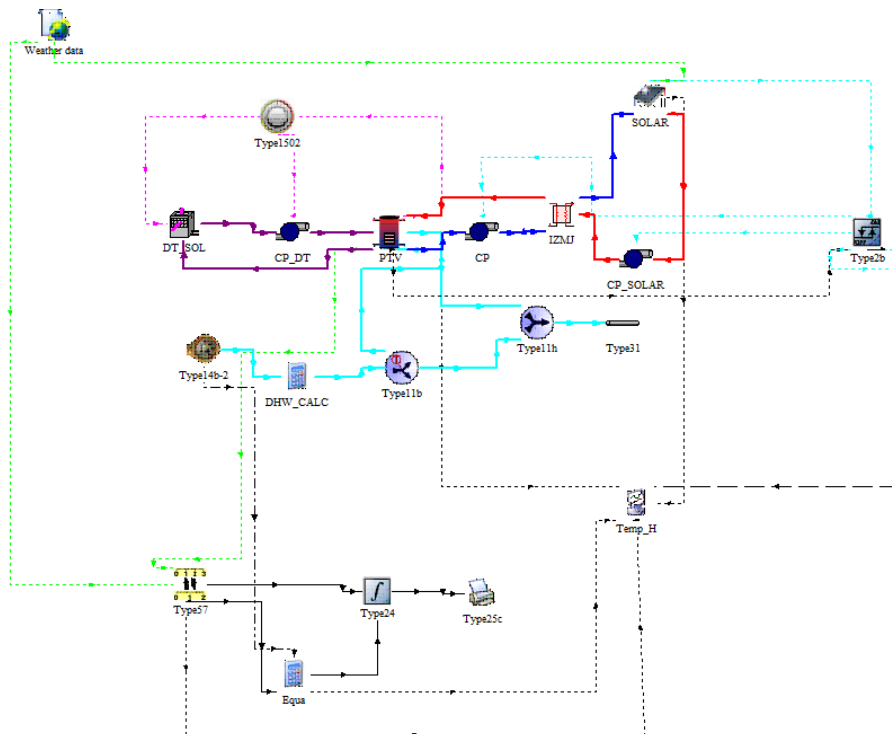
Zatim je potrebno odabrati ukupni broj kolektora koji bi zadovoljili potrebu za energijom po mjesecima za pripremu potrošne tople vode. Podaci se dobivaju uz pomoć ukupnog globalnog zračenja (uzeto iz meteoroloških podataka za Rijeku), površini samog apsorbena te dobivenoj prosječnoj iskoristivosti. Na temelju slike 6.4 dobivene su sljedeće vrijednosti.



Slika 6.4 Prikaz ovisnosti energije po mjesecima

Vidljivo je da bi se zadovoljila potreba za energijom što se tiče zagrijavanja potrošne tople vode dovoljno je uzeti samo jedan kolektor.

Složena shema ovakvog sustava u Simulation studiu prikazana je na slici 6.5.

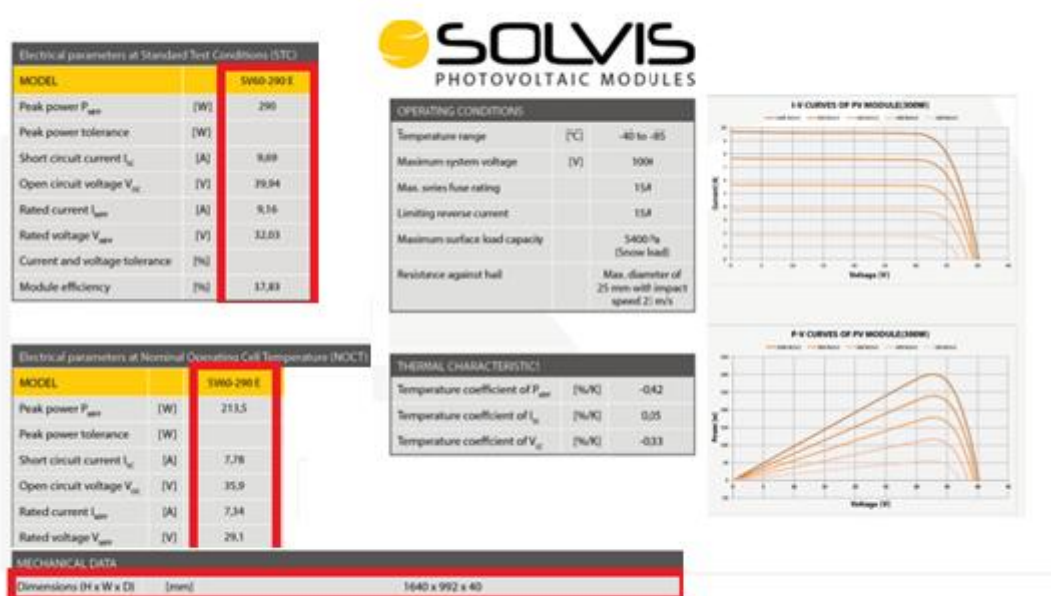


Slika 6.5 Solarni sustav (Simulation Studio)

## 6.1.2 Fotonaponski sustav

Za razliku od solarnih sustava fotonaponski sustavi na temelju dozračene toplinske energije Sunca proizvode električnu energiju. Sam se sustav sastoji od većeg broja modula koji čine solarne ćelije. U solarnim se ćelijama na temelju fotoelektričnog efekta sunčeva svjetlost pretvara u električnu energiju. Također uz solarne ćelije potrebna je ugradnja i pretvarača, kabela te spoj na same potrošače električne energije. Pretvarač odnosno inverter je neophodan iz razloga što se u ćelijama proizvodi istosmjerna struja te se ona kao takva ne bi mogla koristiti u domaćinstvu pa ju je potrebno pretvoriti u izmjeničnu struju. Konačno dobivenu odnosno proizvedenu struju moguće je koristiti za vlastite potrebe odnosno proizvoditi vlastiti električnu energiju koja je jeftinija od gradske mreže ili dobivenu električnu energiju, cjelokupnu, predati u električnu mrežu.

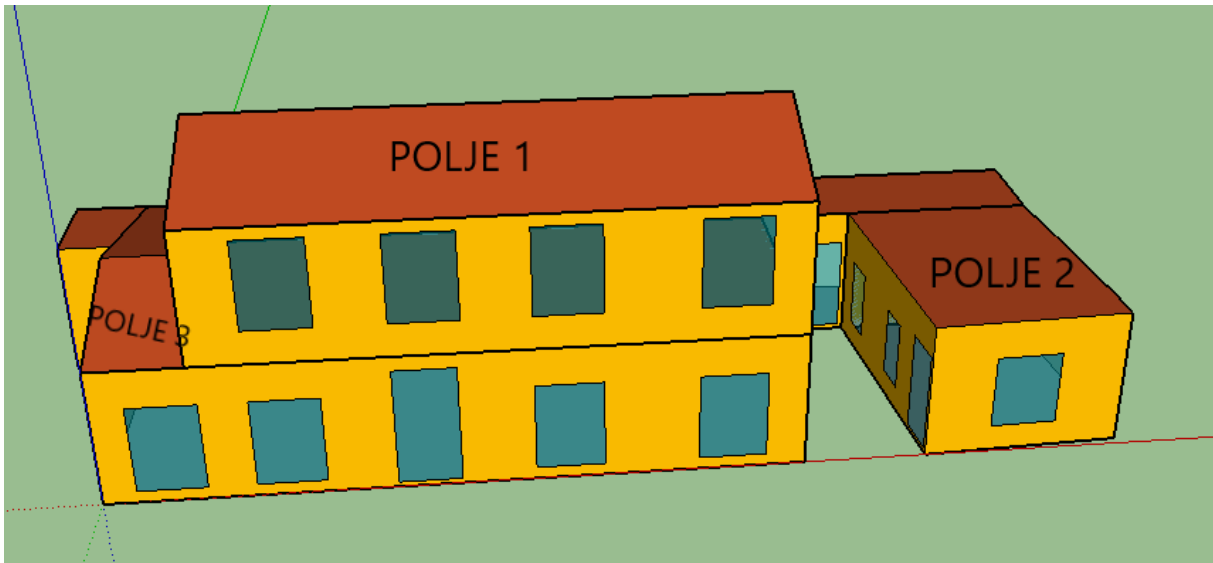
U projektu su odabrani fotonaponski paneli Solvis model SV 60E čije se karakteristike nalaze na slici 6.6.



Slika 6.6 Solvis: SV60-290 E

Kod dimenzioniranja sustava s fotonaponom najbitnije jest odrediti raspoloživu površinu za njihovu ugradnju ovisnu o površini samog panela te orijentaciju i kut nagiba postavljanja samih panela. Sljedeći te korake dobivene su vrijednosti za tri polja na objektu koja su prikazana na slici 6.7. S obzirom na površinu polja se odredilo koliko se na svako polje može ugraditi fotonaponskih panela (tablica 6.2). Temeljem slike 6.7 vidljivo je da su orijentacije svih polja

prema jugu (azimut  $0^\circ$ ) te se paneli postavljaju pod kutem od  $30^\circ$ . Na polju 2 nije odabrano najveći mogući broj panela s obzirom na površinu kako ne bi došlo do međusobnog prekrivanja i zasjenjenja.



*Slika 6.7 Raspored fotonaponskih polja*

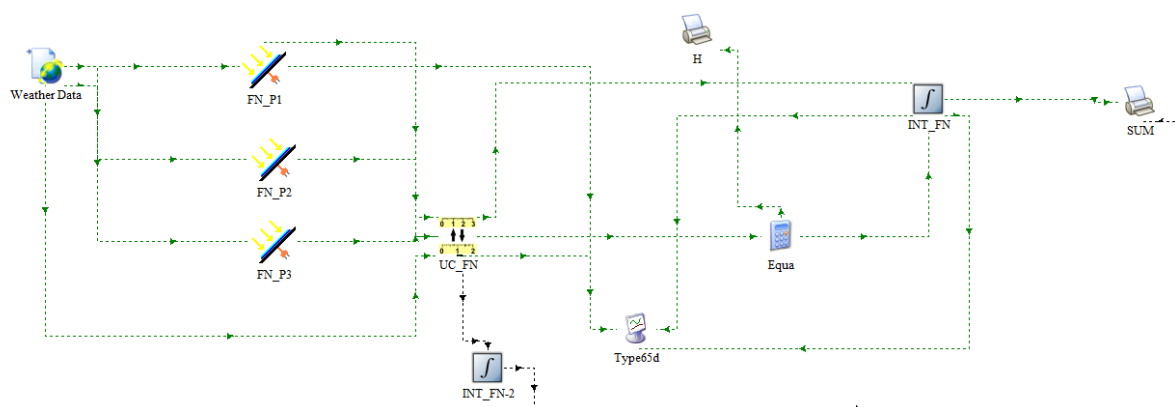
*Tablica 6.2 Prikaz odabranog broja panela*

POLJE	POVRŠINA POLJA	POVRŠINA PANELA	BROJ PANELA
1	32,59 m <sup>2</sup>	1,51 m <sup>2</sup>	20
2	20,17 m <sup>2</sup>	1,51 m <sup>2</sup>	8
3	5	1,51 m <sup>2</sup>	2

Posljednji je korak izračunati ukupnu površinu koju imamo na raspolaganju za proizvodnju električne energije pomoću fotonaponskih panela:

$$A_{uk} = A_{panel} \cdot n_{panel} = 1,51 \cdot 30 = 45,3 \text{ m}^2 \text{ [13]}$$

Izgled sučelja simulacije s fotonaponskim sustavom prikazan je na slici 6.8.



Slika 6.8 Prikaz simulacije fotonaponskog sustava

Provođenjem simulacije dobivaju se rezultati o proizvedenoj električnoj energiji po svakome polju sustava fotonaponskih panela te sumiranjem tih vrijednosti dobivamo ukupnu proizvedenu električnu energiju (tablica 6.3).

Tablica 6.3 Dobivena električna energija fotonaponskim sustavom

	Proizvedena električna energija – ukupna [kWh]	Proizvedena električna energija – polje 1 [kWh]	Proizvedena električna energija – polje 2[kWh]	Proizvedena električna energija – polje 3 [kWh]
Ukupno tijekom godine	<b>9362.01</b>	<b>6238.57</b>	<b>2499.56</b>	<b>623.86</b>

Vidljivo je da se s poljem 1 proizvodi 6238.57 kWh električne enrgije, poljem 2 proizvodi 2499.56 kWh dok polje 3 proizvodi 623.86 kWh. Ukupno pomoću sva tri polja sustav je spreman proizvesti 9362.01 kWh električne energije godišnje.

## 7. Sustavi grijanja, hlađenja, pripreme PTV i vlastite potrošnje električne energije

Nakon modeliranja i provođenja cjelokupnih opisanih simulacija slijedi usporedba određenih sustava grijanja, hlađenja, ventilacije i pripreme potrošne tople vode. Kod analize pažnja će se usmjeriti na količinu proizvedene energije za grijanje i hlađenje u odnosu na potrošnju električne energije i potrošnju primarne energije sustava. Za električnu energiju korišten je faktor primarne energije 1,614 kWh/kWh<sub>e</sub>. Trošila čija potrošnja energije se bilježi tijekom provođenja simulacija su pumpe u sustavu (dizalica topline, ventilokonvektora i podnog grijanja), energija za pogon ventilatora kod ventilokonvektora te također i električna energija koja se troši za pogon ventilatora kod sustava mehaničke ventilacije.

Sustavi koji će se razmatrati su sljedeći:

*Tablica 7.1 Prikaz analiziranih sustava*

Sustav	Grijanje i hlađenje	Priprema PTV	Vlastita proizvodnja električne energije
1	Dizalica topline	Dizalica topline	-
2	Dizalica topline	Dizalica topline i solarni toplinski sustav	-
3	Dizalica topline	Dizalica topline	Fotonaponski sustav
4	Dizalica topline	Dizalica topline i solarni toplinski sustav	Fotonaponski sustav

### 7.1 Sustav 1

Kao što je navedeno prvi sustav se temelji na tome da se energija za grijanje i hlađenje čitavog objekta dobiva uz pomoć dizalice topline, ventilokonvektora te podnog grijanja koji su povezani na inercijski spremnik (čini bazu za preostale sustave) dok se potrošna topla voda priprema uz pomoć dizalice topline zrak-voda. Princip pripreme PTV-a kao i njegova konfiguracija u Simulation studiu je jednaka kao i kod prethodno opisanog solarnog sustava samo što se pumpe solara i izmjenjivača topline isključuju te se čitava energija potrebna za zagrijavanje hladne vode u spremniku PTV-a dobiva pomoću dizalice topline.

Rezultati provedenih simulacija i dobivenih podataka vezanih uz proizvodnju toplinskih energija te potrošnju električne energije za ventilokonvektore i dizalicu topline po pojedinim



mjesecima te predanu toplinu od sustava podnog grijanja prema prostorijama prikazani su u tablici 7.2.

Tablica 7.2 Rezultati provedene simulacije (sustav 1)

Mjesec	Energija predana za grijanje (podno grijanje + ventilokonvektori) [kWh]	Energija predana za hlađenje (ventilokonvektori) [kWh]	Energija proizvedena za grijanje (dizalica topline) [kWh]	Energija proizvedena za hlađenje (dizalica topline) [kWh]	Potrošnja električne energije za grijanje (dizalica topline) [kWh]	Potrošnja električne energije za hlađenje (dizalica topline) [kWh]	Potrošnja električne energije - pomoći uređaji (pumpe i ventilatori) [kWh]
1	-1993.92	0	2007.20	0	410.89	0	224.73
2	-1748.04	0	1754.76	0	350.88	0	208.54
3	-1234.40	0	1241.93	0	230.31	0	223.20
4	-347.07	0	353.88	0.18	61.14	0.05	216.63
5	0	89.81	0	173.12	0	41.67	223.33
6	0	790.13	0	945.05	0	229.58	225.86
7	0	1476.06	0	1676.14	0	410.07	237.60
8	0	1467.36	0	1668.55	0	407.92	237.54
9	0	459.13	11.51	587.87	2.47	140.70	223.06
10	-88.25	0	93.92	0	16.30	0	221.55
11	-1108.71	0	1116.62	0	195.49	0	217.63
12	-1914.56	0	1922.48	0	370.36	0	224.34

Dobivene vrijednosti su sumirane za lakši pregled u tablici 7.3

Tablica 7.3 Godišnje sume vrijednosti proizvedene i utrošene energije u sustavu

Energija [kWh]	
Proizvedena toplinska energija za grijanje	8502.29
Proizvedena toplinska energija za hlađenje	5050.90
Potrošnja el.energija za grijanje	1638
Potrošnja el.energija za hlađenje	1230
Predana energija za grijanje	-8434.94
Predana energija za hlađenje	4282.49
Potrošnja električne energije - pomoćni uređaji	2684.01
Ukupna potrošnja električne energije	5551.82

Temeljem dobivenih podataka vezanih za dizalicu topline i ventilokonvektore zaključujemo:

a) Ukupna potrošnja električne energije:

$$PEL_{EL} = 1637,83 + 1229,99 + 59,25 = 2927,06 \text{ kWh [14]}$$

b) Sezonski faktor grijanje:  $SCOP = \frac{DT_{QG}}{DT_{PEL_G}} = \frac{8502,29}{1637,83} = 5,19 \quad [15]$

c) Sezonski faktor hlađenja:  $SEER = \frac{DT_{QH}}{DT_{PEL_H}} = \frac{5050,90}{1229,99} = 4,11 \quad [16]$

Za potrebe zagrijavanja hladne vode koja dolazi u spremnik potrošne tople vode koristi se dizalica topline te se u tablici 7.4 nalaze dobivene vrijednosti proizvedene toplinske energije za grijanje PTV-a i utrošene električne energije za potrebe samog zagrijavanja. Valja napomenuti da je dnevna potreba za PTV-om 230 l te se režim potrošnje oblikovao da se zadovolji taj uvjet uz vršnu potrošnju vodu od 100 kg/h.

*Tablica 7.4 Energetska bilanca dizalice topline za grijanje PTV*

MJESEC	Proizvedena toplinska energija za grijanje [kWh]	Potrošnja električne energije za grijanje[kWh]
1	236.34	53.39
2	206.11	46.64
3	228.20	51.64
4	220.79	49.96
5	228.13	51.63
6	220.86	49.98
7	228.13	51.63
8	228.20	51.64
9	220.79	49.96
10	228.13	51.63
11	220.86	49.98
12	228.13	51.63
<b>SUM [kWh]</b>	<b>2694.68</b>	<b>609.71</b>

Na temelju podataka vidljivo je da je proizvedena toplinska energija za grijanje jednaka 2694,68 kWh dok je potrošnja električne energije za grijanje 609,71 kWh.

Specifična potrošnja primarne energije ovog sustava je:

$$(5551,8 + 609,7) \times 1,614 / 208 = 47,8 \text{ kWh/m}^2$$

što je ispod zakonom definirane maksimalne vrijednosti od 80 kWh/m<sup>2</sup>.

## 7.2 Sustav 2

U pogledu sustava grijanja i hlađenja sustav 2 je ostao jednak sustavu jedan međutim u ovome sustavu su se izvršile promjene na sustavu za pripremu potrošne tople vode i to na način da se uz dizalicu topline postavio i solarni sustav s ciljem smanjenja rada dizalice topline i orijentaciji

prema obnovljivim izvorima energije sunca s ciljem većih ušteda. Podaci dobiveni u ovom slučaju vezani za dizalicu topline nalaze se u tablici 7.5, dok su podaci vezani uz solarni sustav prikazani u tablici 7.6.

*Tablica 7.5 Energetska bilanca dizalice topline za grijanje PTV*

MJESEC	Proizvedena toplinska energija za grijanje [kWh]	Potrošnja električne energije za grijanje[kWh]
1	201.88	45.66
2	157.19	35.63
3	153.30	34.82
4	123.83	28.22
5	101.49	23.18
6	94.63	21.64
7	80.64	18.45
8	93.74	21.42
9	119.75	27.30
10	150.30	34.15
11	187.04	42.35
12	205.77	46.60
<b>SUM [kWh]</b>	<b>1669.56</b>	<b>379.41</b>

*Tablica 7.6 Energetska bilanca solarnog sustava*

MJESEC	Iskorištena toplina na kolektorima [kWh]	Dozračena energija na kolektore [kWh]	Potrebna toplina za zagrijavanje vode na 40°C [kWh]
1	51.90	128.82	215.13
2	72.23	172.14	194.31
3	121.10	243.54	215.13
4	153.05	291.97	208.19
5	195.12	335.44	215.13
6	205.10	341.32	208.19
7	235.75	371.38	215.13
8	208.45	331.22	215.13
9	159.74	274.66	208.19
10	122.50	223.87	215.13
11	49.36	126.34	208.19
12	36.26	109.90	215.13
<b>SUM [kWh]</b>	<b>1610.56</b>	<b>2950.58</b>	<b>2532.99</b>

Radi preglednosti su u tablici 7.7 priloženi svi dobiveni podaci:

*Tablica 7.7 Rekapitulacija toplina u sustavu PTV*

DIZALICA TOPLINE	
Proizvedena toplinska energija za grijanje [kWh]	1669.56
Potrošnja električne energije za grijanje [kWh]	379.41
SOLARNI KOLEKTORI	
Dozračena energija na kolektore [kWh]	2950.58
Iskorištena toplina na kolektorima [kWh]	1610.56
Potrebna toplina za zagrijavanje vode na 40°C [kWh]	2532.99

Temeljem dobivenih rezultata može se odrediti:

a) Efikasnost solarnih kolektora:  $\eta_{SOL} = \frac{HX}{G} = \frac{1610,59}{2950,58} = 0,55 = 55 \%$  [17]

b) Stupanj pokrivanja sunčevom energijom:

$$SF = \frac{HX}{HX + DT_{QG}} = \frac{1610,56}{1610,56 + 1669,56} = 0.49 \quad [18]$$

c) Predana energija za grijanje PTV-a:

$$Q_{PTV} = HX + DT_{QG} = 1610,56 + 1669,56 = 3880,12 \text{ kWh} \quad [19]$$

d) Gubici spremnika:  $Q_{gub} = Q_{PTV} - W = 3880,12 - 2532,99 = 747,13 \text{ kWh}$  [20]

Specifična potrošnja primarne energije ovog sustava je:

$$(5551,8 + 379,4) \times 1,614 / 208 = 46 \text{ kWh/m}^2$$

što je ispod zakonom definirane maksimalne vrijednosti od 80 kWh/m<sup>2</sup>.

### 7.3 Sustav 3

Treći sustav jednak je kao prvi opisani sustav uz to što mu se dovodi fotonaponski sustav s ciljem postizanja gotovo nulte potrošnje električne energije odnosno da objekt bude u potpunosti samoodrživ. Pregled potroška električne energije za sustav grijanja i hlađenja pomoću dizalice topline, ventilokonvektora i podnog grijanja te pripreme PTV pomoću dizalice topline nalazi se u tablici 7.8.

Tablica 7.8 Potrošnja električne energije

POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE	kWh
Ventilatori ventilokonvektora	59.25
Energije za grijanje (DT)	1637.83
Energije za hlađenje (DT)	1229.99
Pumpa ventilokonvektora	50.65
Pumpa podnog grijanja	12.68
Pumpa dizalice topline	963.60
Ventilator mehaničke ventilacije	946.08
Energije za grijanje (DT_PTV)	609.71
<b>UKUPNO [kWh]</b>	<b>5509.79</b>

Vidljivo je da ukupna potrošnja koja se odnosi samo na sustav a ne na ostala trošila u objektu iznosi 5509,79 kWh godišnje. Ugrađeni fotonaponski sustav daje vrijednosti prikazane u tablici 7.9 koje smo dobili u prethodnom poglavlju.

Tablica 7.9 Proizvedena električna energija FN

FOTONAPONSKI SUSTAV	POLJE 1	POLJE 2	POLJE 3	UKUPNO
Proizvedena električna energija [kWh] (godišnja)	6238.57	2499.56	623.86	9362.01

Na temelju podataka vidljivo je da ukoliko koristimo u pogonu sva tri polja dobiti ćemo i više negoli je potrebno električne energije te preostalu energiju se može dalje distribuirati do ostalih potrošača ili također predati distribucijskoj mreži. Međutim poznato je da su investicijski troškovi postavljanja fotonaponskog sustav dosta veliki pa iz tog razloga se također može instalirati sustav samo za polje 1 jer i u tom slučaju također ima dovoljno električne energije za pokrivanje potrošnje sustava.

Ovdje bi trebalo FN elektrana površine 27 m<sup>2</sup> koja sadrži 18 FN modula da bi se pokrila potrošnja električne energije sustava grijanja, hlađenja i pripreme potrošne tople vode.

Specifična potrošnja primarne energije ovog sustava je

$$(5551,8 + 609,7 - 5577,53) \times 1,614 / 208 = 4,60 \text{ kWh/m}^2$$

što je ispod zakonom definirane maksimalne vrijednosti od 80 kWh/m<sup>2</sup>.

## 7.4 Sustav 4

Posljednja izvedba sustav koji ćemo analizirati jest sustav koji ima izvedbu grijanja i hlađenja uz pomoć dizalice topline, ventilokonvektora i podnog grijanja, potrošna topla voda se priprema kombiniranim sustavom dizalica topline i solari i još je dodan fotonaponski sustav za pokrivanje potrošnje električne energije samog sustava. Potrošnja električne energije ovog sustava prikazana je u tablici 7.10.

Tablica 7.10 Potrošnja električne energije

POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE	kWh
Ventilatori ventilokonvektora	59.25
Energije za grijanje (DT)	1637.83
Energije za hlađenje (DT)	1229.99
Pumpa ventilokonvektora	50.65
Pumpa podnog grijanja	12.68
Pumpa dizalice topline	963.60
Ventilator mehaničke ventilacije	946.08
Energije za grijanje (DT_PTV)	379.41
<b>UKUPNO [kWh]</b>	<b>5279.48</b>

Usporedivši dobivene vrijednosti s količinom proizvedene električne energije (tablica 7.8) zaključak jest da također nam je dovoljno polje 1 za pokrivanje svih potrošača električne energije sustava.

U ovom slučaju bi trebalo FN elektrana površine 25,5 m<sup>2</sup> koja sadrži 17 FN modula da bi se pokrila potrošnja električne energije sustava grijanja, hlađenja i pripreme potrošne tople vode.

Specifična potrošnja primarne energije ovog sustava je:

$$(5551,8 + 609,7 - 5267) \times 1,614 / 208 = 6,94 \text{ kWh/m}^2$$

što je ispod zakonom definirane maksimalne vrijednosti od 80 kWh/m<sup>2</sup>.

## 7.5 Troškovi sustava

Troškovi investicije svakog od sustava kao i njihova godišnja potrošnja izračeni su prema postojećim cijenama izraženim u valuti euro. Pod investicijske troškove se ubraja cijena svih potrebnih uređaja i opreme koja čini sustav. To se odnosi na dizalicu topline, ventilokonvektore, podno grijanje, solarne kolektore, fotonaponske panele te ostala pripadajuća oprema

(pumpe, cijevi...). U tablici 7.11 prikazani su investicijski troškovi za prethodno opisane sustave dok u tablici 7.12 su navedeni pogonski godišnji troškovi rada pojedinog sustava.

*Tablica 7.11 Investicijski troškovi sustava*

Sustav	Investicijski troškovi
S1	20000 €
S2	28000 €
S3	32150 €
S4	39475 €

Vrijednosti za investicijske troškove su takvi da nam investicija osnovnog sustava (S1) koju čini sustav za grijanje i hlađenje i pripremu PTV-a zasnovan na dizalici topline, ventilokonvektorima i podnom grijanju te taj slučaj iznosi 20000 €. Postavljanje sustava sa solarnim kolektorima iznosi 8000 € dok cijena fotonaponskog sustava iznosi 450 €/m<sup>2</sup>.

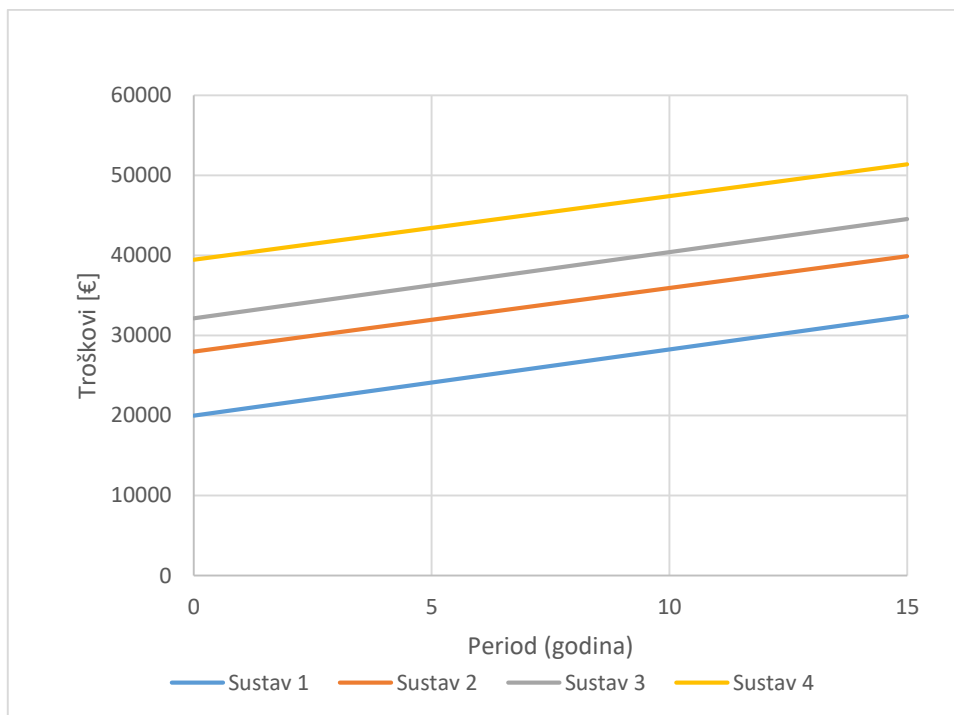
*Tablica 7.12 Godišnji pogonski troškovi sustava*

Sustav	Godišnji pogonski troškovi
S1	826 €
S2	793 €
S3	826 €
S4	793 €

Kod određivanja godišnjih pogonskih troškova korištena je cijena električne energije od 0,15 €/kWh. Održavanje GVIK sustava je zanemareno.

## **7.6 Ekonomsko razmatranje**

Za obiteljsku kuću određen je period razmatranja od 15 godina. Temeljna usporedba analiziranih sustava izvršila se ukupnim troškovima vezanim za pojedini sustav te je ista prikazana na slici 7.1.



*Slika 7.1 Usporedba analiziranih sustava tijekom procijenjenog životnog vijeka termotehničkog sustava*

Vidljivo je da sustav 1, iako ne koristi obnovljive izvore energije, za svoj pogon najpovoljniji i najisplativiji jer donosi najniže ukupne troškove tijekom perioda razmatranja.

## 7.6 Moguća poboljšanja sustava

Nakon izvršene usporedbe te odabira najpovoljnijeg slijedi analiza mogućih poboljšanja samih sustava.

Poboljšanje sustava 1:

### Klizna regulacija temperature podnog grijanja

Kod ove vrste poboljšanje vrši se „klizanje“ temperature polaza između 38°C i 30°C za temperaturu zraka od -7 do 15°C. Podaci dobiveni za ovakav tip izvedbe sustava prikazani su u tablici 7.13 te sumirane vrijednosti u tablici 7.14.



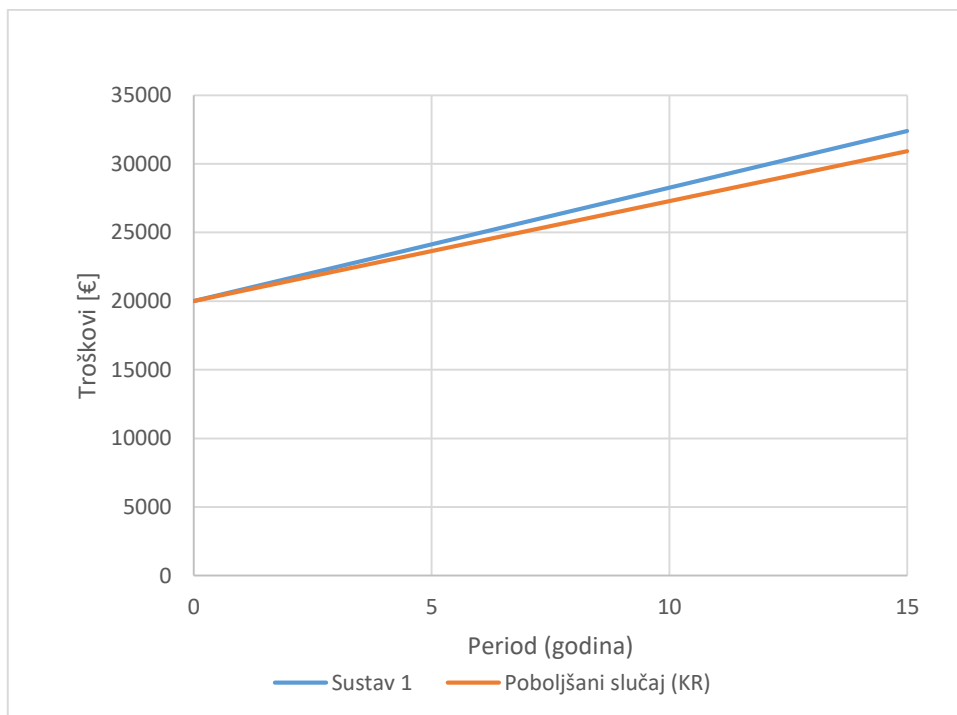
Tablica 7.13 Rezultati simulacije (klizna regulacija temperature polaza u sustavu grijanja)

Mjesec	Energija predana za grijanje (podno grijanje + ventilokonvektori) [kWh]	Energija predana za hlađenje (ventilokonvektori) [kWh]	Energija proizvedena za grijanje (dizalica topline) [kWh]	Energija proizvedena za hlađenje (dizalica topline) [kWh]	Potrošnja električne energije za grijanje (dizalica topline) [kWh]	Potrošnja električne energije za hlađenje (dizalica topline) [kWh]	Potrošnja električne energije - pomoći uređaji (pumpe i ventilatori) [kWh]
1	-2003.06	0	2009.93	0	406.30	0	165.62
2	-1740.55	0	1742.06	0	337.59	0	149.32
3	-1250.06	0	1251.25	0	222.44	0	163.96
4	-289.80	0	290.16	0.18	48.07	0.05	157.33
5	0	88.82	0	170.35	0	40.99	165.37
6	0	789.65	0	944.17	0	229.37	177.25
7	0	1476.19	0	1676.15	0	410.07	198.75
8	0	1467.52	0	1669.15	0	408.07	198.46
9	0	459.43	9.04	587.00	1.84	140.49	170.54
10	-100.78	0	100.80	0	16.52	0	162.32
11	-1092.92	0	1091.52	0	190.70	0	158.48
12	-1910.27	0	1914.14	0	364.98	0	165.23

Tablica 7.14 Ukupni rezultati simulacije (klizna regulacija temperature polaza grijanja)

	Energija [kWh]
Proizvedena toplinska energija za grijanje	8408.89
Proizvedena toplinska energija za hlađenje	5046.99
Potrošnja el.energija za grijanje	1588
Potrošnja el.energija za hlađenje	1229
Predana energija za grijanje	-8387.44
Predana energija za hlađenje	4281.61
Potrošnja električne energije - pomoćni uređaji	2032.62
Ukupna potrošnja električne energije	4850.09

Vidljivo je da se ovakvim načinom izvedbe sustava odnosno korištenjem klizne regulacije poboljšao sam sustav jer se smanjila potrošnja električne energije dok je proizvedene energije za grijanje i hlađenje ostao približno jednak kao i za slučaj bez regulacije. U ovom slučaju bi trebalo FN elektrana površine 22,5 m<sup>2</sup> koja sadrži 15 FN modula da bi se pokrila potrošnja električne energije sustava grijanja, hlađenja i pripreme potrošne tople vode. Usporedba poboljšanog sustava u odnosu na prvotni sustav na temelju ukupnih troškova prikazana je u na slici 7.2.



*Slika 7.2 Usporedba troškova prvotnog (S4) i poboljšanog sustava (KR) tijekom perioda razmatranja*

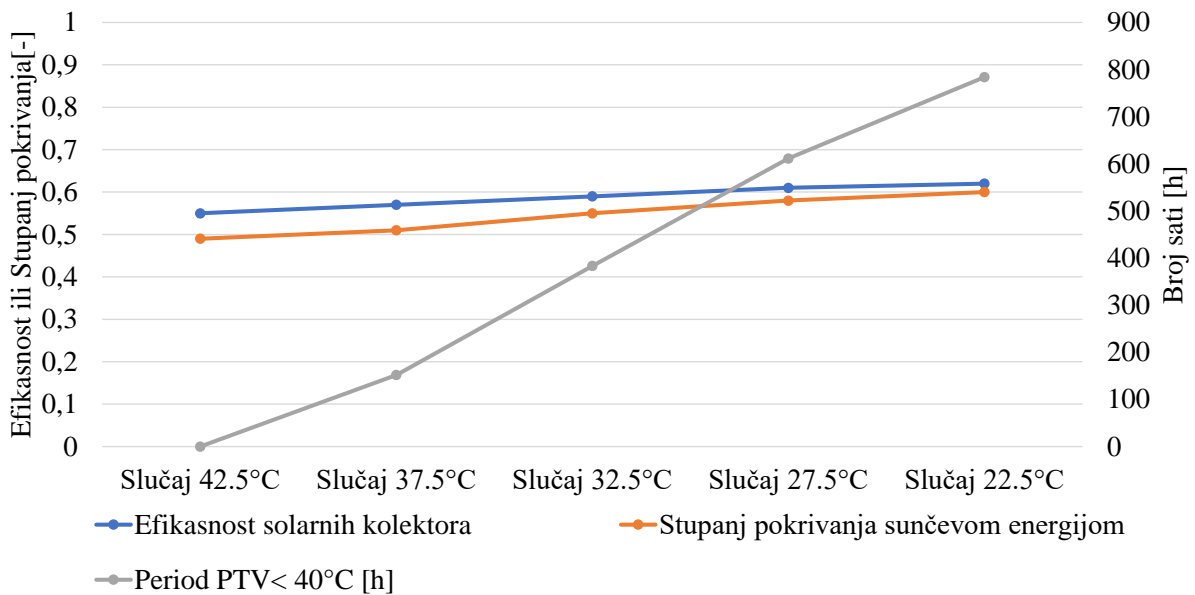
### Poboljšanje pripreme PTV-a

Jedan od načina da se unaprijedi sustav pripreme PTV jest da se izvrši regulacija kojom će se snižavati temperatura vode na koju će dizalice topline tijekom ljeta grijati vodu u spremniku, te bi se na taj način dala prednost korištenju solarnih toplinskih kolektora. Analiza je provedena u koracima (42.5, 37.5, 32.5, 27.5, 22.5, 17.5°C) i pritom je utvrđeno trajanje perioda sa temperaturom PTV ispod željene temperature na mjestu potrošnje (40°C). Dobiveni rezultati analiza nalaze se u tablici 7.15.

Tablica 7.15 Rezultati i usporedba vrijednosti

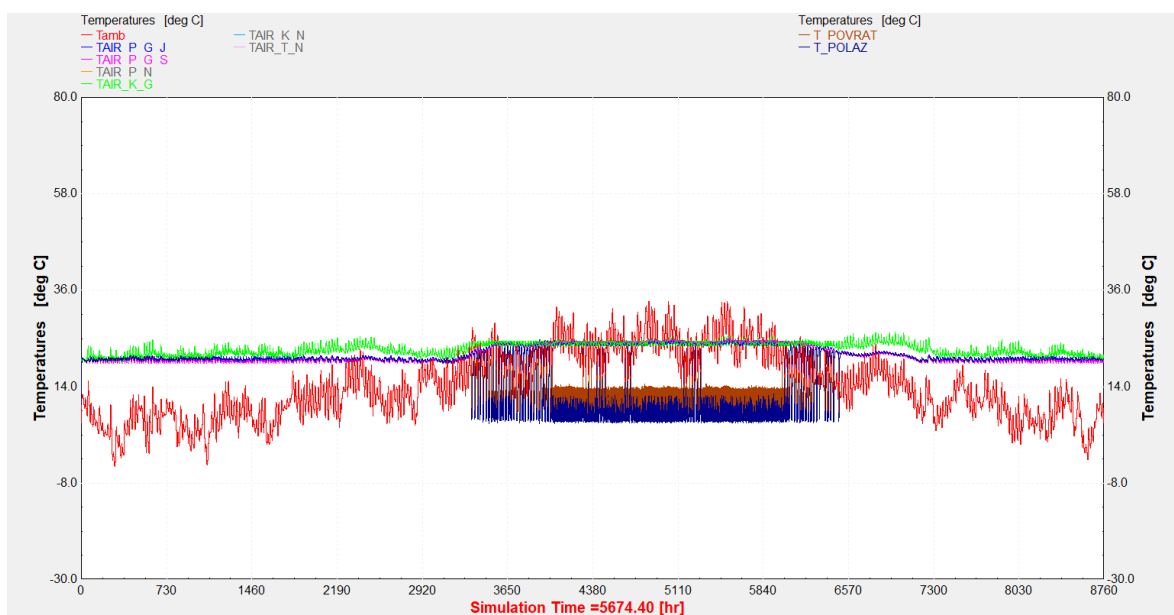
	Slučaj 42.5°C	Slučaj 37.5°C	Slučaj 32.5°C	Slučaj 27.5°C	Slučaj 22.5°C
Proizvedena toplinska energija za grijanje [kWh]	1669.56	1581.82	1444.04	1315.59	1226.09
Potrošnja električne energije za grijanje [kWh]	379.41	358.74	326.88	297.48	277.39
Iskorištena toplina na kolektorima [kWh]	1610.56	1677.02	1745.63	1797.65	1826.24
Efikasnost solarnih kolektora	0.55	0.57	0.59	0.61	0.62
Stupanj pokrivanja sunčevom energijom	0.49	0.51	0.55	0.58	0.60
Period PTV < 40°C [h]	0	151.79	383.34	611.36	783.91

Iz dobivenih podataka vidljivo je da se povećava efikasnost i pokrivanje samih kolektora kao i manja potreba za proizvodnjom toplinske energije od strane dizalice topline što doprinosi smanjenju potrošnje električne energije, a time i samim troškovima rada sustava. Međutim vidljivo je i da postoje periodu kada temperatura potrošne tople vode poprima vrijednosti ispod 40°C što može biti neugodno za krajnje potrošače, ali iskustveno u ljetnom periodu nije potrebna visoka temperatura PTV pa se može zaključiti da je ovaj tip regulacije također uveo određenja poboljšanja u radu sustava pripreme PTV-a. Na slici 7.3 vidljivo je ponašanje samog sustava prilikom snižavanja temperature vode koje se ogleda u efikasnosti solarnih kolektora, stupnju pokrivanja sunčevom energijom te prikazu perioda kada te temperatura potrošne vode niža od 40°C.



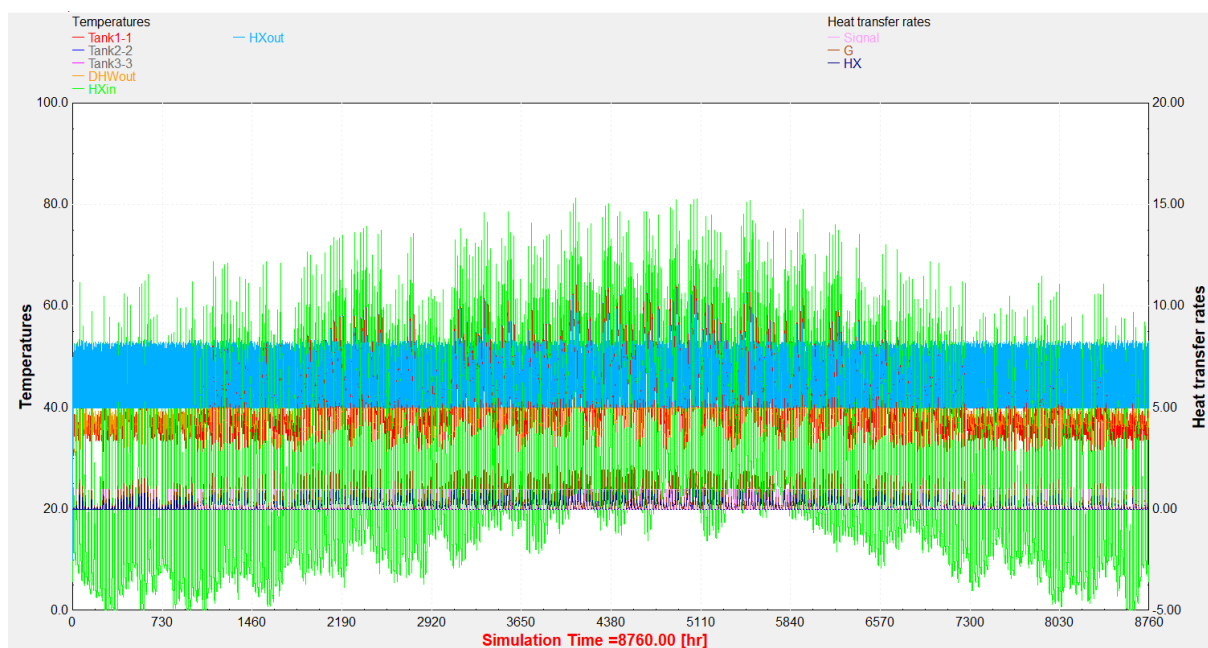
Slika 7.3 Prikaz rezultata poboljšanog sustava pripreme PTV

Posljednje što preostaje jest prikazati analizu raspodjele temperatura u grijanim zonama u usporedba s promjenom temperature zraka te temperature u sustavu odnosno temperature polaznog i povratnog cjevovoda. Iz slike 7.4 vidljivo je da se u sezoni grijanje temperature u prostorijama održavaju na približno 21°C što odgovara uvjetima na kojima su definirani termostati grijanja dok se u periodu hlađenja temperatura prostorija održava na 24°C također u granicama djelovanja termostata hlađenja. Temperature u sustavu se kreću u režimu 7/16 odnosno polaz ima temperaturu od 7°C dok povrat 16°C u prosjeku.



Slika 7.4 Prikaz raspodjele temperatura

Nakon analize temperatura u sustavu grijanja i hlađenja na slici 7.5 prikazano je kretanje temperatura sustava za pripremu potrošne tople vode uz pomoć dizalice topline i solarnih kolektora. Vidljivo je temperatura izlazne vode prema potrošnji se kreće u granici od 35-40°C, temperature iz solarnih kolektora ne prelaze 80°C se stoga također zaključujemo da nema pregrijavanja prilikom rada solarnih kolektora.



Slika 7.5 Prikaz raspodjele temperatura (PTV)

## 8. Zaključak

Ovim radom napravljena je analiza sustava za grijanje i hlađenje objekta kao i za ventilaciju istog te također za pripremu potrošne tople vode. Za potrebe grijanja, hlađenja i ventilacije koristili su se dizalica topline zrak-vode, ventilokonvektori te podno grijanje dok je također uvedena mehanička ventilacija dok se za pripremu potrošne tople vode ispitao sustav solarnih kolektora koji rade uz dizalicu topline. Sama izrada rada dala je uvid u način rada svih spomenutih sustava isto kao i potrebne opreme za rad istih. Također korištenjem programskog paketa Trnsys upoznao sam se sa radom tog program i uvidio razne prednosti korištenja istog za izradu projekata ovakvog tipa. Provedbom svih simulacija zaključuje se da je moguće da se objekt svrstava u kategoriju GVIK sustava gotovo nulte potrošnje energije iz razloga što se uspjelo da se sva potrošena energija nadomjesti proizvedenom energijom temeljenu na obnovljivim izvorima energija u koje ubrajamo u ovom slučaju solarne i fotonaponske sustav. Najpovoljniji sustav odnosno sustav koji za proizvedenu potrebnu energiju za grijanje i hlađenje prostorija objekta troši najmanje električne energije jest sustav koji za grijanje i hlađenje koristi dizalicu topline povezanu na inercijski spremnik koji dalje se dijeli na ventilokonvektorski sustav te sustav podnog grijanja, dok za pripremu potrošne tople vode optimalan je sustav koji povezuje dizalicu topline i solarne kolektore. Međutim gledajući na troškove početne investicije te pogonskih troškova samog rada sustava proizlazi da je najbolja opcija sustav koji ne sadrži niti solarne kolektore niti fotonaponske panele. Razlog toga leži u činjenici da su ti sustavi iako koriste potpuno obnovljiv izvor energije još uvijek izrazito skupi za instalaciju i potreban je dugi period da bi se sam sustav isplatio.

## 9. Literatura

- [1] Algoritam za proračun potrebne energije za primjenu ventilacijskih i klimatizacijskih sustava kod grijanja i hlađenja prostora zgrade, , [https://mgipu.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/meteoroloski\\_podaci/Algoritam\\_HVAC\\_2017.pdf](https://mgipu.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/meteoroloski_podaci/Algoritam_HVAC_2017.pdf), 01.08. 2022.
- [2] Predavanja iz kolegija... „Računalno modeliranje sustava u termoenergetici i termotehnici“ doc. dr. sc. Boris Delač, 2022.
- [3] MultiCalc software
- [4] Prof.dr.sc Pavković B.;dr.sc Zanki V., UNDP, Zagreb 2010 „Priručnik za energetske certificiranje zgrada“
- [5] Centrometal , <https://www.centrometal.hr/>
- [6] Termometal , <https://termometal.hr/>
- [7] Grundfos , <https://product-selection.grundfos.com/front-page.html?qcid=1016627587>
- [8] CIAT, <https://www.ciat.com/en/eu/>
- [9] Vaillant, <https://www.vaillant.hr/krajnji-korisnici/>
- [10] Trsnys mathematical reference, <http://web.mit.edu/TRNSYS/04-MathematicalReference>, 10.05.2022.
- [11] Viessman, <https://www.viessmann.hr/hr/stambene-zgrade/dizalice-topline/split-dizalice-topline-zrakvoda/vitocal-100-s.html>

## 10. Sažetak

Cilj ovog rada odnosno projekta jest bio odrediti najoptimalniji sustav grijanja, hlađenja i pripreme potrošne tople vode sve s ciljem da objekt ima gotovo ili u potpunosti nultu potrošnju energije. Za postizanje istog izradio se sustav grijanja i hlađenja koji uključuje dizalicu topline, ventilokonvektore i podno grijanja uz sustav mehaničke ventilacije dok je za pripremu potrošne tople vode korišten sustav koji objedinjuje ili dizalicu topline samu u sustavu ili istu ukomponiranu u sustav s solarnim kolektorima. Da bi se nadoknadila potrošnja električne energije s vlastitom proizvodnjom iste koristio se fotonaponski sustav. Čitav projekt je izrađen u Trnsys-ovom programu Simulation Studiu u kojem su kompletno provedene simulacije navedenih sustava. Također za potrebe izrade 3D modela samog objekta korišten je program SketchUp. Analizom proizvedenih energija za potrebe grijanja i hlađenja te usputno s time i potrošnjom električne energije za postizanje istog odnosno za osiguravanje rada sustava te usporedbom istih s proizvedenom električnom energijom uspjelo se ostvariti da je zgrada energetska neovisna o vanjskoj mreži. Međutim također se pokazalo da bi zgrada postala energetska neovisna potrebni su puno viši investicijski troškovi samih sustava što daje da je isplativije financijski gledano koristiti sustave koji nemaju ugrađene solarne i fotonaponske sustave.

Ključne riječi: grijanje, hlađenje, priprema potrošne tople vode, dizalica topline zrak-voda, ventilokonvektori, podno grijanje, solarni sustav, fotonaponski sustav, Trnsys.



## 11. Abstract

The aim of this work or project was to determine the most optimal system of heating, cooling and preparation of domestic hot water, all with the aim that the facility has almost or completely zero energy consumption. To achieve the same, a heating and cooling system was created that includes a heat pump, fan convectors and underfloor heating with a mechanical ventilation system, while for the preparation of hot water a system was used that combines either the heat pump alone in the system or the same one integrated into the system with solar collectors. In order to compensate the consumption of electricity with its own production, a photovoltaic system was used. The entire project was created in the Trnsys program Simulation Studio, in which the simulations of the mentioned systems were completely carried out. The SketchUp program was also used to create a 3D model of the object itself. By analyzing the energy produced for heating and cooling purposes and, incidentally, the consumption of electricity to achieve the same, i.e. to ensure the operation of the system, and by comparing it with the electricity produced, it was possible to realize that the building is energetically independent of the external network. However, it also turned out that in order for the building to become energy independent, much higher investment costs of the systems themselves are required, which means that it is financially more profitable to use systems that do not have installed solar and photovoltaic systems.

Keywords: heating, cooling, preparation of domestic hot water, air-water heat pump, fan convectors, underfloor heating, solar system, photovoltaic system, Trnsys.

## POPIS SLIKA

Slika 2.1 Raspodjela toplinskih zona – prizemlje.....	3
Slika 2.2 Raspodjela toplinskih zona – kat.....	4
Slika 2.3 Model zgrade (pogled jug).....	4
Slika 2.4 Model zgrade (pogled sjever).....	5
Slika 2.5 Prikaz sučelja osnovnog toplinskog modela u programu Simulation studio.....	6
Slika 2.6 Raspored sezone grijanja i hlađenja (0-grijanje,1- hlađenje).....	11
Slika 2.7 Prikaz korisničkog sučelja-bazni model.....	13
Slika 3.1 Princip rada sustava mehaničke ventilacije.....	15
Slika 3.2 Tehničke karakteristike Vaillant 260/4.....	16
Slika 3.3 Prikaz energija za grijanje.....	18
Slika 3.4 Prikaz energija za hlađenje.....	18
Slika 3.5 Simulacijsko sučelje – mehanička ventilacija.....	19
Slika 4.1 Projektni učinak za grijanje.....	20
Slika 4.2 Projektni učinak za hlađenje.....	21
Slika 5.1 Cijevni razvod (prizemlje).....	23
Slika 5.2 Prikaz relativne promjene snage $P/P_{max}$ pri smanjenju brzine vrtnje ventilatora.....	25
Slika 5.3 Ovisnost učinkovitosti i raspoloživosti toplinskih izvora.....	27
Slika 5.4 Princip rada dizalice topline zrak/voda.....	28
Slika 5.5 Karakteristike dizalice topline Vitocal 100-S.....	29
Slika 5.6 Simulacijsko sučelje: dizalica topline + ventilokonvektori+podno grijanje.....	31
Slika 6.1 Tehničke karakteristike TB 120.....	33
Slika 6.2 Shema pripreme PTV-a sa solarnim sustavom.....	34

Slika 6.3 Ravni pločasti kolektor.....	36
Slika 6.4 Prikaz ovisnosti energije po mjesecima.....	37
Slika 6.5 Solarni sustav (Simulation Studio).....	37
Slika 6.6 Solvis:SV60-290 E.....	38
Slika 6.7 Raspored fotonaponskih polja.....	39
Slika 6.8 Prikaz simulacije fotonaponskog sustava.....	40
Slika 7.1 Usporedba analiziranih sustava tijekom procijenjenog životnog vijeka termodinamičkog sustava.....	49
Slika 7.2 Usporedba prvotnog sustava (S4) i poboljšanog sustava (KR) tijekom perioda razmatranja.....	51
Slika 7.3 Prikaz rezultata poboljšanog sustava pripreme PTV.....	53
Slika 7.4 Prikaz raspodjele temperatura .....	53
Slika 7.5 Prikaz raspodjele temperatura (PTV) .....	54

## POPIS TABLICA

Tablica 2.1 ADJ_ATTIC.....	7
Tablica 2.2 ADJ_CEELING.....	7
Tablica 2.3 ADJ_WALL.....	7
Tablica 2.4 EXT_ROOF.....	8
Tablica 2.5 EXT_ROOF_R.....	8
Tablica 2.6 EXT_WALL.....	8
Tablica 2.7 GROUND_FLOOR.....	9
Tablica 2.8 Prikaz koeficijenata.....	9
Tablica 2.9 Sezona grijanje/hlađenje.....	12
Tablica 3.1 Osnovni slučaj-energije.....	14
Tablica 3.2 Mehanička ventilacija – energije.....	16
Tablica 3.3 Usporedba rezultata potrebnih energija za tri promatrana slučaj.....	17
Tablica 4.1 Projektni učinak za grijanje.....	20
Tablica 4.2 Projektni učinak za hlađenje.....	21
Tablica 5.1 Karakteristike cjevovoda.....	23
Tablica 5.2 Tehničke karakteristike: CIAT 102C.....	24
Tablica 5.3 Podaci za CIAT 102C.....	24
Tablica 5.4 Koeficijenti.....	25
Tablica 5.5 Karakteristike za režim grijanje.....	30
Tablica 5.6 Karakteristike za režim hlađenja.....	30
Tablica 6.1 Tehničke karakteristike Tehnomont SKT 100.....	35
Tablica 6.2 Prikaz odabranog broja panela.....	39
Tablica 6.3 Dobivena električna energija fotonaponskim sustavom.....	40

Tablica 7.1 Prikaz analiziranih sustava.....	41
Tablica 7.2 Rezultati provedene simulacije (sustav 1).....	42
Tablica 7.3 Sumirane vrijednosti proizvedene i utrošene energija u sustavu.....	42
Tablica 7.4 Energetska bilanca dizalice topline za grijanje PTV.....	43
Tablica 7.5 Energetska bilanca dizalice topline za grijanje PTV.....	44
Tablica 7.6 Energetska bilanca solarnog sustava.....	44
Tablica 7.7 Rekapitulacija toplina u sustavu PTV.....	45
Tablica 7.8 Potrošnja električne energija.....	46
Tablica 7.9 Proizvedena električne energija FN.....	46
Tablica 7.10 Potrošnja električne energija.....	47
Tablica 7.11 Investicijski troškovi sustava.....	48
Tablica 7.12 Godišnji pogonski troškovi sustava.....	48
Tablica 7.13 Rezultati simulacije (klizna regulacija temperature polaza u sustavu grijanja).....	50
Tablica 7.14 Ukupni rezultati simulacije (klizna regulacija temperature polaza u sustavu grijanja).....	50
Tablica 7.15 Rezultati i usporedba vrijednosti.....	52