

# Obnova termotehničkog sustava obiteljske kuće u primorskoj Hrvatskoj

---

**Pribanić, Marin**

**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:190:495036>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-04**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**OBNOVA TERMOTEHNIČKOG SUSTAVA OBITELJSKE  
KUĆE U PRIMORSKOJ HRVATSKOJ**

Rijeka, rujan 2024.

Marin Pribanić

0069083944

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**OBNOVA TERMOTEHNIČKOG SUSTAVA OBITELJSKE  
KUĆE U PRIMORSKOJ HRVATSKOJ**

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Boris Delač

Komentor: Prof. dr. sc. Branimir Pavković

Rijeka, rujan 2024.

Marin Pribanić

0069083944

## **IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI RADA**

Izjavljujem da sam, sukladno članku 11. Pravilnika o diplomskom radu, diplomskom ispitu i završetku diplomskog studija Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, ovaj rad izradio samostalno, pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Borisa Delača i komentora prof. dr. sc. Branimira Pavkovića, koristeći znanja i vještine stečena tijekom studija uz navedenu literaturu.

U Rijeci, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Marin Pribanić

0069083944

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentoru izv. prof. dr. sc. Borisu Delaču i komentoru prof. dr. sc. Branimiru Pavkoviću na pomoći tijekom izrade ovog diplomskog rada. Zahvaljujem se na strpljenju i svim savjetima koje ste mi pružili.

Također, zahvaljujem se svojoj obitelji, prijateljima i kolegama na podršci, suradnji i razumijevanju svih ovih godina tokom studiranja.

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. IZRADA TOPLINSKOG MODELA.....	2
2.1. TRNSYS softver .....	2
2.2. Obiteljska kuća.....	3
2.3. 3D Model.....	7
2.4. Ugađanje modela, TRNBuild.....	10
2.5. Odabir ostakljenih površina .....	15
2.6. Zasjećenje .....	16
2.7. Infiltracija zraka .....	16
2.8. Grijanje i hlađenje .....	18
2.9. Toplinski dobici.....	18
3. REZULTATI OSNOVNE SIMULACIJE .....	19
3.1. Faktor oblika .....	21
3.2. Projektni učinci grijanja i hlađenja.....	23
4. POSTOJEĆI SUSTAV GRIJANJA .....	26
4.1. Sustav centralnog grijanja .....	26
4.2. Potrošna topla voda .....	30
4.3. Rezultati simulacije postojećeg stanja.....	34
5. POBOLJŠANJA TEHNIČKOG SUSTAVA GRIJANJA I PRIPREME PTV-A.....	36
5.1. Novi sustav pripreme PTV-a.....	40
5.2. Dizalica topline .....	43
5.2.1. Monovalentni način rada dizalice topline .....	45
5.3. Novi režim grijanja.....	46
5.4. Cirkulacijska pumpa.....	49
5.5. Sunčani toplinski kolektor.....	50
5.6. Fotonaponski moduli.....	57

6.	ANALIZA REZULTATA SIMULACIJE .....	62
6.1.	Temperature .....	62
6.2.	Potrošnja energije.....	64
7.	EKONOMSKA ANALIZA.....	68
7.1.	Pogonski troškovi.....	68
7.2.	Investicijski troškovi .....	69
8.	ZAKLJUČAK .....	73
9.	LITERATURA.....	74
10.	POPIS SLIKA .....	76
11.	POPIS TABLICA.....	78
12.	POPIS OZNAKA .....	80
13.	SAŽETAK.....	82
14.	ABSTRACT.....	83

## 1. UVOD

Zadatak ovog diplomskog rada je odrediti nova rješenja za grijanje i pripremu potrošne tople vode za obiteljsku kuću na prostoru primorske Hrvatske. Za studiju slučaja uzeta je obiteljska kuća u mjestu Škrljevo. Obiteljska kuća izgrađena je 1972. godine prema tadašnjim normama i pravilnicima. Tokom svog postojanja, adaptirana je 2005. godine. Tom adaptacijom poboljšana je vanjska ovojnica i unaprijeđena je stolarija. Postojeći sustav sastoji se od centralnog grijanja s kotlom na lož ulje i električnog bojlera. Potrebno je projektirati novi sustav koji će smanjiti primarnu energiju uz prihvatljiv period povrata investicije.

U prvom dijelu rada detaljno je definirana geometrija objekta i izrađuje se 3D model u softveru SketchUp. Zatim se 3D model uvodi u softver TRNSYS u kojem će se provoditi dinamičke simulacije. Određuju se lokacija i orijentacija objekta, režimi grijanja, ventilacije i toplinski dobici. Definira se osnovna simulacija za izračunavanje projektnih učinaka te se izrađuje simulacija postojećeg stanja. Na taj način provodi se usporedba s stvarnim stanjem i utvrđuje ispravnost simulacije.

Slijedi odabir novih termotehničkih rješenja i njihovo projektiranje. Razmatraju se četiri nova termotehnička rješenja. Prvo rješenje odnosi se na unaprijeđenje sustava pripreme potrošne tople vode u vidu ugradnje solarnih kolektora, dok se za grijanje koristi postojeći sustav s nižim temperaturnim režimom. Ostala tri rješenja baziraju se na ugradnji dizalice topline kao novog proizvođača topline. Drugi sustav izveden je s dizalicom topline koja se koristi za grijanje i za pripremu PTV-a uz proizvodnju električne energije fotonaponskom elektranom. Treći sustav također koristi dizalicu topline za grijanje i pripremu PTV-a, ali je potpomognut sunčanim toplinskim kolektorima. Zadnji sustav kombinira sve prethodno navedene komponente, dizalicu topline, sunčani toplinski kolektor i fotonaponske module. Odabire se svaka komponenta sustava i izrađuju se dinamičke simulacije.

Na kraju se provode energetska i ekonomska analiza. Glavni kriteriji za odabir jednog od rješenja su niska potrošnja primarne energije, udio obnovljivih izvora energije i prihvatljiv period povrata investicije. Korištenjem ovih kriterija može se dobiti dobar uvid u kojem smjeru treba unaprijeđivati termotehničke sustave.



## 2. IZRADA TOPLINSKOG MODELA

### 2.1. TRNSYS softver

TRNSYS (Transient Systems Simulation Tool) je softverski paket za simuliranje i analizu učinaka energetske sustava. Razvijen je u Laboratoriju za solarnu energiju na Sveučilištu Wisconsin-Madison u Sjedinjenim Američkim Državama. Korišten je za energetske analize zgrada, projektiranje sustava s obnovljivom energijom i proučavanje HVAC (grijanje, ventilacija i klimatizacija) sustava. TRNSYS svojim korisnicima omogućuje izradu modela i simuliranje dinamičkog tijeka složenih energetske sustava u vremenu. [1]

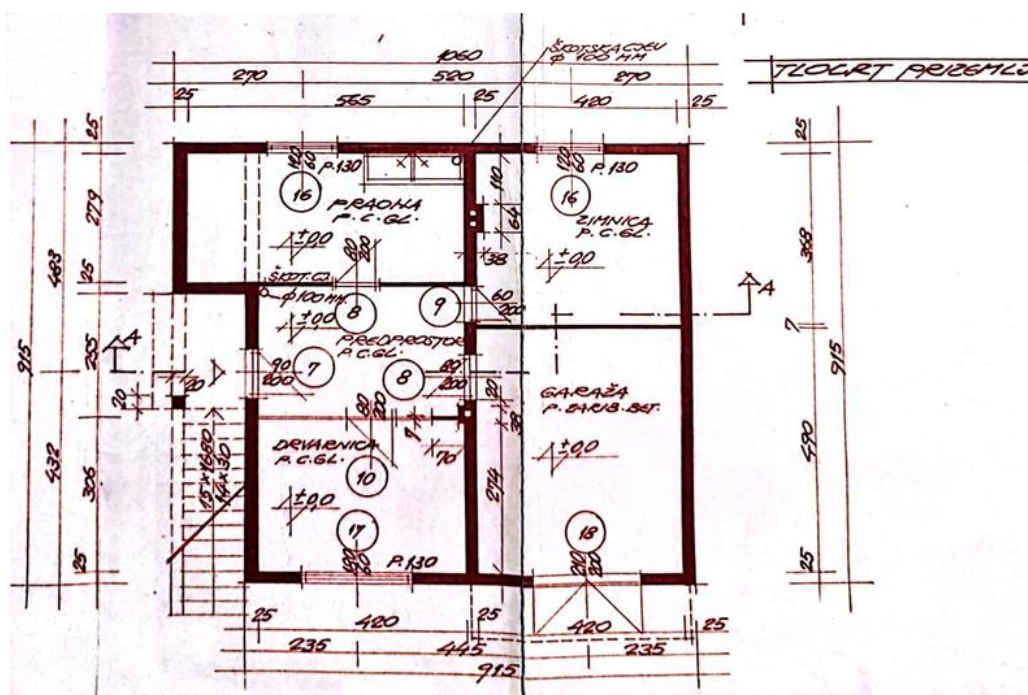
Neke od ključnih značajki i mogućnosti paketa TRNSYS:

- Modeliranje na temelju komponenti: TRNSYS koristi modularni pristup u kojem su energetske sustavi predstavljeni kao skupovi komponenti. Komponente kao što su solarni kolektori, dizalice topline, kotlovi i algoritmi za upravljanje, povezuju se kako bi se izgradio detaljni model sustava. Komponente su sadržane u TRNSYS-ovoj knjižici. Komponente su unaprijed definirane i promjenom njihovih parametara dobiva se željena konfiguracija.
- Simulacija dinamičkog ponašanja: TRNSYS simulira ponašanje definiranih sustava kroz zadano vrijeme uzimajući u obzir niz čimbenika kao što su meteorološki podaci, ponašanje korisnika objekta, upravljačke strategije i slično. Ovaj pristup omogućuje detaljnu analizu performansi sustava u različitim uvjetima tijekom dana, mjeseci i godina.
- Jednostavno korisničko sučelje: TRNSYS nudi jednostavno grafičko sučelje koje korisnicima omogućuje vizualizaciju i izgradnju modela. Svaka komponenta zasebno je podešiva kroz svoje parametre i to rezultira učinkovitim konfiguriranjem sustava te preciznom analizom rezultata.
- Široka primjena: TRNSYS se često koristi za provođenje analiza energetske sustava. Najčešća primjena odnosi se na procjenu potrošnje energije, optimizaciju sustava grijanja i hlađenja, integraciju obnovljivih izvora energije i provođenje parametarskih studija. Posebno je zanimljivo simuliranje solarnih toplinskih sustava, sustava s fotonaponskim modulima, mreža daljinskog grijanja i hlađenja. [2]

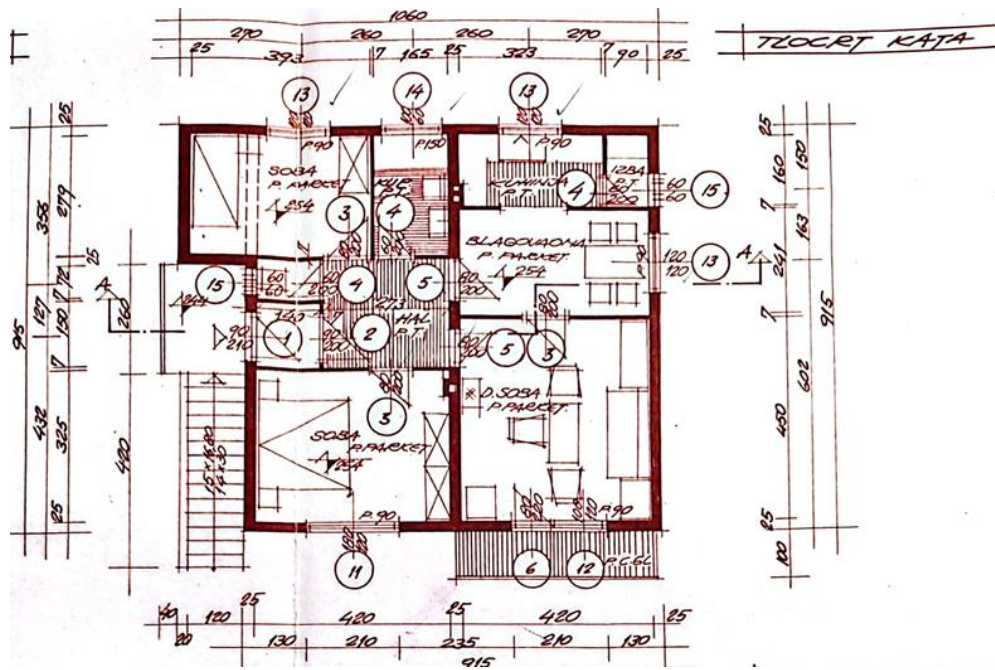
## 2.2. Obiteljska kuća

Obiteljska kuća nalazi se u mjestu Škrljevo, u okolici Rijeke. U kući žive četiri člana obitelji i svi većinom borave na katu. Prizemlje je rijetko korišteno i grijanje se rijetko provodi. Prizemlje je trenutno u funkciji skladišnog prostora i čeka preuređenje. Kuća je izgrađena 1972. godine u skladu sa tadašnjim pravilnikom o gradnji. Adaptacija je provedena 2005. godine i uključuje novu fasadu sa toplinskom izolacijom, novi krov i PVC stolariju na katu.

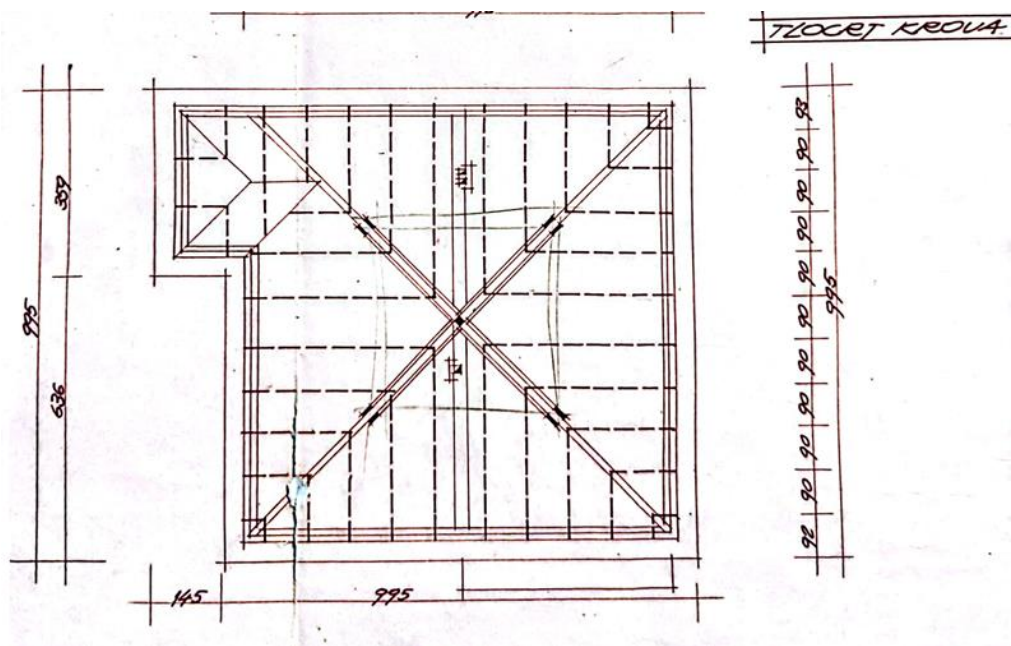
Sustav grijanja izveden je sa kotlom na loživo ulje. Distribucija topline na grijane prostore vrši se radijatorima u režimu 80/60/20°C. Za potrebe grijanja potrošne tople vode, koristi se električni bojler. U nastavku su prikazane slike originalnog projekta iz 1973. godine.



Slika 2.1. Tlocrt prizemlja obiteljske kuće



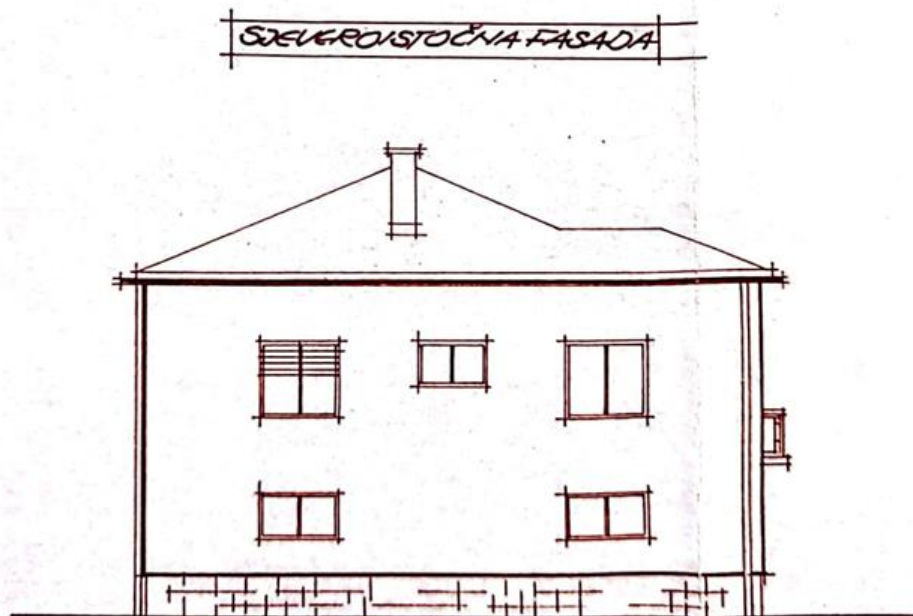
Slika 2.2. Tlocrt kata obiteljske kuće



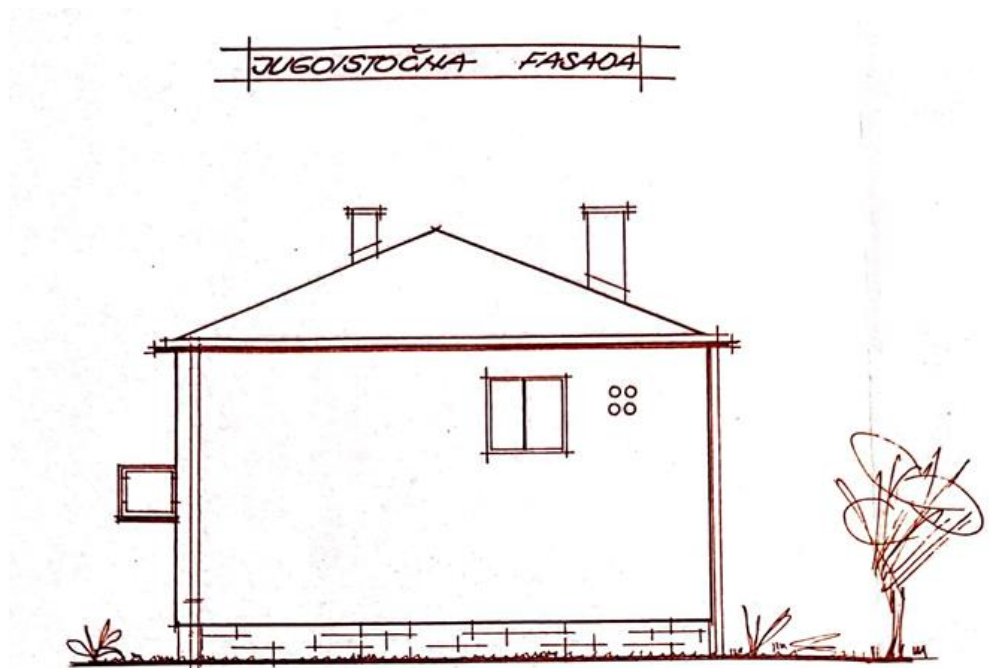
Slika 2.3. Tlocrt krova kuće



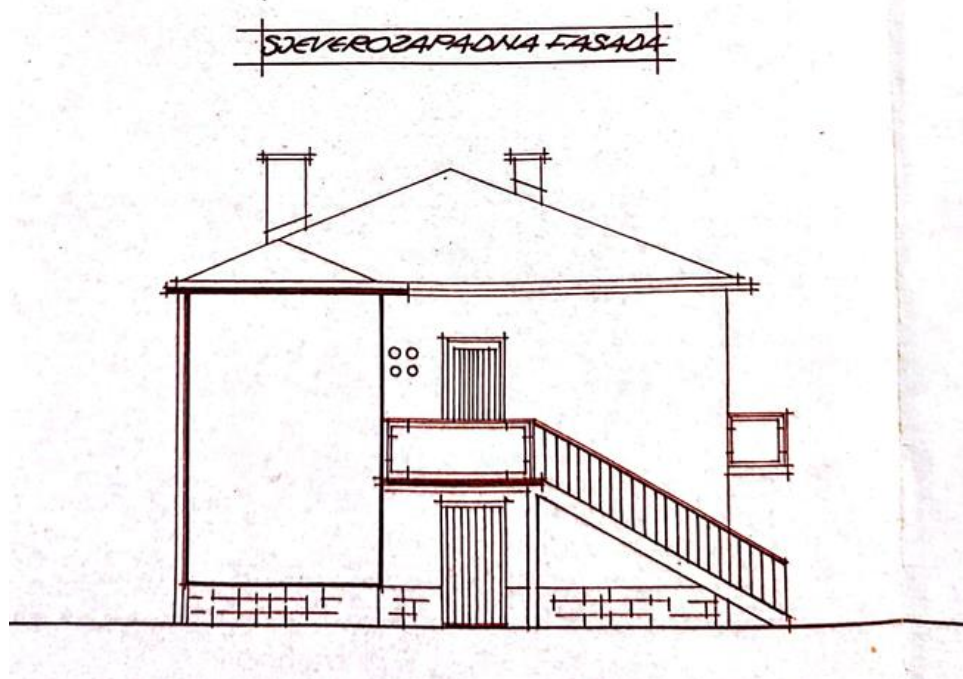
Slika 2.4. Jugozapadna fasada obiteljske kuće



Slika 2.5. Jugozapadna fasada obiteljske kuće



*Slika 2.6. Jugoistočna fasada*



*Slika 2.7. Sjeverozapadna fasada*

Danas postoje određena odstupanja od projekta i objekt ne izgleda u potpunosti kao na slikama iznad. Studija će biti provedena za stanje objekta u stvarnosti.



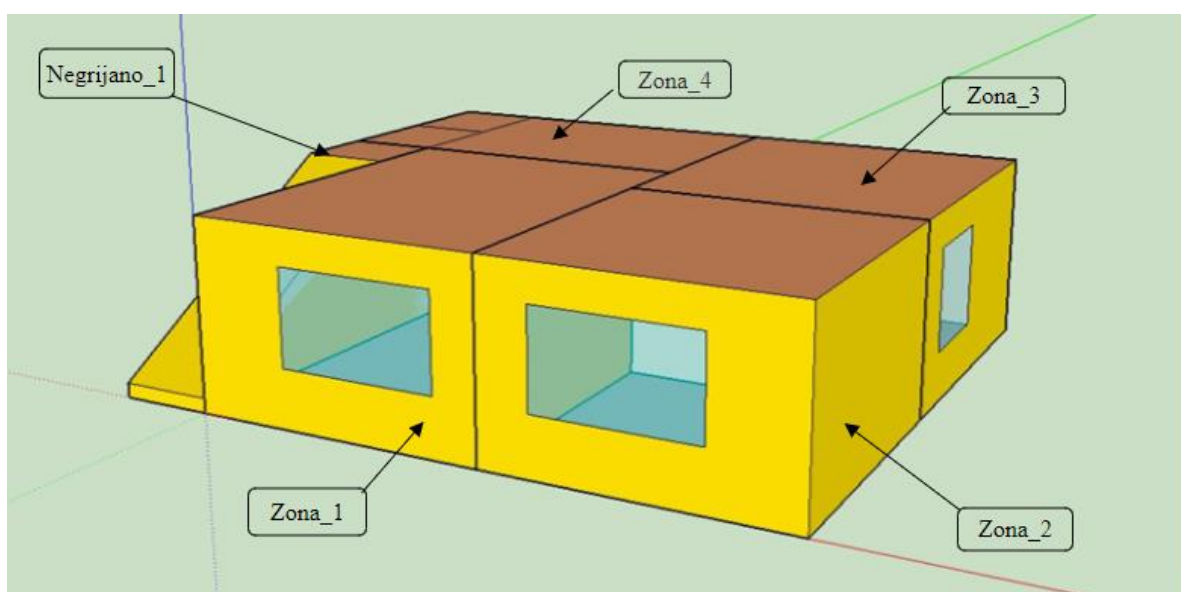
### 2.3. 3D Model

Za potrebe unosa geometrije objekta i podjele stvarnog prostora na toplinske zone korišten je softver SketchUp. SketchUp se koristi kao dodatak (plug-in) za TRNSYS. Korisnicima omogućuje vizualizaciju i stvaranje modela u prostoru.

Toplinski model sastoji se od toplinskih zona. Toplinske zone su volumeni zraka homogenog stanja. Zone se formiraju ovisno o arhitektonskim i funkcionalnim obilježjima stvarnih prostora. To može biti jedna prostorija, ali može biti i niz prostorija koje imaju jednake karakteristike. Pomoću toplinskih zona precizno se definiraju i prilagođavaju uvjeti grijanja, hlađenja i ventilacije.

U ovom slučaju, objekt je podijeljen na 13 toplinskih zona. Prizemlje je podijeljeno na pet toplinskih zona, kat na šest, a potkrovlje na dvije toplinske zone.

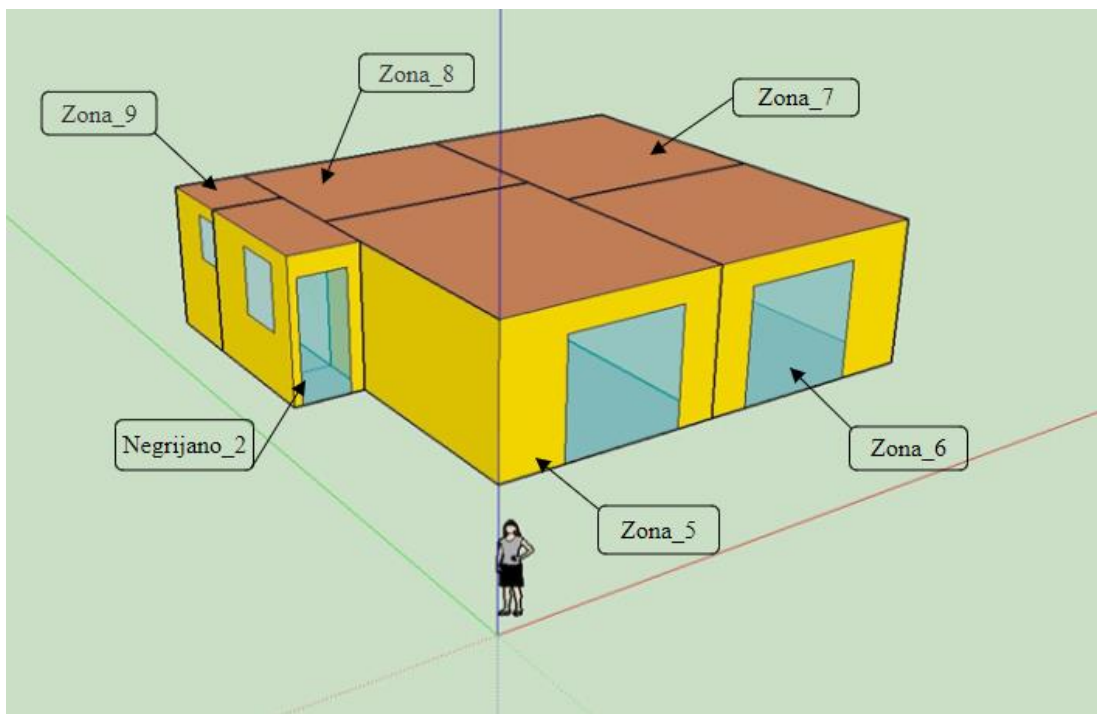
Izrada modela kreće od prizemlja. Dimenzije prostora utvrđene su u stvarnosti prije izrade modela. Gabaritne dimenzije kuće su također utvrđene mjerenjem i one iznose 9,50m u dužinu i 8,40m u širinu. Kako je gore navedeno, prizemlje je podijeljeno na pet toplinskih zona i one su sljedeće: Zona\_1, Zona\_2, Zona\_3, Zona\_4 i Negrijano\_1. Zona\_1 i Zona\_2 su spavaće sobe u stvarnosti, Zona\_3 predstavlja prostor dnevnog boravka i kuhinje, a Zona\_4 predstavlja prostor kupaone, hodnika i još jedne sobe. Negrijano\_1 predstavlja prostor verande i spremište ispod stepenica. Kako i samo ime naznačuje, Negrijano\_1 nije grijani prostor. Na slici 2.8. prikazan je model prizemlja u SketchUp-u.



*Slika 2.8. 3D model toplinskih zona prizemlja*

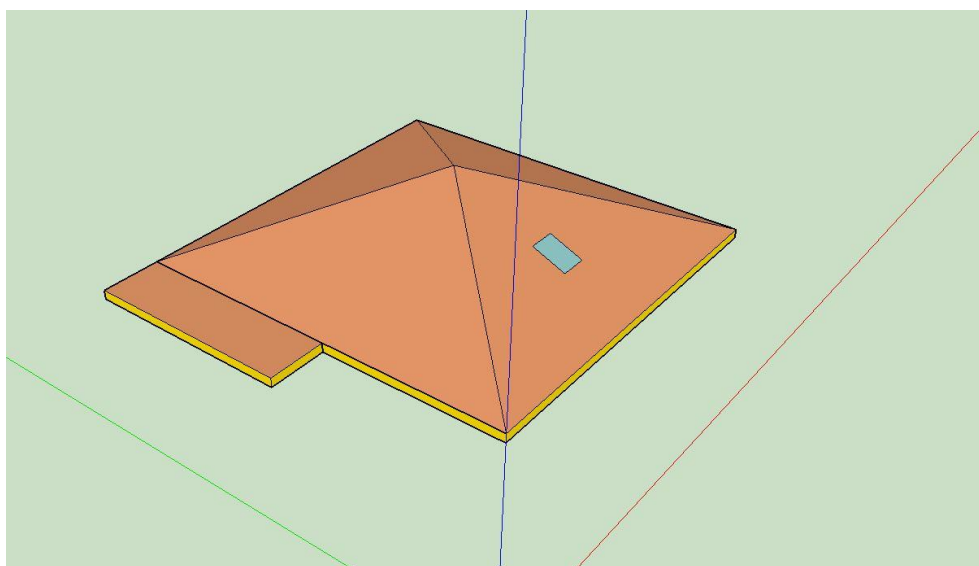
Prostor kata podijeljen je na šest toplinskih zona. Zone su sljedeće: Zona\_5, Zona\_6, Zona\_7, Zona\_8, Zona\_9 i Negrijano\_2. Zona\_5 predstavlja dnevni boravak, Zona\_6 i Zona\_7 su spavaće

sobe, Zona\_8 predstavlja prostor kuhinje, jednog dijela kupaone i hodnik, a Zona\_9 drugi dio kupaone. Kupaona je podijeljena na dva dijela zbog geometrijskih karakteristika prostora. Negrijano\_G, kao i na prizemlju, predstavlja prostor verande i spremišta koji se ne grije. Na slici 2.9. prikazan je model kata.



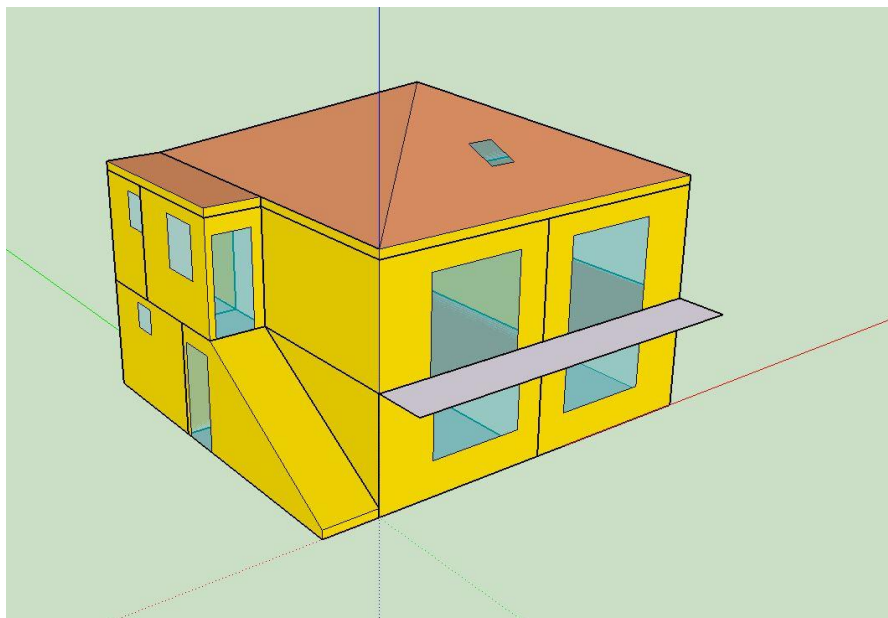
*Slika 2.9. 3D model toplinskih zona kata*

Prostor potkrovlja podijeljen je na dvije toplinske zone. Razlog su kao i u kupaoni na katu, geometrijska obilježja. Krov je izveden kao piramida na četiri strane i može se vidjeti na slici 2.10.



*Slika 2.10. 3D model krova i potkrovlja*

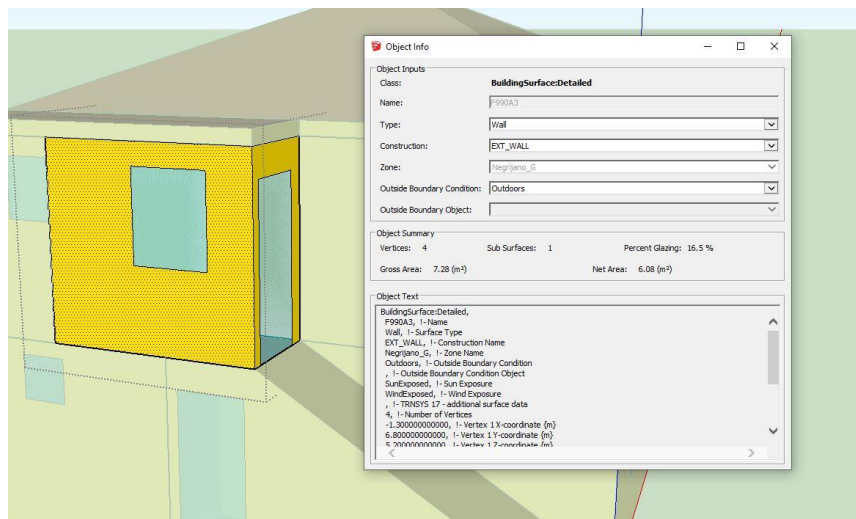
Posljednja stvar potrebna u modelu jesu zasjenjenja. Zasjenjenja igraju važnu ulogu u kontekstu toplinskih dobitaka Sunca i ukupne energetske učinkovitosti i zbog toga se ne smiju zanemariti. U ovom slučaju, jedino prisutno zasjenjenje je ono uzrokovano balkonom. Na slici 2.11. prikazan je kompletan 3D model.



*Slika 2.11. Prikaz potpunog 3D modela obiteljske kuće*

Kako bi rezultati bili ispravni, od ključne je važnosti ispravno definiranje graničnih površina između toplinskih zona. Granične površine uključuju vanjske zidove, pregradne zidove, podove, stropove i krov. Definiranje navedenih površina izvodi se korištenjem alata “Object info“ kroz niz parametara. Parametri su sljedeći: tip, konstrukcija, zona i vanjski granični uvjeti. Tip granične površine odnosi se na njenu funkciju. To može biti zid, strop pod ili krov. Konstrukcija podrazumijeva vrstu granične površine kojoj kasnije definiramo slojeve. Zona predstavlja toplinsku zonu u kojoj je granična površina sadržana. Vanjski granični uvjeti su sljedeći: zona, vanjska okolina i tlo. Ovim parametrom definira se stanje iza granične površine. Ako se odabere opcija „zona“ to znači da je iza granične površine druga toplinska zona. Odabirom opcije „vanjska okolina“ određuje se da je iza granične površine vanjski okoliš sa svojim atmosferskim stanjem. Opcija „tlo“ znači da je s druge strane granične površine tlo. Ovim parametrom definiraju se toplinski gubici prostora korištenjem temperaturnog stanja iza granične površine. Na slici 2.12. prikazan je primjer definiranog vanjskog zida jedne od toplinskih zona. Na identičan način se definiraju krov, pod i stropovi obiteljske kuće.



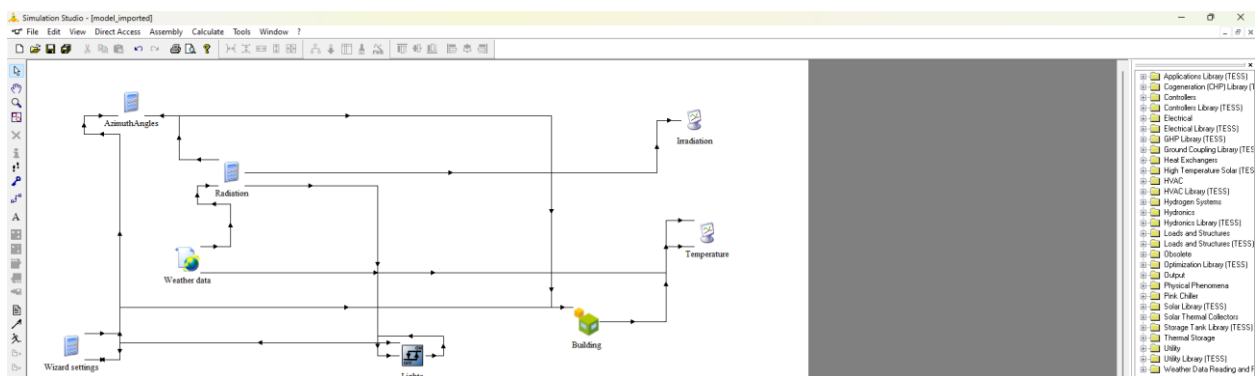


Slika 2.12. Prikaz alata "Object info" sa definiranim vanjskim zidom

## 2.4. Ugađanje modela, TRNBuild

Po završetku izrade 3D modela u SketchUp-u, započinje se s izradom simulacije u TRNSYS-ovom Simulation Studiju. Kada se izrađeni model učitava u Simulation Studio određuju se lokacija objekta i orijentacija odnosno azimut. Obiteljska kuća se nalazi u mjestu Škrljevo, u okolici Rijeke. Za meteorološke podatke odabiru se podaci s stanice Rijeka dok azimut iznosi  $40^\circ$ .

Ako je sve ispravno definirano, u Simulation Studiju otvara se jednostavna shema s nekoliko komponenti u kojoj se postavljaju potrebni elementi, definira se sustav i vrši proračun (slika 2.13.).

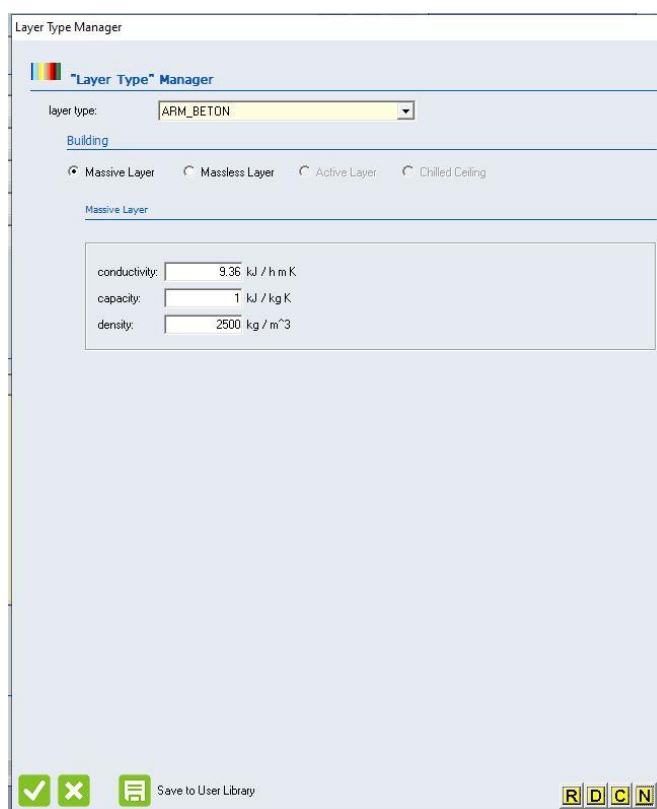


Slika 2.13. Prikaz sheme toplinskog modela u programu Simulation Studio

TRNBuild je dio TRNSYS softvera u kojem se detaljno definiraju sva svojstva toplinskog modela. Određuju se slojevi provodnih površina, koeficijenti prijelaza topline, režimi grijanja i hlađenja, toplinski dobici i gubici, provjetranje, izlazne i ulazne varijable objekta i drugo.

Slijedi definiranje provodnih površina i ono se vrši korištenjem funkcije „Wall type manager“. U ovom slučaju, provodne površine su “EXT\_WALL”, “ADJ\_WALL”, “GROUND\_FLOOR”, “ADJ\_CEILING“ i “EXT\_ROOF“. Navedeni površine su preimenovani u “VANJSKI\_ZID“, “PREGRADNI\_ZID“, “POD\_NA\_TLU“, “MK\_DG“ i “KROV“. Također su dodane još dvije vrste površina, “MK\_GP“ i “NEPOSTOJECI“. “MK\_DG“ i “MK\_GP“ predstavljaju međukatne konstrukcije, odnosno stropove u prizemlju i katu te podove na katu i potkrovlju. Razlika je u građi konstrukcija pa su zato i napravljena dva različita zida. “NEPOSTOJECI“ u biti uopće nije zid i predstavlja jedan sloj bez toplinske mase. Razlog njegovog korištenja je taj što je kupaona morala biti razdvojena na dvije toplinske zone zbog netipične geometrije. Kako bi se dobila čim preciznija slika, stvoren je ovaj zid kako bi se ta granica u modelu anulirala.

Prije izrade zidova u modelu potrebno je znati njihov sastav, odnosno sve slojeve zida. Kako bi se u modelu složio zid i dobile njegove karakteristike, potrebno je definirati svaki pojedini sloj zida. To se radi pomoću alata “Layer Type Manager“ što je prikazano na slici 2.14. Na navedenoj slici vidi se sloj pod nazivom “ARM\_BETON“ sa svojim fizikalnim svojstvima. [4]



Slika 2.14. Layer type manager

U nastavku su prikazane tablice sa sastavima zidova i stropova korištenih u modelu (2.1. do 2.6.). Podaci o svojstvima materijala uzeti su iz „Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama“; Narodne novine, 2015“ [3].

## VANJSKI ZID

Tablica 2.1. Debljina, gustoća, topl. vodljivost i spec. topl. kapacitet vanjskih zidova

R.b.	Materijal	d [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	c [J/kgK]
1	Vapneno-cementna žbuka	0.02	1800	1	1000
2	Opeka	0.250	900	0.42	900
3	Vapneno-cementna žbuka	0.02	1800	1	1000
4	Silikatna žbuka	0.005	1800	0.9	1000
5	Stiropor	0.08	12	0.032	1260
6	Polimerna žbuka	0.003	1100	0.7	1000
7	Silikatna žbuka	0.002	1800	0.9	1000

## PREGRADNI ZID

Tablica 2.2. Debljina, gustoća, topl. vodljivost i spec. topl. kapacitet pregradnih zidova

R.b.	Materijal	d [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	c [J/kgK]
1	Vapneno-cementna žbuka	0.02	1800	1	1000
2	Opeka	0.08	900	0.42	900
3	Vapneno-cementna žbuka	0.02	1800	1	1000

## POD NA TLU

Tablica 2.3. Debljina, gustoća, topl. vodljivost i spec. topl. kapacitet poda prizemlja

R.b.	Materijal	d [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	c [J/kgK]
1	Parket	0.03	700	0.19	1600
2	Beton	0.05	2200	1.65	1000
3	Bitumenska traka	0.008	1100	0.23	1000
4	Beton	0.08	2200	1.65	1000
5	Šljunak	0.150	1700	0.81	1000

## MK DG

Tablica 2.4. Debljina, gustoća, topl. vodljivost i spec. topl. kapacitet međukatne konstrukcije između prizemlja i kata

R.b.	Materijal	d [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	c [J/kgK]
1	Parket	0.03	700	0.19	1600
2	Armirani beton	0.05	2500	2.65	1000
3	Betonski blok	0.16	1400	0.9	1000
4	Vapneno-cementna žbuka	0.02	1800	1	1000

## MK GP

Tablica 2.5. Debljina, gustoća, topl. vodljivost i spec. topl. kapacitet međukatne konstrukcije između kata i potkrovlja

R.b.	Materijal	d [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	c [J/kgK]
1	Armirani beton	0.05	2200	1.65	1000
2	Staklena vuna	0.02	120	0.035	1030
3	Armirani beton	0.05	2200	1.65	1000
4	Betonski blok	0.16	1400	0.9	1000
5	Vapneno-cementna žbuka	0.02	1800	1	1000

## KROV

Tablica 2.6. Debljina, gustoća, topl. vodljivost i spec. topl. kapacitet krova

R.b.	Materijal	d [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	c [J/kgK]
1	Stiropor	0.08	12	0.032	1260
2	Drvene ploče	0.025	650	0.13	1700
3	Folija PE	0.001	1000	0.18	1250
4	Krovnja ljepenka	0.001	1100	0.23	1000
5	Crijep	0.02	2300	1.3	840

Idući korak je definiranje apsorpcijskih koeficijenata zračenja i koeficijente konvektivnog prijelaza topline za sve konstrukcijske elemente. Oni su prikazani u tablici 2.7.

*Tablica 2.7. Koeficijenti konvektivnog prijelaza topline i koeficijenti apsorpcije za konstruktivne elemente*

R.b.	Element	Apsorpcijski koeficijent sunčevog zračenja $\epsilon$		Koeficijent konvektivnog prijelaza topline $\alpha$ [W/m <sup>2</sup> K]	
		Unutra	Vani	Unutra	Vani
1	VANJSKI_ZID	0.25	0.3	3.06	17.78
2	PREGRADNI_ZID	0.4	0.4	3.06	3.06
3	POD_NA_TLU	0.4	0.6	3.06	0
4	MK_DG	0.4	0.25	3.06	3.06
5	MK_GP	0.4	0.3	3.06	17.78
6	KROV	0.6	0.4	3.06	17.78

Nakon što su određeni svi slojevi i koeficijenti prijelaza topline dolazi se do ukupnih koeficijenata provođenja topline. Koeficijenti provođenja topline prikazani su u tablici 2.8.

*Tablica 2.8. Koeficijenti provođenja topline konstrukcijskih elemenata*

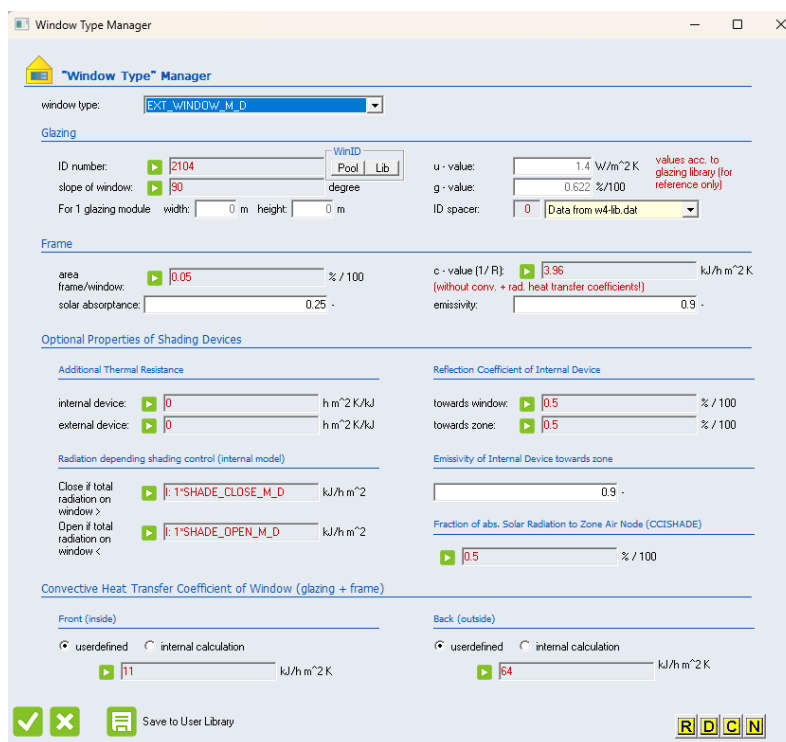
Konstrukcijski element	Koeficijent provođenja topline U [W/m <sup>2</sup> K]
VANJSKI_ZID	0.301
PREGRADNI_ZID	2.497
POD_NA_TLU	1.574
MK_DG	1.806
MK_GP	1.023
KROV	0.346

## 2.5. Odabir ostakljenih površina

Ostakljene površine se određuju korištenjem alata „Window type manager“. U ovom slučaju definiraju se dvije vrste ostakljenih površina. Jedna vrsta su prozori, a druga su ulazna vrata objekta. Za prozore je odabrano ostakljenje 2104. Radi se o dvoslojnom prozoru debljine stakala 4mm koji je ispunjen argonom.

Njegov koeficijent prolaska topline iznosi  $U = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ , a faktor propusnosti sunčeve energije je  $g = 0.622$ . Omjer okvira u odnosu na ostakljenu površinu prozora iznosi 5%.

Za vrata je također odabrano ostakljenje 2104. Sva svojstva su ista kao i kod prije navedenog prozora, jedina razlika je u omjeru okvira i ostakljene površine, a on sada iznosi 50%. Na slici 2.15. može se vidjeti odabir ostakljene površine u Window type manager-u. [4]



Slika 2.15. Window type manager

## 2.6. Zasjenjenje

Zasjenjenje koristimo kako bi regulirali dotok sunčeva zračenja u prostor. Razina propuštanja sunčeva zračenja ovisi o dobu godine. Zimi je dobitak od sunčevog zračenja poželjan i treba ga iskoristiti u svrhu grijanja. S druge strane, ljeti ga želimo smanjiti, kako bi smanjili energiju za hlađenje i pregrijavanje prostora. Shodno tome, zasjenjenje je ljeti aktivirano, a zimi isključeno. Njegovo korištenje počinje početkom svibnja i traje do kraja rujna. Zasjenjenje je podijeljeno na dva dijela, unutarnje i vanjsko zasjenjenje. Unutarnje zasjenjenje su zavjese, a vanjsko rolete. U programu je zasjenjenje regulirano automatskim sustavom i regulacija je sljedeća: zasjenjenje se pokreće kod intenziteta sunčeva zračenja većeg od  $140 \text{ W/ m}^2$ , a isključuje pri intenzitetu manjem od  $120 \text{ W/ m}^2$ . Faktor nepropusnosti zasjenjenja na sunčevo zračenje za vanjsko zasjenjenje iznosi 0,7 a za unutarnje 0,15 koje je konstantno aktivno. Faktor zasjenjenja opisuje udio zračenja koji se zaustavlja na zasjenjenju i ne predaje energiju prostoru. U stvarnosti ne postoji nikakav sustav samoupravljanja već se zasjenjenje regulira ljudskim djelovanjem. [4]

## 2.7. Infiltracija zraka

U kući ne postoji sustav ventilacije, pa je broj izmjena zraka uslijed prirodne ventilacije potrebno izračunati. Za zgrade bez mehaničke ventilacije kroz cijelo vrijeme korištenja mora vrijediti: [4]

$$n_{inf} + n_{req} = \max[n_{inf} + n_{req}; 0,5] [\text{h}^{-1}] \quad (2.1.)$$

te vrijedi:

$$n_{inf} = e_{wind} \cdot n_{50} [\text{h}^{-1}] \quad (2.2.)$$

gdje su:

- $n_{inf}$  – broj izmjena zraka uslijed infiltracije
- $n_{50}$  – broj izmjene zraka pri nametnutoj razlici tlaka od 50 Pa (tablica 2.9.)
- $e_{wind}$  – faktor zaštićenosti zgrade od vjetra (tablica 2.10.)
- $n_{req}$  – broj izmjena vanjskog zraka za sustave s konstantnim protokom zraka (bez regulacije protoka)

Tablica 2.9. Broj izmjena zraka pri nametnutoj razlici tlaka od 50 Pa

Kategorije za općenito određivanje zrakopropusnosti zgrade	Proračunske vrijednosti za $n_{50}$ [h <sup>-1</sup> ]
I	a) 2 ; b) 1
II	4
III	6
IV	10

Broj izmjena zraka pri nametnutoj razlici tlaka od 50 Pa ovisi o kategoriji zgrade. Obiteljska kuća spada pod II. kategoriju. II. kategorija odnosi se na zgrade, ili dijelove zgrada za koje se ne planiraju raditi testiranja zrakopropusnosti. Slijedi:

$$n_{50} = 4$$

Tablica 2.10. faktor zaštićenosti zgrade od utjecaja vjetra

Koeficijent $e_{wind}$ za klasu zaklonjenosti:	Izloženo više od jedne fasade	Izložena jedna fasada
Nezaklonjene: zgrade na otvorenom, visoke zgrade u gradskim centrima	0.1	0.03
Srednje zaklonjene: zgrade okružene drvećem ili drugim zgradama, predgrada	0.07	0.02
Jako zaklonjene: zgrade prosječnih visina u gradskim centrima, zgrade u šumama	0.04	0.01
<b>Koeficijent <math>f_{wind}</math></b>	15	20

S obzirom da je obiteljska kuća okružena drvećem, i izložena s više od jednom fasadom, faktor zaštićenosti iznosi:

$$e_{wind} = 0.07$$

Uvrštavanjem u formulu (2.2.) dobiva se sljedeće:

$$n_{inf} = e_{wind} \cdot n_{50} = 0.07 \cdot 4 = 0.28$$

S obzirom da ne postoji sustav mehaničke ventilacije, usvaja se vrijednost  $n_{req} = 0.5$  [h<sup>-1</sup>]. Slijedi ukupni broj izmjena zraka uslijed prirodne ventilacije:

$$n_{inf} + n_{req} = \max[n_{inf} + n_{req}; 0.5] = \max[0.28 + 0.5; 0.5] = 0.78 \text{ [h}^{-1}\text{]} \quad [4]$$



## **2.8. Grijanje i hlađenje**

Grijanje je uključeno većim dijelom godine, kada temperature u prostorijama same ne mogu ostati na 20°C ili više. Grijanje djeluje u 9 toplinskih zona, 4 u prizemlju i 5 na katu. U ovoj fazi simulacije postavlja se idealno grijanje kako bi dobili potrebnu godišnju energiju za grijanje. Također, ogrjevna tijela su neograničene površine i neograničena učinka. Sezonski režim rada je od kraja rujna do početka svibnja i grijanje je kontinuirano

U kući ne postoji sustav za hlađenje prostora. Rashlađivanje se odvija stvaranjem propuha po potrebi. [4]

## **2.9. Toplinski dobici**

Toplinski dobici odnose se na odavanje topline ljudi u prostoru, rasvjete, raznih uređaja itd. Oni se mogu zasebno odrediti, ali kako bi pojednostavili postupak, mogu se usvojiti normirani toplinski dobici za obiteljsku kuću, a oni iznose 5 W/ m<sup>2</sup>. Navedena vrijednost usvojena je prema normi HRN EN 13790. [5]

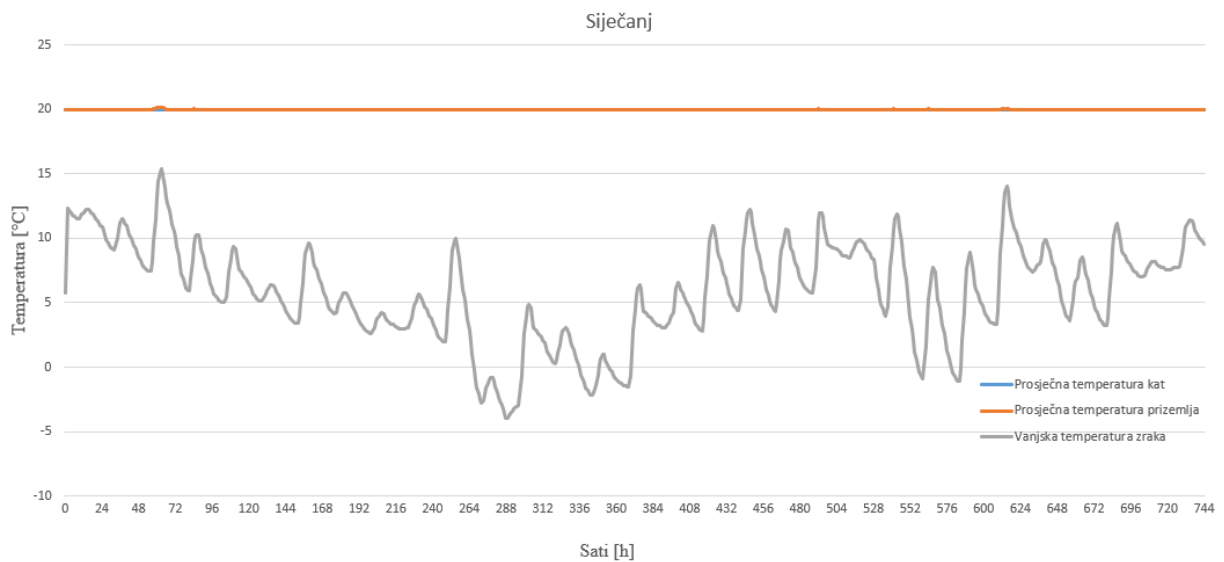
### 3. REZULTATI OSNOVNE SIMULACIJE

Osnovna simulacija provodi se s postavkama navedenim u prijašnjem poglavlju. Simulirano vrijeme iznosi godinu dana. Korisne energije potrebne za grijanje toplinskih zona prikazane su u tablici 3.1.

Tablica 3.1 Korisne energije za grijanje toplinskih zona

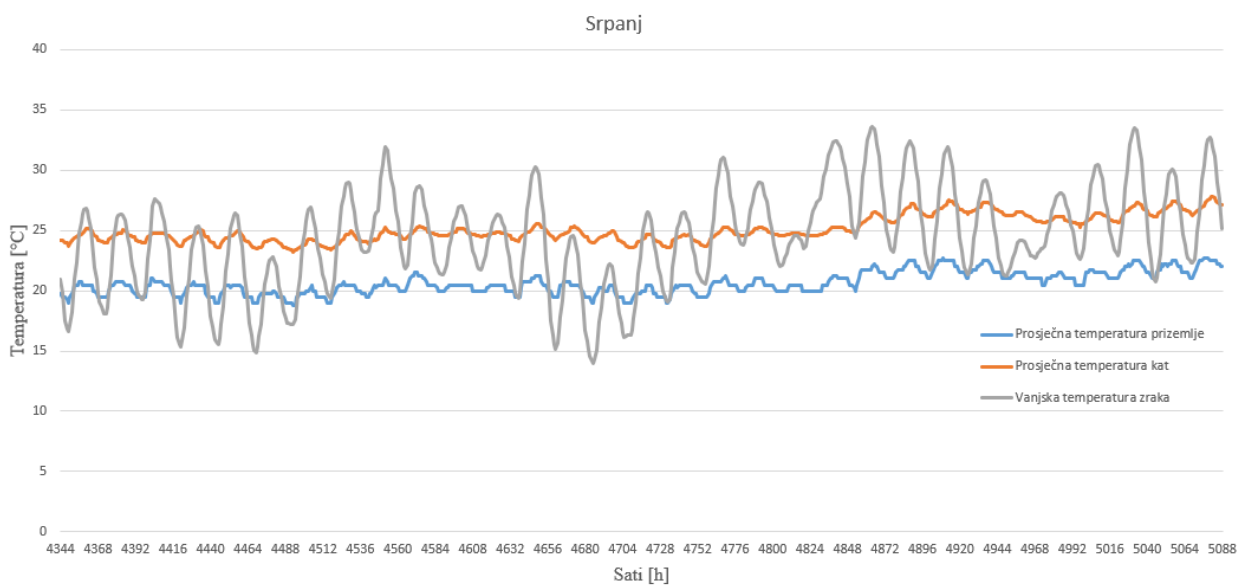
Korisna energija za grijanje [kWh]													
	Mjesec	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Zone	Zona_1	470	421	406	313	3	0	0	0	3	309	385	467
	Zona_2	338	301	288	221	3	0	0	0	3	215	274	335
	Zona_3	350	304	269	179	0	0	0	0	1	197	282	354
	Zona_4	381	339	315	224	1	0	0	0	2	245	309	380
	Zona_5	359	300	228	97	0	0	0	0	1	89	223	347
	Zona_6	269	227	179	85	0	0	0	0	1	73	171	260
	Zona_7	250	212	157	66	0	0	0	0	1	62	160	249
	Zona_8	205	175	134	52	0	0	0	0	0	61	133	199
	Zona_9	53	44	31	10	0	0	0	0	0	13	33	52
	Ukupno:	2704	2356	2047	1291	12	0	0	0	10	1307	1995	2670
	$\Sigma$	14145											

Kako bi se pokazalo da je grijanje na potrebnoj razini, potrebno je pratiti temperature prostorija. Na slici 3.1. prikazane su temperature toplinskih zona za najhladniji mjesec u godini, siječanj. Prikazane su prosječne temperature po etažama objekta.



Slika 3.1. Prosječna temperatura po etažama obiteljske kuće - siječanj

Sa slike se može vidjeti kako je temperatura konstantno na 20°C. Također, na slici 3.2. prikazane su temperature prostora za najtopliji period godine, ljeto. Promatrani period odnosi se na mjesec srpanj, a temperature su prikazane na slici 3.2.



Slika 3.2. Prosječna temperatura po etažama obiteljske kuće – srpanj

Može se primijetiti kako su temperature prizemlja na nešto nižoj razini u odnosu na temperature kata. To je iz razloga što je kat bolje osunčan te ima veće dobitke sunčevog zračenja. Temperature su unutar granica za ugodan boravak i zbog toga nije razmatrana opcija sa hlađenjem prostora.

Nakon dobivenih rezultata o korisnoj energiji, moguće je odrediti finalnu utrošenu energiju kotla na loživo ulje pomoću sljedećeg izraza (3.1.)

$$E_{fin,gr} = \frac{E_{kor}}{\eta_{sust}} \quad (3.1.)$$

gdje su:

$E_{fin,gr}$  – finalna energija za grijanje [kWh]

$E_{kor}$  – korisna energija iz simulacije [kWh]

$\eta_{sust}$  – učinkovitost postojećeg sustava ( $\eta_{sust} = 0.80$ )

$$E_{fin,gr} = \frac{E_{kor}}{\eta_{sust}} = \frac{14145}{0.8} = 17681 \text{ kWh}$$

Potrošnja lož ulja izračuna se po jednostavnom izrazu:

$$B = \frac{E_{fin,gr}}{H_d} \cdot 3600 \quad (3.2.)$$

gdje je:

$H_d$  – donja ogrjevna moć lož ulja (45000kJ/kg)

$$B = \frac{E_{fin,gr}}{H_d} \cdot 3600 = \frac{17681}{45000} \cdot 3600 = 1415 \text{ kg}$$

### 3.1. Faktor oblika

Oblik zgrade vrlo je važan jer o njemu ovisi potrošnja energije, ali i konstrukcijski, energetska i termotehnički zahtjevi. U svrhu opisivanja oblika zgrade, definiran je faktor oblika zgrade  $f_0$  što je u biti omjer vanjskog oplošja grijanog dijela zgrade  $A_0$  [m<sup>2</sup>] i volumena grijanog dijela zgrade  $V_g$  [m<sup>3</sup>].

$$f_0 = \frac{A_0}{V_g} [\text{m}^{-1}] \quad (3.3.)$$

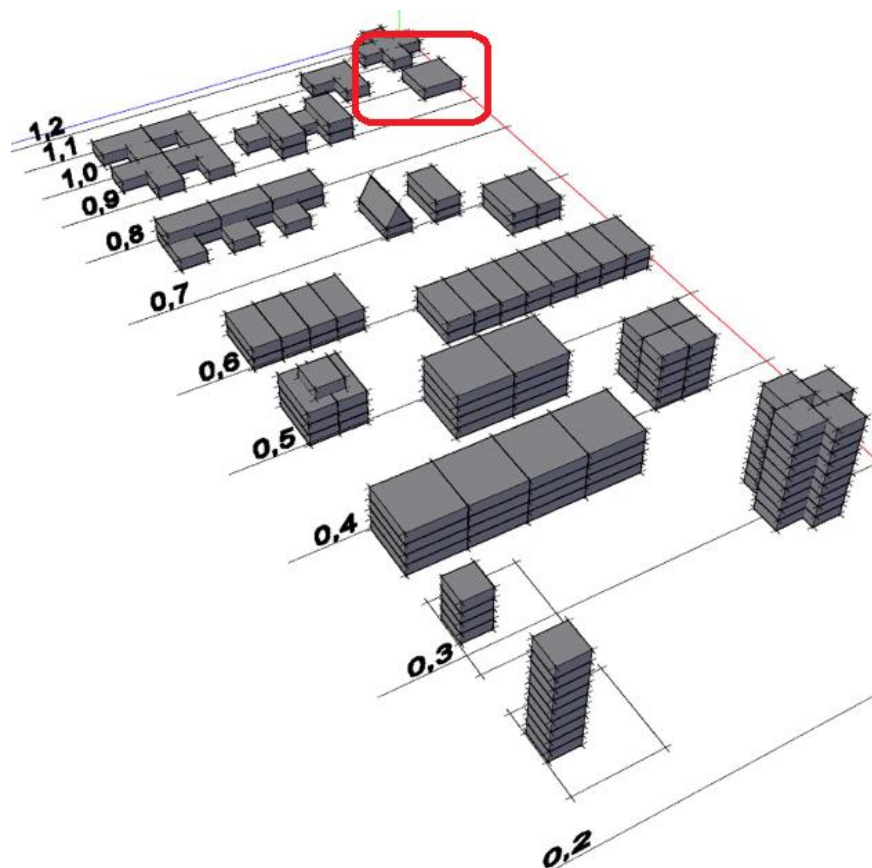
Iz ovog omjera možemo zaključiti da zgrade s većim oplošjem imaju veći faktor oblika što rezultira većom potrošnjom energije, ali i transmisijским gubicima topline. Dakle, sa manjim faktorom oblika energetska učinkovitost zgrade će biti veća.

Poznate podatke o toplini možemo usporediti sa dopuštenim vrijednostima iz tablica 8 i 9 Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama [3]. Grijani dio obiteljske kuće čini 9 toplinskih zona ukupne korisne površine  $A_k = 138,7 \text{ m}^2$ . Kada korisnu površinu pomnožimo s visinom, koja je u cijeloj obiteljskoj kući  $h = 2.70\text{m}$ , dolazimo do volumena grijanog dijela  $V_g = 374.4 \text{ m}^3$ . Oplošje grijanog dijela obiteljske kuće izračunato je zbrajanjem

graničnih površina iz 3D modela u programu SketchUp i ono iznosi  $A_0 = 332.2 \text{ m}^2$ . Sada prema formuli (3.3) možemo izračunati faktor oblika obiteljske kuće.

$$f_0 = \frac{A_0}{V_g} = \frac{332.2}{374.4} = 0.887 \text{ m}^{-1}$$

Usporedbom izračunate vrijednosti s približnim faktorima za različite tipologije izgradnje, vidimo da se faktor oblika skoro poklapa sa samostojećom zgradom (slika 3.3.).



Slika 3.3. Približni faktori oblika za različite zgrade

Izraz za najveću dopuštenu potrebu za toplinom očitava se za obiteljsku kuću u primorskoj Hrvatskoj. Srednja temperatura najhladnijeg mjeseca u godini je  $\theta_{mm} \geq 3 \text{ °C}$  te vrijedi:

Najveća dopuštena vrijednost za specifičnu korisnu energiju  $Q''_{H,nd}$  kod postojeće zgrade ( $0.20 \leq f_0 \leq 1.05$ ):

$$Q''_{H,nd} = 19.24 + 38.82 \cdot f_0 \text{ [kWh/m}^2\text{]} \quad (3.4.)$$

$$Q''_{H,nd} = 19.24 + 38.82 \cdot 0.887 = 53.7 \text{ kWh/m}^2$$

Specifična energija za postojeći slučaj može se odrediti dijeljenjem ukupne energije sa korisnom površinom po formuli:

$$Q_{spec} = \frac{E_{fin,gr}}{A_0} = \frac{17990}{332.2} = 54.15 \text{ kWh/m}^2 \quad (3.5.)$$

Dakle, postojeća obiteljska kuća izlazi malo van okvira o dopuštenoj specifičnoj korisnoj energiji.

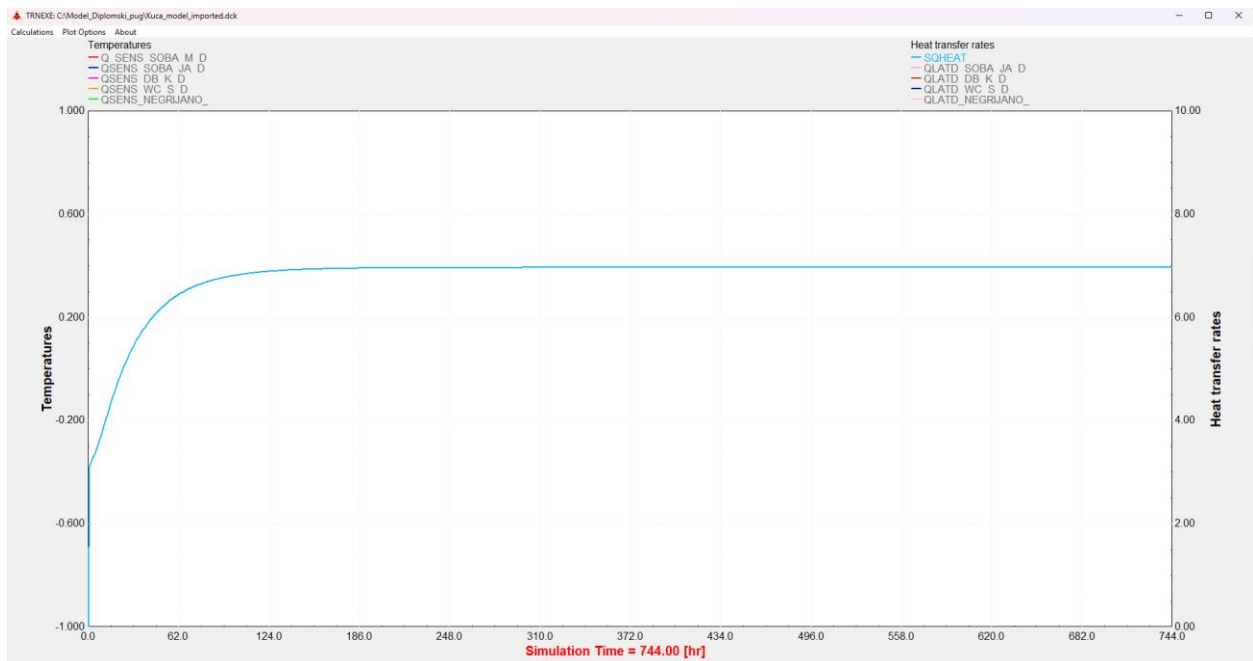
### 3.2. Projektni učinci grijanja i hlađenja

Kako bi bilo moguće odabrati odgovarajuću opremu, potrebno je odrediti specifične toplinske učinke. Oni se određuju prema HRN EN 12831 za grijanje, odnosno VDI 2078 za hlađenje. Potrebne uvjete za dobivanje učinaka simulirati ćemo u Simulation studiju.

Prema normi HRN EN 12831, uvjeti koje treba zadovoljiti su sljedeći:

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

Vanjska projektna temperatura zraka za Rijeku iznosi  $-7.7^{\circ}\text{C}$ . Simulacija se provodi za period najhladnijeg mjeseca u godini, siječnja, u trajanju od 0 do 744h. Iz simulacije se dobiva projektni učinak za grijanje  $Q_{proj,gr} = 6.98 \text{ kW}$  (slika 3.4.).



Slika 3.4. Projektni učinak grijanja za najhladniji mjesec (siječanj)

Učinci po zonama su sljedeći:

Tablica 3.2. Raspodjela projektnog učinka grijanja po zonama

Zona	M_D	JA_D	DB_K_D	WC_S_D	DB_G	M_G	R_G	K_K_G	WC_G
Učinak [kW]	1.02	0.76	0.85	0.84	1.11	0.83	0.81	0.6	0.16
Ukupno [kW]	6.98								

Iako se u ovom radu neće razmatrati hlađenje, odrediti će se projektni učinak za potrebe buduće implementacije sustava hlađenja. Za određivanje projektnog učinka hlađenja potrebni su sljedeći uvjeti:

- Konstantna temperatura i relativna vlažnost vanjskog zraka (projektni uvjeti)
- Sunčevo zračenje je uključeno i periodički se ponavlja najtopliji dan u godini (simulacija se provodi u periodu ljeta)
- Unutarnji dobici su prisutni
- Toplinske zone se hlade i razvlažuju na projektne uvjete prostora bez prekida

Projektni uvjeti prostora koji se hladi su sljedeći: kontinuirano održavanje temperature od 24°C i vlažnosti zraka od 50%.

Identično kao i kod grijanja, za vanjsku projektну temperaturu odabire se podatak za Rijeku, a ona iznosi 31.8°C. Također, treba uzeti u obzir i projektну relativnu vlažnost zraka. Ona iznosi 97%. Period simulacije postavlja se za ljeto, pa se simulacija odvija od 3500 do 6500 sati.

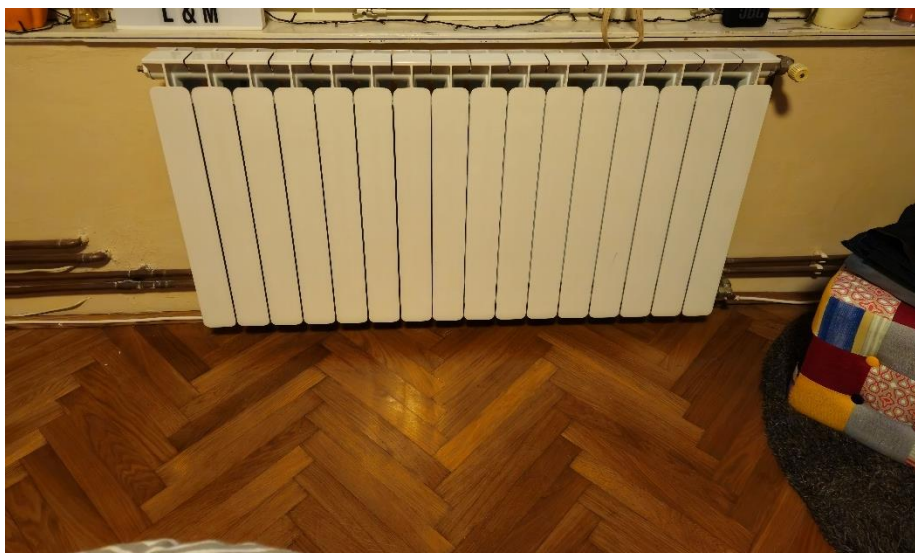
Projektни učinak hlađenja je zbroj maksimalnih istovremenih osjetnih i latentnih učinaka svih toplinskih zona. Najveća izmjerena vrijednost dogodi se u 4107. satu. Projektни učinak iznosi  $Q_{proj,hl} = 5.71$  kW.



## 4. POSTOJEĆI SUSTAV GRIJANJA

### 4.1. Sustav centralnog grijanja

Postojeći sustav sastoji se od kotla loženog lož uljem i radijatora koji odaju toplinu. Potrošna topla voda (PTV) priprema se električnim bojlerom i nije u krugu centralnog grijanja. Radijatori su od proizvođača Lipovica, tip Solar 600/80 (slika 4.1.).



*Slika 4.1. Radijator unutar obiteljske kuće*

Svojstva jednog članka navedenog radijatora prikazanu su u tablici 4.1. [6]

*Tablica 4.1. Svojstva radijatorskog članka Lipovica Solar 600/80 [6]*

Visina članka [mm]	676
Priključna mjera [mm]	600
Širina članka [mm]	80
Ugradbena dubina [mm]	80
Ogrjevnost površina [m <sup>2</sup> ]	0.49
Volumen vode u članku [l]	0.38
Masa članka [kg]	1.44

Raspored radijatorskih članaka po kući prikazan je u tablici 4.2.

Tablica 4.2. Broj radijatorskih članaka po toplinskim zonama

Toplinska zona	Broj članaka
M_D	20
JA_D	16
DB_K_D	18
WC_S_D	20
DB_G	20
M_G	18
R_G	15
K_K_G	16
WC_G	8

Temperaturni režim sustava je 80/60/20°C. Temperatura vode na ulazu u radijator je 80°C, na izlazu 60 °C, a temperatura grijanog prostora 20°C. Za navedeni temperaturni režim, iz kataloga proizvođača, može se očitati učinak članka i on iznosi 138W.

Trenutni instalirani učinci po zonama prikazani su u tablici tablica 4.3.

Tablica 4.3. Trenutni instalirani učinci grijanja po zonama

Zona	Trenutni učinak grijanja [W]
M_D	2760
JA_D	2208
DB_K_D	2484
WC_S_D	2760
DB_G	2760
M_G	2484
R_G	2070
K_K_G	2208
WC_G	1104
Ukupno:	20838

Dobiveni trenutni učinci koristiti će se u simulaciji potrošnje energije.

Proizvođač toplinske energije je kotao na lož ulje proizvođača Riello, tip Tregi 5 (slika 4.2.). Kotao se koristi samo za potrebe grijanja prostorija, dok se potrošna topla voda priprema električnim bojlerom proizvođača Ariston, tip Lydos R 80. Rad kotla regulira se s dva termostata postavljena na svakoj etaži. I na prizemlju i na katu termostat se nalazi u dnevnom boravku te prati temperaturu prostora i ovisno o njoj pokreće kotao. Dodatno tome, svaki radijator ima manualni termostatski ventil koji omogućava dodatnu regulaciju prigušenjem protoka. Smanjenjem protoka tople vode kroz radijator, smanjuje se njegova predana toplinska energija i samim tim se prostor manje grije. Treba napomenuti kako su ventili radijatora dobrim dijelom pritivoreni ili čak zatvoreni u nekim prostorijama kako bi se smanjilo pregrijavanje prostora.



*Slika 4.2. Kotao Riello Tregi 5*

Karakteristike kotla mogu se vidjeti u tablici 4.4.

*Tablica 4.4. Karakteristike kotla Riello Tregi 5 [7]*

Nominalni učinak	Minimalni	36	kW
	Maksimalni	44.3	kW
Korisni učinak	Minimalni	33	kW
	Maksimalni	40.2	kW
Stupanj korisnosti	Maksimalni	91.7	%
	Minimalni	90.7	%
Tlak u ložištu	Maksimalni	0.17	mbar
	Minimalni	0.26	mbar
Volumen ložišta		28	dm <sup>3</sup>
Površina izmjenjivača topline		1.67	m <sup>2</sup>
Maksimalni radni tlak		4	bar
Temperatura uključanja sigurnosnog ventila		110	°C
Volumen vode		20.7	l

## 4.2. Potrošna topla voda

Potrebno je provesti i simulaciju PTV-a kako bi znali dimenzionirati nove uređaje u daljnjim simulacijama. S obzirom da se objekti razlikuju po veličini i namjeni, potrebno je provesti proračun da se utvrdi potrošnja vode u ovoj obiteljskoj kući. Za to se upotrebljuju dva izraza:

$$Q_W = \frac{Q_{W,A,a}}{365} \cdot A_k \text{ [kWh]} \quad (4.1.)$$

$$V_W = \frac{3.6 \cdot Q_W}{c_w \cdot (\vartheta_{out} - \vartheta_{in})} \text{ [kWh]} \quad (4.2.)$$

gdje su:

- $Q_W$  – toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a u promatranom periodu [kWh]
- $Q_{W,A,a}$  – specifična toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a [kWh/m<sup>2</sup>a]
  - o  $Q_{W,A,a} = 12.5$  kWh/m<sup>2</sup>a za zgrade do 3 stambene jedinice
  - o  $Q_{W,A,a} = 16$  kWh/m<sup>2</sup>a za zgrade s više od 3 stambene jedinice
- $A_k$  – korisna površina zgrade [m<sup>2</sup>]
- $c_w$  – specifični toplinski kapacitet vode [kJ/kgK]
- $V_W$  – dnevna potrošnja vode [m<sup>3</sup>]
- $\vartheta_{out}$  – izlazna temperatura vode iz kotla PTV-a [°C]
- $\vartheta_{in}$  – ulazna temperatura vode u kotao PTV-a [°C]

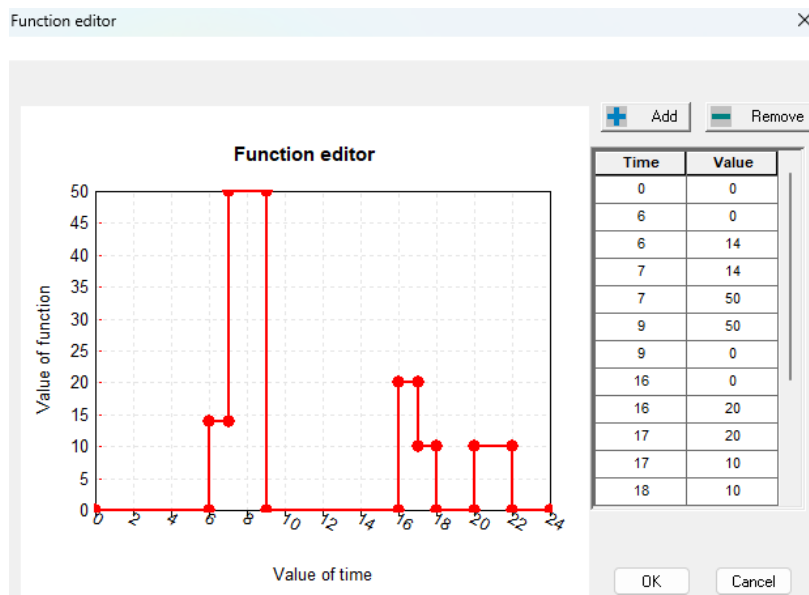
Korisna površina obiteljske kuće iznosi  $A_k = 147.64$  m<sup>2</sup>, specifična toplinska energija uzima se  $Q_{W,A,a} = 12.5$  kWh/m<sup>2</sup> s obzirom da se radi o dvije stambene jedinice. Ulazna temperatura vode u kotao PTV-a je  $\vartheta_{in} = 13.5$ °C, iz vodovodne cijevi, a temperatura vode na izlazu je  $\vartheta_{out} = 40$ °C.

Uvrštavanjem u poznate jednadžbe dobivamo rezultate:

$$Q_W = \frac{Q_{W,A,a}}{365} \cdot A_k = \frac{12.5}{365} \cdot 147.65 = 5,06 \text{ kWh}$$

$$V_W = \frac{3.6 \cdot Q_W}{c_w \cdot (\vartheta_{out} - \vartheta_{in})} = \frac{3.6 \cdot 5.06}{4.187 \cdot (40 - 13.5)} = 164.06 \text{ l/dan}$$

S dobivenom količinom dnevno potrošene tople vode možemo odrediti dinamiku trošenja. Ona se kreira prema potrošnji ukućana (slika 4.3.).



*Slika 4.3. Dinamika potrošnje tople vode*

U obiteljskoj kući PTV se priprema korištenjem električnog bojlera proizvođača Ariston, tip Lydos R 80 (slika 4.4.). Bojler se nalazi na katu, dok na prizemlju nema pripreme PTV-a.



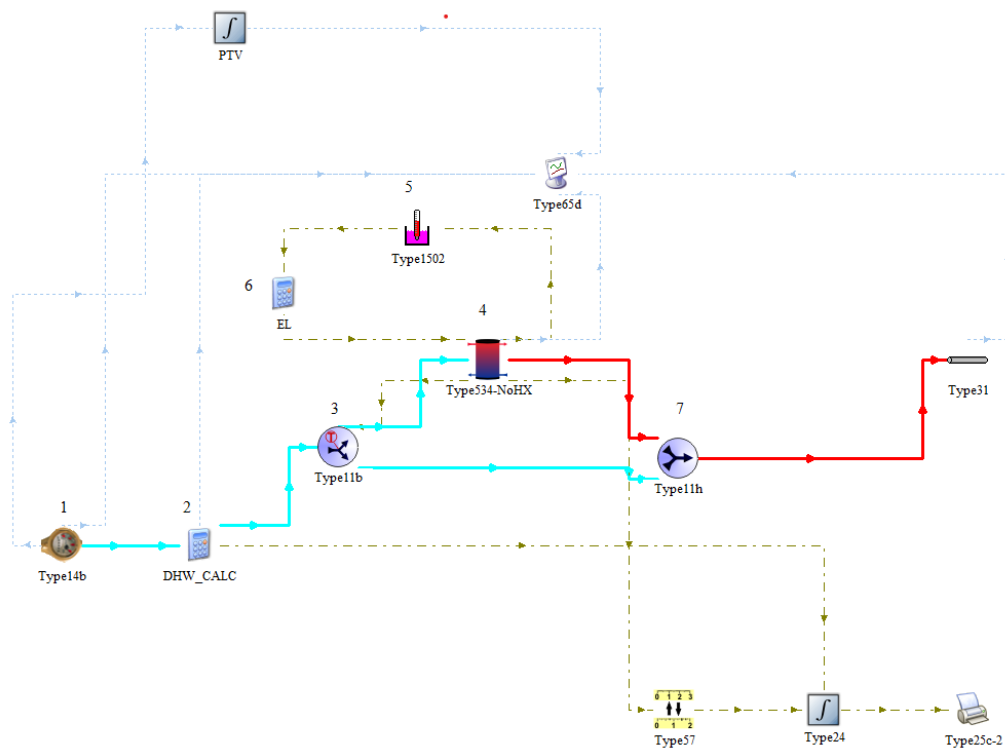
*Slika 4.4. Bojler Ariston Lydos R 80*

Prikaz karakteristika bojlera Ariston Lydos R 80 nalaze se u tablici 4.5.

Tablica 4.5. Karakteristike bojlera Ariston Lydos R 80 [8]

Nazivni kapacitet	80	L
Snaga	2	kW
Napon	230	V
Vrijeme zagrijavanja ( $\Delta T=45^{\circ}\text{C}$ )	1.58	h, min
Maksimalna radna temperatura	75	$^{\circ}\text{C}$
Toplinski gubici pri $65^{\circ}\text{C}$	1.35	kWh/24h
Maksimalni radni tlak	8	bar
Masa	20.5	kg

Kada su svi podaci definirani, slaže se i izvodi simulacija. Prikaz simulacije nalazi se na slici 4.5.



Slika 4.5. Shema trenutnog sustava PTV-a

Komponente na slici su sljedeće:

- 1 – Dinamika potrošnje tople vode
- 2 – Kalkulator koji pretvara ulazni podatak o dinamici potrošnje te zadaje ulaznu temperaturu
- 3 - Temperirajući ventil, ovisno o temperaturi u bojleru, dio hladne vode šalje direktno na miješajući ventil
- 4 – Bojler
- 5 – Termostat bojlera
- 6 – Kalkulator u ulozu električnog grijača, pokretan termostatom
- 7 – Miješajući ventil

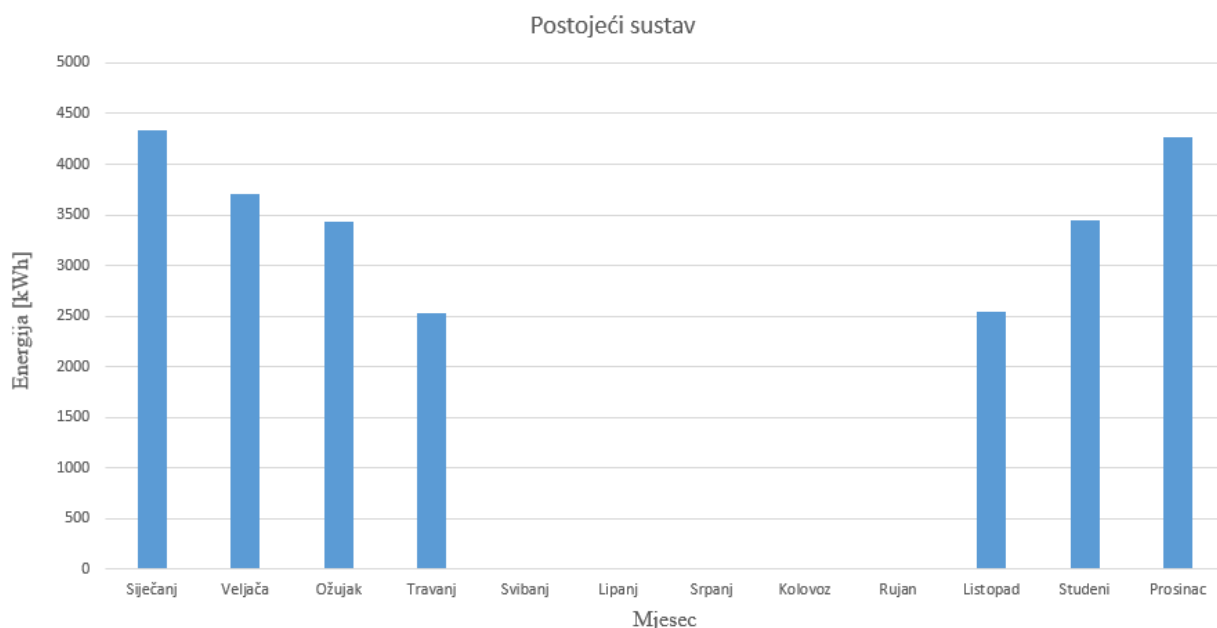
Kao rezultat simulacije dobivena je godišnja energija potrebna za pripremu PTV-a i ona iznosi  $Q_{PTV} = 2226.7$  kWh. Ova energija ravnomjerno je raspoređena svakodnevno kroz cijelu godinu i ne ovisi o godišnjem dobu, režimu grijanja ni slično. U nastavku će se sustav unaprijediti povećanjem spremnika i implementiranjem sunčanih toplinskih kolektora.



### 4.3. Rezultati simulacije postojećeg stanja

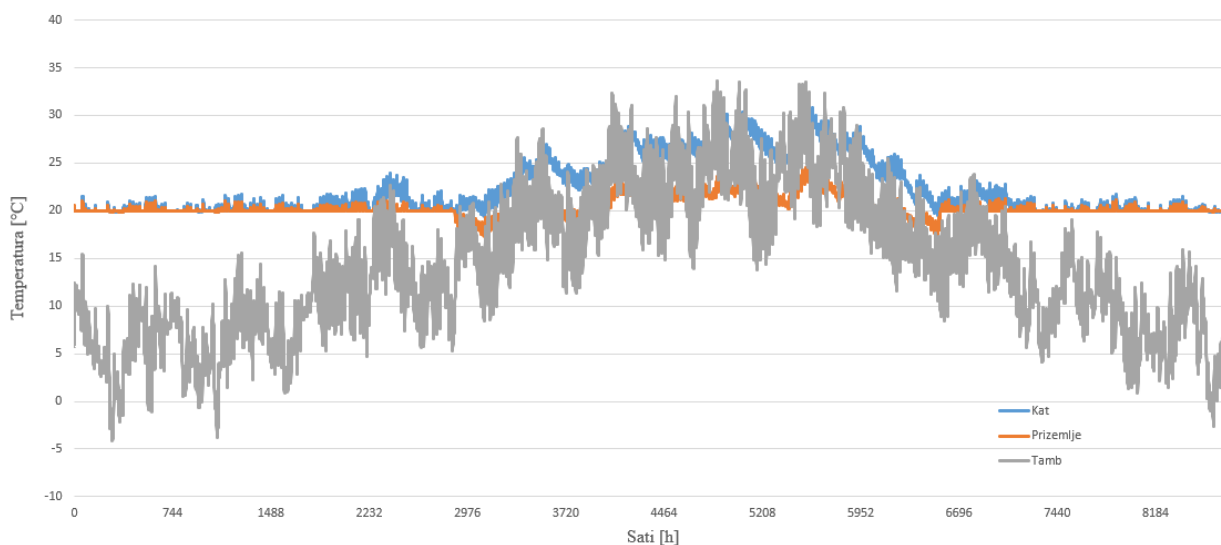
Nakon obavljene godišnje simulacije dobiveni rezultati su sljedeći. Oni se odnose samo na grijanje s obzirom da hlađenje nije razmatrano, a PTV je zasebno grijan električnim bojlerom. Grijanje je uspostavljeno u svim toplinskim zonama, na katu i prizemlju.

Finalna energija kotla je  $Q_k = 24232$  kWh. Mjesečna raspodjela prikazana je u dijagramu na slici 4.6.



Slika 4.6. Dijagram raspodjele finalne energije kotla

Na slici 4.7. prikazane su prosječne temperature po etažama objekta.



Slika 4.7. Kretanje temperature prostora po etažama

Na prijašnjoj slici vidi se kako grijanje funkcionira ispravno. Temperatura prostora održava se konstantno na 20°C uz povremena manja pregrijavanja.

Iz finalne energije kotla možemo izračunati potrošnju goriva prema izrazu 3.2.

$$B = \frac{Q_k}{H_d \cdot \eta_k} \cdot 3600$$

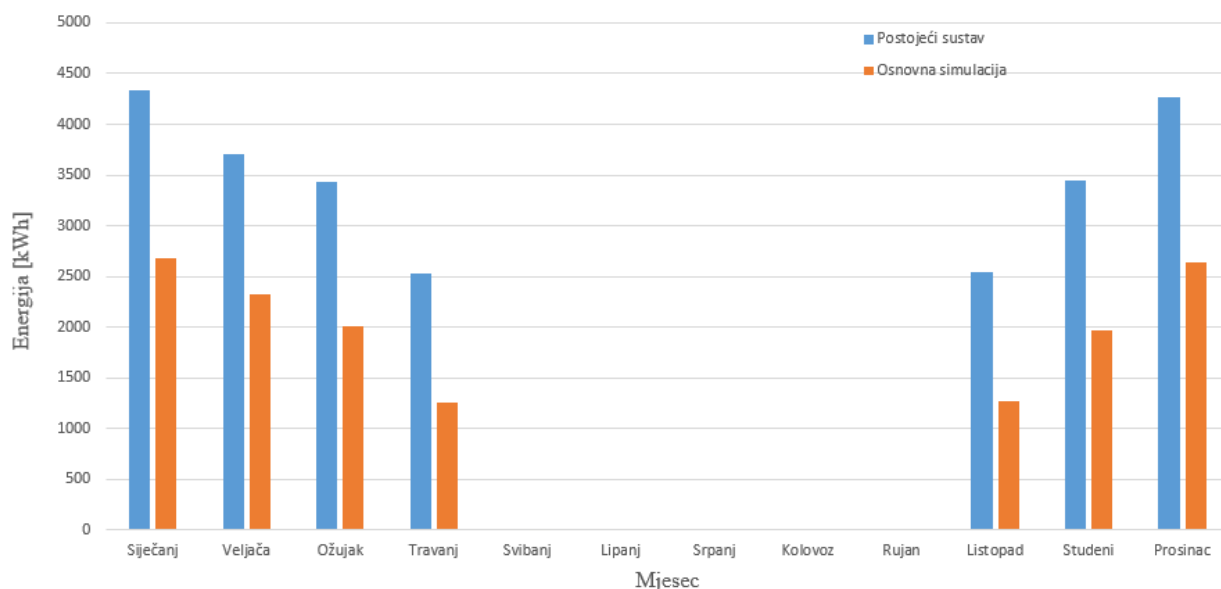
gdje je:

$H_d$  – donja ogrjevna moć lož ulja (45000kJ/kg)

$\eta_k$  – stupanj djelovanja kotla (91.2%)

$$B = \frac{Q_k}{H_d \cdot \eta_k} \cdot 3600 = \frac{24232}{45000 \cdot 0.912} \cdot 3600 = 2125 \text{ kg}$$

Možemo primijetiti kako se finalne energije iz simulacije postojećeg stanja i osnovne simulacije s idealnim grijanjem dosta razlikuju. To je uzrokovano gubicima na cjevovodima, radijatorima i samom kotlu. Također, osnovna simulacija podrazumijeva idealno grijanje sa savršenim temperaturnim režimom dok u postojećem stanju to nije slučaj. Iz prije navedenih instaliranih učinaka po toplinskim zonama (Tablica 4.3.) vidljivo je da je temperaturni režim 80/60 prevelik. To je najveći razlog zbog čega je prisutna ovakva razlika u rezultatima simulacije. Spomenuta usporedba prikazana je dijagramom na slici 4.8.



Slika 4.8. Usporedba finalne energije kotla osnovne simulacije i simulacije postojećeg stanja

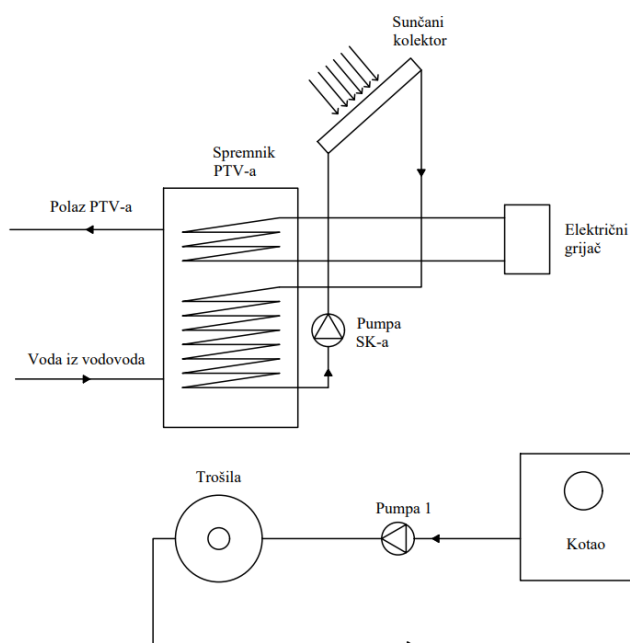
## 5. POBOLJŠANJA TEHNIČKOG SUSTAVA GRIJANJA I PRIPREME PTV-A

U ovom poglavlju analizirati će se svi elementi unaprijeđenog tehničkog sustava. Zadržati će se sustav distribucije topline, izveden sa radiatorima. Opcije poput ventilokonvektora i podnog grijanja nisu razmatrane jer bi zahtijevale dodatne građevinske radove i investicijske troškove. Razmatrati će se sljedeće intervencije u sustav proizvodnje toplinske energije za grijanje i pripremu PTV-a:

Tablica 5.1. Novi termotehnički sustavi

Slučaj	Sustav grijanja	Priprema PTV-a
S1	Postojeći uz niži temperaturni režim	Spremnik 200 l Električni grijač + Solarni kolektor
S2	Dizalica topline zrak – voda Radijatori	Spremnik 200 l Dizalica topline zrak – voda
S3	Dizalica topline Zrak – voda Radijatori	Spremnik u krugu SK i Spremnik u krugu DT Dizalica topline zrak - voda + Solarni kolektor
S4	Dizalica topline Zrak – voda Radijatori	Spremnik u krugu SK i Spremnik u krugu DT Dizalica topline Zrak - voda + Solarni kolektor

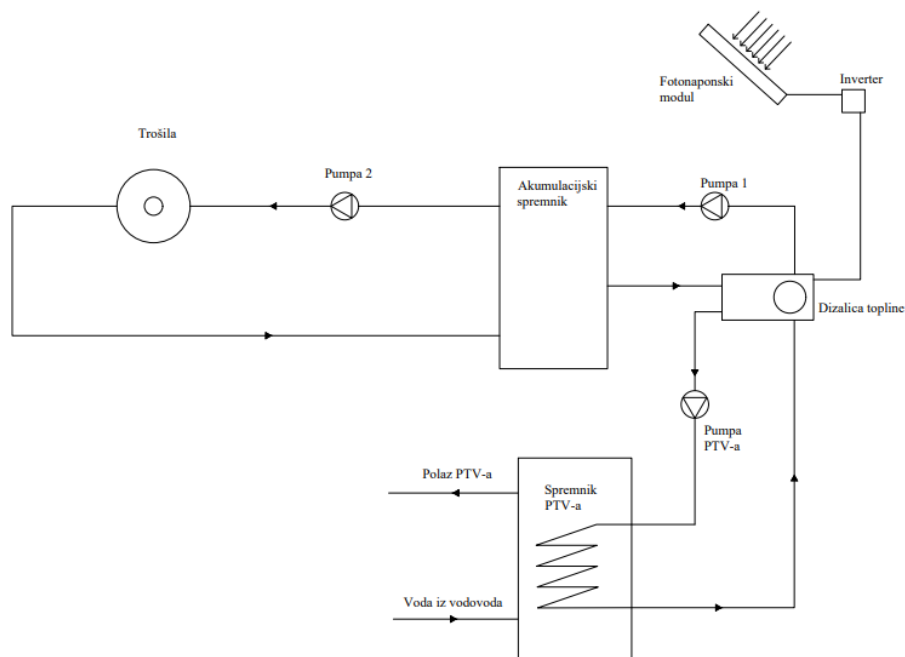
Na slici 5.1. nalazi se shema novog rješenja, slučaj 1.



Slika 5.1. Shema termotehničkog sustava slučaj 1

U prvom slučaju zadržava se postojeći sustav grijanja sa kotlom i radiatorima. Smanjuje se temperaturni režim grijanja na 70/50/20°C. Prijašnjom simulacijom postojećeg stanja ustanovljeno je da su učinci radijatora puno veći od onih projektnih i iz tog razloga se smanjuje temperaturni režim. Drugo unaprjeđenje sustava nalazi se u dijelu pripreme PTV-a. Eliminiran je električni bojler iz postojećeg stanja i dodan je sunčani toplinski kolektor. Kolektor pokriva dio potrebne energije za pripremu PTV-a dok je ostatak zadovoljen korištenjem električnog grijača.

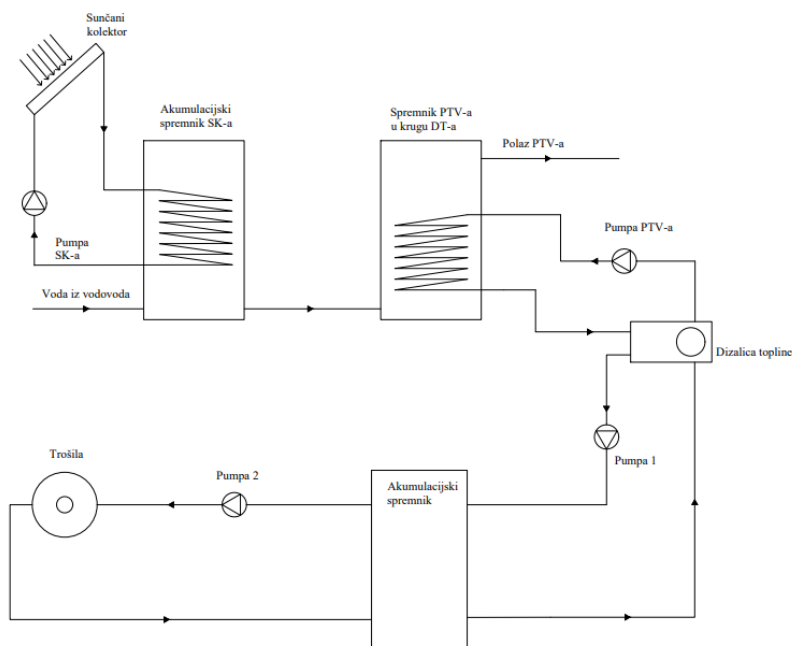
Na slici 5.2. prikazana je shema novog rješenja, slučaj 2.



Slika 5.2. Shema termotehničkog sustava slučaj 2

U drugom slučaju implementirane su promjene i u sustavu grijanja prostora i pripreme PTV-a. Kotao na loživo ulje zamjenjuje dizalica topline. Ona pokriva sve potrebe za grijanjem prostora i pripremu PTV-a. Također, implementiraju se fotonaponski moduli koji će proizvesti dio električne energije potrebne za pogon dizalice topline. U sustavu grijanja dodaje se još jedna pumpa. Dodaje se iz razloga što se koristi akumulacijski spremnik iza kojeg mora doći pumpa.

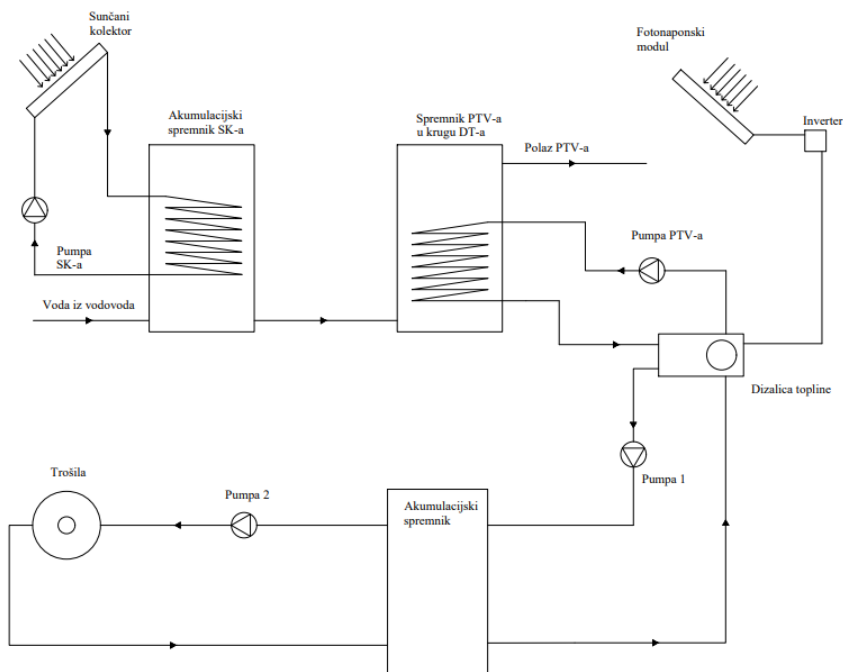
Na slici 5.3. prikazana je shema novog rješenja, slučaj 3.



Slika 5.3. Shema termotehničkog sustava slučaj 3

Treći slučaj također implementira dizalicu topline. Ona obnaša istu funkciju kao i u slučaju dva, ali je razlika u pripremi PTV-a. Sustav pripreme PTV-a bazira se oko sunčanog kolektora dok dizalica topline pokriva energiju koju kolektor ne može proizvesti. Krug solarnog kolektora i dizalice topline svaki imaju svoj akumulacijski spremnik.

Na slici 5.4. prikazana je shema novog rješenja, slučaj 4.



Slika 5.4. Shema termotehničkog sustava slučaj 4

Sustav prikazan na prijašnjoj slici identičan je slučaju 3, s jedinom razlikom u implementaciji fotonaponskih modula. Fotonaponskim modulima biti će proizveden dio energije potrebne za pogon dizalice topline.

Nakon što su napravljene analize potrebnih toplina za zagrijavanje PTV-a i grijanje obiteljske kuće, moguće je složiti nove sustave. Analizirati će se dobiveni podaci, investicijski troškovi te odabrati najbolji sustav koje zadovoljava sve potrebe i troši najmanje energije. Elementi od kojih se simulacije sastoje:

- Dizalica topline
- Kotao
- Radijatori
- Termostati grijanja i PTV-a
- Razdjelnik
- Sabirnik
- Cjevovod
- Cirkulacijska pumpa
- Solarni kolektor
- Fotonaponski modul
- Akumulacijski spremnik i spremnik PTV-a

## 5.1. Novi sustav pripreme PTV-a

S obzirom da je u planu ugradnja bivalentnog spremnika skupa s solarnim kolektorom potrebno je ponovno provesti proračun kako bi izabrali pravu veličinu spremnika. Kako je već spomenuto u poglavlju 4.2. važno je poznavanje dinamike potrošnje i ukupna potrošnja PTV-a. Iz navedenog poglavlja možemo preuzeti izračunate vrijednosti za potrebnu toplinsku energiju za pripremu PTV-a ( $Q_W$ ) i dnevnu potrošnju vode ( $V_W$ ):  $Q_W = 5,06$  kWh,  $V_W = 164.06$  l/dan.

Volumen spremnika određuje se iz potreba cijelog kućanstva. Može se pretpostaviti da se unutar sat vremena svi ukućani tuširaju što rezultira vršnom potrošnjom od 200 l vode na sat. Trenutni učinak za potrebe pripreme PTV-a:

$$Q_g = 200 \cdot \frac{c_w \cdot (\theta_{out} - \theta_{in})}{3600} \quad (5.1.)$$

$$Q_g = 200 \cdot \frac{4.187 \cdot (40 - 13.5)}{3600} = 6.17 \text{ kW}$$

Izračunati učinak za grijanje vode nije onaj kojim ćemo se voditi s obzirom da se ne radi o protočnom bojleru, već se ugrađuje akumulacijski spremnik. Voda će se zagrijavati i onda kada nije u upotrebi. To znači da moramo uzeti u obzir vrijeme pogona i vrijeme zagrijavanja vode. Na taj način se smanjuje trenutni učinak zagrijavanja:

$$Q_{g,PTV} = \frac{Q_g \cdot z_b}{z_a + z_b} \quad (5.2.)$$

Gdje je:

$Q_{g,PTV}$  – trenutni učinak

$z_a = 2h$  - vrijeme zagrijavanja

$z_b = 1h$  - vrijeme pogona

$$Q_{g,PTV} = \frac{6.17 \cdot 1}{2 + 1} = 2.06 \text{ kW}$$

Preostaje izračunati kapacitet akumulacijskog spremnika:

$$C = z_a \cdot Q_{g,PTV} \quad (5.3.)$$

$$C = 2 \cdot 2.06 = 4.12 \text{ kWh}$$

Slijedi volumen spremnika:

$$V_S = \frac{C \cdot b}{c \cdot \Delta\theta} \quad (5.4.)$$

$$V_S = \frac{4.12 \cdot 1.1}{1.163 \cdot 20} = 0.195 \text{ m}^3$$

Minimalni volumen spremnika iznosi 195l. Odabire se sljedeći veći standardni volumen, a to je 200l. Odabire se spremnik proizvođača Centrometal STB 200. Karakteristike navedenog spremnika (slika 5.5.) [9]:



1. Dovod hladne sanitarne vode
2. Odvod tople sanitarne vode
3. Recirkulacijski vod
4. Cijevni izmjenjivač **kotlovskog** sistema
5. Cijevni izmjenjivač **solarnog** sistema
6. Otvor za čišćenje
7. Tuljac za osjetnik - temp. san. vode, kotlovski krug
8. Tuljac za osjetnik - kolekt. krug
9. Termometar

Slika 5.5. Spremnik STB 200 [9]

- Volumen:  $V_S = 198 \text{ l}$
- Visina bojlera :  $v = 1420 \text{ mm}$
- Promjer bojlera:  $d_b = 640 \text{ mm}$
- Promjer bojlera bez izolacije:  $d_{b,bez} = 480 \text{ mm}$
- Površine ogrjevnih spirala: donja  $A_d = 0.83 \text{ m}^2$ , gornja  $A_g = 0.42 \text{ m}^2$
- Priklučci odvoda, dovoda i recirkulacije:  $\frac{3}{4} \text{ R}$
- Priklučci ogrjevnih spirala:  $\frac{3}{4} \text{ R}$
- Maksimalni radni tlak:  $p = 6 \text{ bar}$

Potrebno je odrediti geometrijske karakteristike cijevnih izmjenjivača kako bi odabrani spremnik ispravno radio u simulaciji. Geometrijske karakteristike određuju se iz poznatih dimenzija cijevi. Potrebne vrijednosti za model su duljina cijevi u spirali, njezin promjer i broj zavoja.

Duljina cijevi izmjenjivača topline ide po sljedećem izrazu:

$$l = \frac{A}{d_v \cdot \pi} \quad (5.5.)$$

Dimenzije cijevi su sljedeće:  $d_v/d_u = 26.67/24.1 \text{ mm}$

Slijedi:



$$l_d = \frac{0.83}{0.02667 \cdot \pi} = 9,9 \text{ m}$$

$$l_g = \frac{0.42}{0.02667 \cdot \pi} = 5 \text{ m}$$

Iz podatka o širini spremnika bez izolacije i sa skice proizvođača, pretpostavljamo promjer spirale od  $d_{izmj} = 400 \text{ mm}$ . [9]

Broj zavoja spirale izračunamo po sljedećem izrazu:

$$n_{sp} = \frac{l}{d_{izmj} \cdot \pi} \quad (5.6.)$$

$$n_{sp,d} = \frac{9.9}{0.4 \cdot \pi} = 8$$

$$n_{sp,g} = \frac{5}{0.4 \cdot \pi} = 4$$

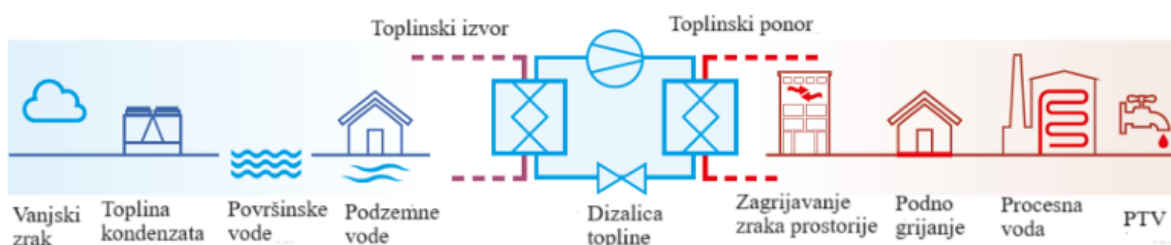
Raspodjela potrošnje vode ista je kao i u osnovnoj simulaciji i iznosi  $V_W = 164.06 \text{ l/dan}$  (slika 4.3.).

Akumulacijski spremnik tople vode simuliran je korištenjem modela Type 534-Coiled iz biblioteke TESS-a. Radi se o vertikalnom cilindričnom spremniku s dva uronjena izmjenjivača topline. Model također omogućuje razmatranje pojave stratifikacije. To se može s obzirom da je spremnik podijeljen u čvorove. Svaki čvor graniči sa susjednim čvorovima i oni međusobno izmjenjuju toplinu. Svaki čvor ima konstantan volumen i temperaturu. Voda u spremniku grije se pomoću solarnih kolektora (niža spirala) i dizalice topline ili električnog grijača (viša spirala). [10]

Također, potrebno je odabrati akumulacijski spremnik u krugu solarnog kolektora. Uz preporuku o veličini spremnika od  $90 \text{ l/m}^2$  solarne površine i uz činjenicu će se koristiti jedan solarni kolektor površine  $A \approx 2 \text{ m}^2$ , dobiva se referentna vrijednost od  $180 \text{ l}$ . Iz navedenog se odabire još jedan spremnik STB 200 za krug solarnog kolektora. [4]

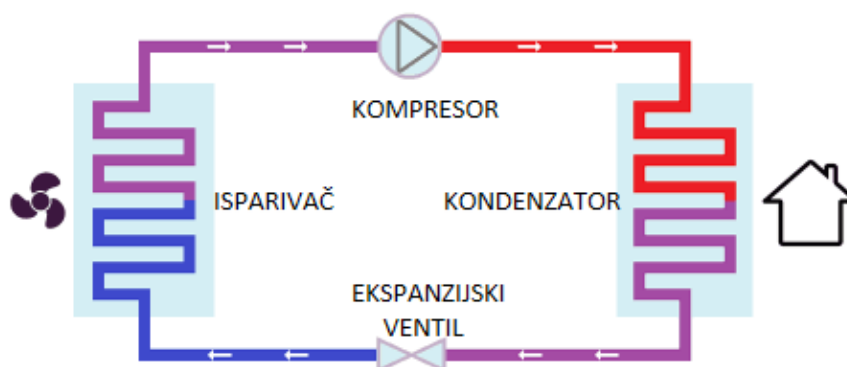
## 5.2. Dizalica topline

Dizalica topline uređaj koji podiže toplinu na viši energetski nivo uz uloženi mehanički rad. Mehanički rad može se dobiti korištenjem električne energije ili topline. Glavna zadaća je iskorištavanje izmijenjene topline na kondenzatoru u svrhu grijanja. Također, moguće je korištenje topline na niskotemperaturnom izmjenjivaču (isparivaču) u svrhu hlađenja. Kako bi bio omogućen rad ovakvog uređaja potrebni su toplinski spremnici, odnosno toplinski izvor i ponor (slika 5.6.). Toplinski izvor je medij niže temperature od kojeg se oduzima toplina, a toplinski ponor je medij više temperature kojem se toplina predaje. Izvori topline mogu biti različiti, a najčešći su zrak, tlo i voda. Također može se izvesti konfiguracija kaskadnog tipa, gdje otpadna toplina nekog drugog uređaja služi kao toplinski izvor dizalice topline. [11]



Slika 5.6. Prikaz dizalice topline sa toplinskim izvorima i ponorima [11]

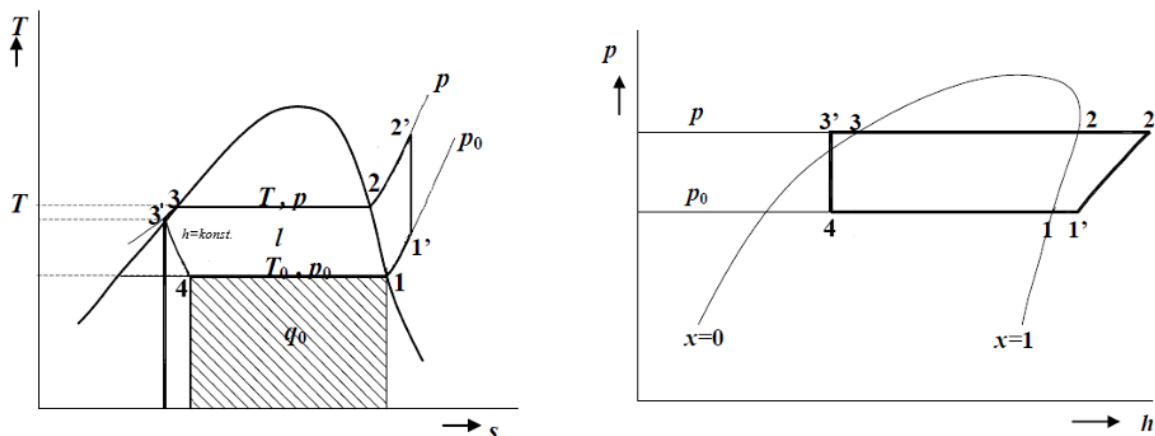
Dizalicu topline čini pet osnovnih dijelova a to su: isparivač, kompresor, kondenzator, ekspanzijski ventil i radna tvar. Na slici 5.7. prikazana je osnovna shema dizalice topline.



Slika 5.7. Osnovna shema dizalice topline [20]

Dizalica topline sa prethodne slike toplinu iz vanjskog zraka oduzima preko isparivača (4) i hladi ga. Oduzeta toplina predaje se radnoj tvari koja u isparivaču isparuje (1) i pregrijava se (1'). Pregrijana para radne tvari usisava se u kompresor te joj se povećavaju tlak i temperatura (2').

Zatim, pregrijana visokotlačna para ulazi u kondenzator gdje se njena toplina predaje zraku u prostoriji. Na taj način temperatura zraka u prostoriji održava se na željenoj temperaturi. Uslijed predavanja topline s pare na zrak u prostoriji, radna tvar se hladi (2), kondenzira (3) i pothlađuje (3') pri konstantnom tlaku. Kondenzirana radna tvar zatim ulazi u ekspanzijski ventil gdje joj tlak i temperatura padaju (4). Temperatura na izlazu iz ekspanzijskog ventila niža je od temperature vanjskog zraka i strujanjem kroz isparivač proces se ponovno pokreće. Opisani proces prikazan je na dijagramu na slici 5.8.



Slika 5.8. Dijagram idealnog procesa dizalice topline [12]

Za rad ovakvog uređaja potrebna je električna energija. Današnje dizalice topline oko 75% potrebne topline za zagrijavanje radne tvari uzimaju iz vanjskog zraka, dok se ostatak dobije radom kompresora. Dakle, dizalice topline imaju višestruko veći učinak od primarne energije potrebne za njihov pogon i to ih čini iznimno učinkovitima. Učinkovitost uređaja opisuje se faktorom grijanja  $\varepsilon_{gr}$  poznatijim kao COP (coefficient of performance). On je definiran izrazom:

$$\varepsilon_{gr} = \frac{\text{toplinski učinak dizalice topline}}{\text{snaga kompresora}} = \frac{Q_{dt}}{P_k} = \frac{h_{2'} - h_{3'}}{h_{2'} - h_{1'}} = \frac{T}{T - T_0} \quad (5.7)$$

gdje su:

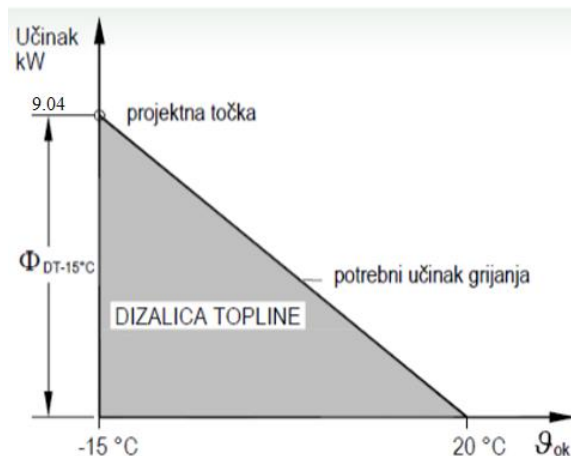
- $h_{1'}$  - entalpija radne tvari na usisu kompresora [kJ/kg]
- $h_{2'}$  - entalpija radne tvari na izlazu iz kompresora i ulazu u kondenzator [kJ/kg]
- $h_{3'}$  - entalpija pothlađene kapljevine radne tvari na ulazu u ekspanzijski ventil [kJ/kg]
- $T_0$  – temperatura isparivanja [K]
- $T$  – temperatura kondenzacije [K]

Kada je faktor grijanja veći od 1, predana toplinska energija s dizalice topline na zrak u prostoru veća je od utrošene električne energije. Kako bi dizalica topline bila što efikasnija, potrebno je zadovoljiti neke uvjete:

- cjelogodišnja dostupnost toplinskog izvora relativno konstantne temperature
- mala udaljenost između toplinskog izvora i ponora
- umjerena temperatura toplinskog ponora
- veliki broj radnih sati uređaja, bolja isplativost [11]

### 5.2.1. Monovalentni način rada dizalice topline

Monovalentni način rada podrazumijeva da su svi gubici obiteljske kuće pokriveni radom dizalice topline. To znači da dizalica topline grije i prostor i PTV. Uređaj se odabire prema projektnoj temperaturi vanjskog zraka (slika 5.9.). S obzirom da je taj postupak već napravljen u poglavlju 3.2., znamo da je projektni učinak grijanja  $Q_{proj,gr} = 6.98$  kW. Nadalje, učinku za grijanje moramo nadodati učinak potreban za pripremu PTV-a. On je također već izračunat u poglavlju 5.1. i iznosi  $Q_{g,PTV} = 2.06$  kW. Dakle, potrebni učinak dizalice topline zbroj je navedenih učinaka i iznosi  $Q_{dt} = 9.04$  kW. [12]



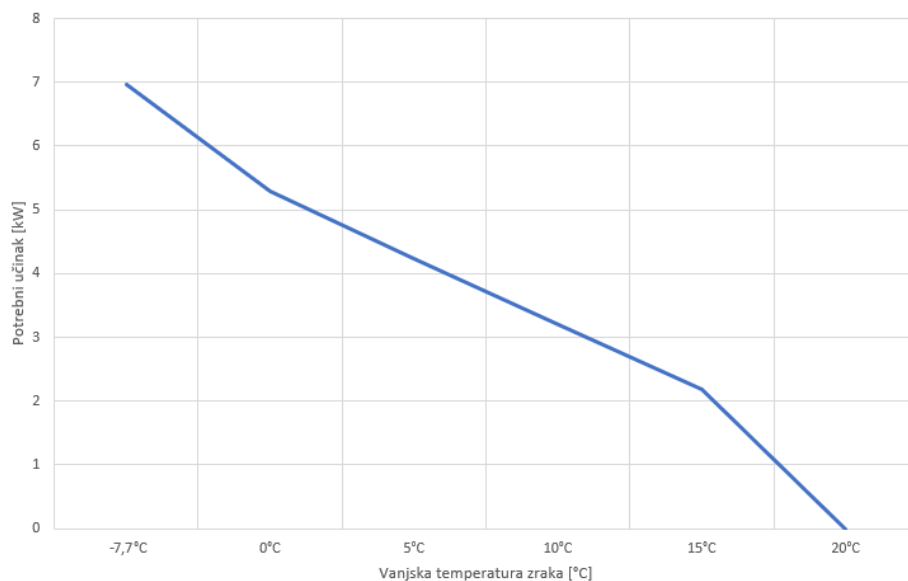
Slika 5.9. Graf monovalentnog načina rada dizalice topline [11]

U ovom radu, dizalica topline zrak-voda zagrijavati će vodu koja će se koristiti za potrebe grijanja i pripremu PTV-a. S obzirom da je obiteljska kuća u okolici Rijeke, jako niske temperature zraka su rijetke. Podzemnih voda nema na ovom području pa dizalica topline voda-voda ne ulazi u obzir. Također, ako bi se odlučilo za dizalicu topline tlo-zrak, investicijski troškovi bi jako narasli zbog bušenja bunara i zbog toga ta opcija otpada. Mogućnost da dizalica topline u obrnutom radu može

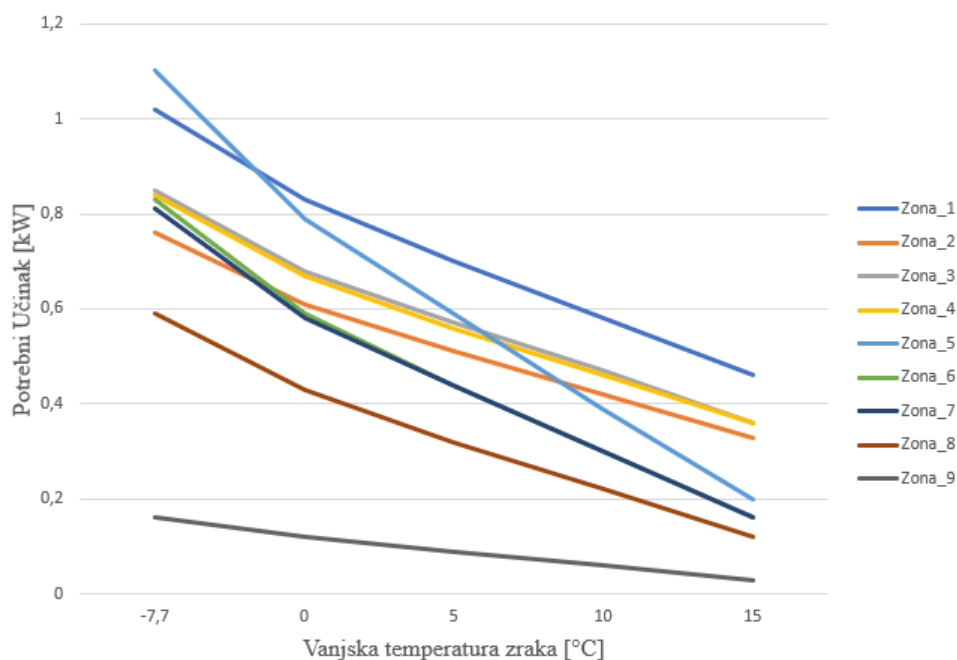
hladiti, neće biti razmotrena s obzirom da to zahtjeva promjenu ogrjevnih tijela i dodatne investicijske troškove.

### 5.3. Novi režim grijanja

Prvi korak prema smanjenju potrošnje energije je smanjenje temperaturnog režima grijanja. On se smanjuje na način da postojeći sustav i dalje zadovoljava potrebe za grijanjem. Potrebni učinci dobiveni su korištenjem simulacije za projektni učinak grijanja. Simulacije su provedene uz različite vanjske temperature i rezultati su prikazani na slikama 5.10. i 5.11.



Slika 5.10. Ovisnost ukupnog učinka grijanja o promjeni temperature vanjskog zraka



Slika 5.11. Ovisnost učinka grijanja po zonama o promjeni temperature vanjskog zraka

Kako bi odredili najpovoljniji režim grijanja, toplinske zone promatraju se zasebno. Za svaku toplinsku zonu određuje se projektni toplinski učinak za različite vanjske temperature, počevši od projektne temperature  $-7.7^{\circ}\text{C}$ . Ostale temperature i projektni toplinski učinci su prikazani u tablici 5.2.

*Tablica 5.2. Projektni učinci grijanja pri različitim vanjskim temperaturama*

Projektni učini	Zona_1 [kW]	Zona_2 [kW]	Zona_3 [kW]	Zona_4 [kW]	Zona_5 [kW]	Zona_6 [kW]	Zona_7 [kW]	Zona_8 [kW]	Zona_9 [kW]	Ukupno [kW]
$-7.7^{\circ}\text{C}$	1.02	0.76	0.85	0.84	1.1	0.83	0.81	0.59	0.16	6.98
$0^{\circ}\text{C}$	0.83	0.61	0.68	0.67	0.79	0.59	0.58	0.43	0.12	5.3
$5^{\circ}\text{C}$	0.7	0.51	0.57	0.56	0.59	0.44	0.44	0.32	0.09	4.22
$10^{\circ}\text{C}$	0.58	0.42	0.47	0.46	0.39	0.3	0.3	0.22	0.06	3.2
$15^{\circ}\text{C}$	0.46	0.33	0.36	0.36	0.2	0.16	0.16	0.12	0.03	2.18

Kada se dobivene vrijednosti podijeli s poznatim brojem postavljenih članaka, dobije se projektni učinak po članku. Broj postavljenih članaka prikazan je u tablici 4.2. Projektni učinci po članku prikazani su u tablici 5.3.

*Tablica 5.3. Projektni učinci po članku*

Projektni učini	Zona_1 [W]	Zona_2 [W]	Zona_3 [W]	Zona_4 [W]	Zona_5 [W]	Zona_6 [W]	Zona_7 [W]	Zona_8 [W]	Zona_9 [W]
$-7.7^{\circ}\text{C}$	51	47.5	47.2	42	55	46.1	54	36.9	20
$0^{\circ}\text{C}$	41.5	38.1	37.8	33.5	39.5	32.8	38.7	26.9	15
$5^{\circ}\text{C}$	35	31.9	31.7	28	29.5	24.4	29.3	20	11.3
$10^{\circ}\text{C}$	29	26.3	26.1	23	19.5	16.7	20	13.8	7.5
$15^{\circ}\text{C}$	23	20.6	20	18	10	8.9	10.7	7.5	3.8

Kako bi zadovoljili potrebe za grijanjem, potrebno je odabrati temperaturni režim u kojem će svi radijatori ostvariti projektne učinke po članku. Pogledom u katalog proizvođača i usporedbom izračunatih učinaka s podacima proizvođača, odabire se režim  $55/45/20^{\circ}\text{C}$ . Ovaj režim dovoljan je za grijanje i niži je od trenutnog režima. Također, odabrani režim pogodan je i za pripremu PTV-a s obzirom da se on grije na  $40^{\circ}\text{C}$ . Povećanjem vanjske temperature zraka temperaturni režim se smanjuje kako potreba za grijanjem pada. Isti postupak provodi se za druge projektne temperature te se dobiva popis režima prikazan u tablici 5.4.:

Tablica 5.4. Popis režima ovisno o vanjskoj temperaturi zraka

Projektna vanjska temperatura [°C]	Temperaturni režim [°C]		
	55/45/20	50/40/20	45/35/20
-7.7	Ispunjava uvjete	-	-
0	Ispunjava uvjete	Ispunjava uvjete	-
5	Ispunjava uvjete	Ispunjava uvjete	-
10	Ispunjava uvjete	Ispunjava uvjete	Ispunjava uvjete
15	Ispunjava uvjete	Ispunjava uvjete	Ispunjava uvjete

Dizalica topline koristi režime grijanja iz navedene tablice i prema vanjskoj temperaturi mijenja temperaturu polaza. Ovakav način rada podiže učinkovitost te smanjuje potrošnju energije za grijanje. Sa povećanjem vanjske temperature zraka smanjuje se temperatura polaza i obrnuto. Pri temperaturi vanjskog zraka od 0°C prebacuje se na režim 50/40/20, a pri temperaturi od 10°C na režim 45/35/20.

$\Delta T$  kod promatranih režima je manji nego u postojećem sustava, pa je samim tim manja i dostupna osjetna energija. Kako bi se ona nadomjestila potrebno je povećati maseni protok vode kroz radijatore. Svi protoci po toplinskim zonama za novi temperaturni režim prikazani su u tablici 5.5. Ovaj podatak važan je kako bi izbjegli predimenzioniranje cirkulacijske pumpe.

Tablica 5.5. Maseni protoci vode po toplinskim zonama za novi temperaturni režim

Toplinska zona	Maseni protoci kroz radijator [kg/s]		
	55/45/20 [°C]	50/40/20 [°C]	45/35/20 [°C]
Zona_1	0.034	0.027	0.019
Zona_2	0.027	0.021	0.016
Zona_3	0.031	0.024	0.018
Zona_4	0.034	0.027	0.019
Zona_5	0.034	0.027	0.019
Zona_6	0.031	0.024	0.018
Zona_7	0.025	0.02	0.015
Zona_8	0.027	0.021	0.016
Zona_9	0.014	0.011	0.008
Ukupno	0.256	0.202	0.148

S odabranim temperaturnim režimom i potrebnim učinkom za grijanje, odabire se dizalica topline ANKI 75 proizvođača Aermec. Punjena je radnom tvari R410A, a maksimalna polazna temperature vode iznosi 60°C. Specifikacije pri projektnoj vanjskoj temperaturi su joj sljedeće: kapacitet grijanja  $Q_g = 12.8$  k, snaga za grijanje  $P_g = 6.8$  kW pri temperaturi vode 55/45°C. Navedeni podaci dobiveni su korištenjem programa Magellano, razvijenog od strane proizvođača Aermec. [13]

Kako bi model dizalice topline u simulaciji ispravno radio, potrebno je izraditi mapu efikasnosti učinaka i električne energije. Ona se također dobije iz programa Magellano i prikazana je u tablici 5.6.

Tablica 5.6. Karakteristike dizalice topline u režimu grijanja

Temp. vanjskog zraka [°C]	Temperaturni režim [°C]								
	35/45			40/50			45/55		
	$Q_g$	COP	$P_{el}$	$Q_g$	COP	$P_{el}$	$Q_g$	COP	$P_{el}$
-7.7	12.4	2.17	5.7	12.5	1.98	6.3	12.6	1.8	7
-2.7	12.8	2.33	5.8	12.8	2.03	6.3	12.8	1.83	7
2.3	13.3	2.29	5.8	13.2	2.06	6.4	13.2	1.86	7.1
7.3	17.9	2.98	6	17.7	2.68	6.6	17.5	2.4	7.3
12.3	19.9	3.26	6.1	19.7	2.9	6.8	19.4	2.62	7.4
17.3	22.2	3.58	6.2	21.9	3.22	6.8	21.6	2.88	7.5

Model dizalice topline je Type 941: Air to water Heat Pump iz TESS-ove biblioteke. Model je upravljan mapom efikasnosti. Vrijednosti učinaka i snage prikazuje se kao relativna vrijednost u odnosu na projektnu točku. [14]

#### 5.4. Cirkulacijska pumpa

Cirkulacijska pumpa simulirana je korištenjem modela Type 654: Constant Speed Pump iz TESS-ove biblioteke. [14] To je centrifugalna pumpa s jednom brzinom koja protok fluida održava konstantnim. Tijekom svog rada radi na nominalnoj protoku i troši nominalnu snagu. Upravljana je pomoću kontrolnog signala. Kada je signal manji od 0.5, pumpa ne radi, a kada je veći od 0.5, radi.

Cirkulacijska pumpa odabrana je prema maksimalnom ukupnom protoku iz tablice 4.3.4. koji iznosi  $\dot{m}_{uk} = 0.256$  kg/s = 921.6 kg/h.



Odabrana je pumpa Grundfos ALPHA1 25-80 180. Neke od njezinih karakteristika su:

- Protok:  $\dot{m}_p = 0.256$  kg/s
- Nazivna snaga:  $P_{nom} = 50$  W
- Ukupna efikasnost  $\eta_p = 0.384$  [15]

### 5.5. Sunčani toplinski kolektor

Sunčani toplinski kolektor koristiti će se za pripremu PTV-a u slučajevima 1, 3 i 4. Sunčani toplinski kolektor je izmjenjivač topline koji sunčevu energiju zračenja pretvara u toplinu. Sadrži apsorber koji prihvaća energiju zračenja i predaje toplinu na radni fluid koji je nosilac topline u sustavu. Radni fluid može biti voda, smjesa vode i glikola ili zrak. Kolektori s vodom kao nosiocem topline koriste se za grijanje potrošne tople vode, bazenske vode ili niskotemperaturno grijanje prostora. Kolektori s zrakom obično se koriste za grijanje prostora. Najčešći tipovi solarnih kolektora su sljedeći:

- jednostavni neostakljeni apsorber sunčeva zračenja
- ravni pločasti kolektori
- vakuumski cijevni kolektori

Kako bi se pokazala učinkovitost različitih vrsta kolektora, u sljedećoj tablici prikazane su godišnje proizvodnje topline po metru kvadratnom za svaki od navedenih tipova. Vrijednosti su dobivene za lokaciju s godišnjim sunčanim zračenjem od  $1200 \text{ kWh/m}^2$  i prikazane su u tablici 5.7.

Tablica 5.7. Godišnje proizvodnje topline za različite vrste solarnih kolektora [4]

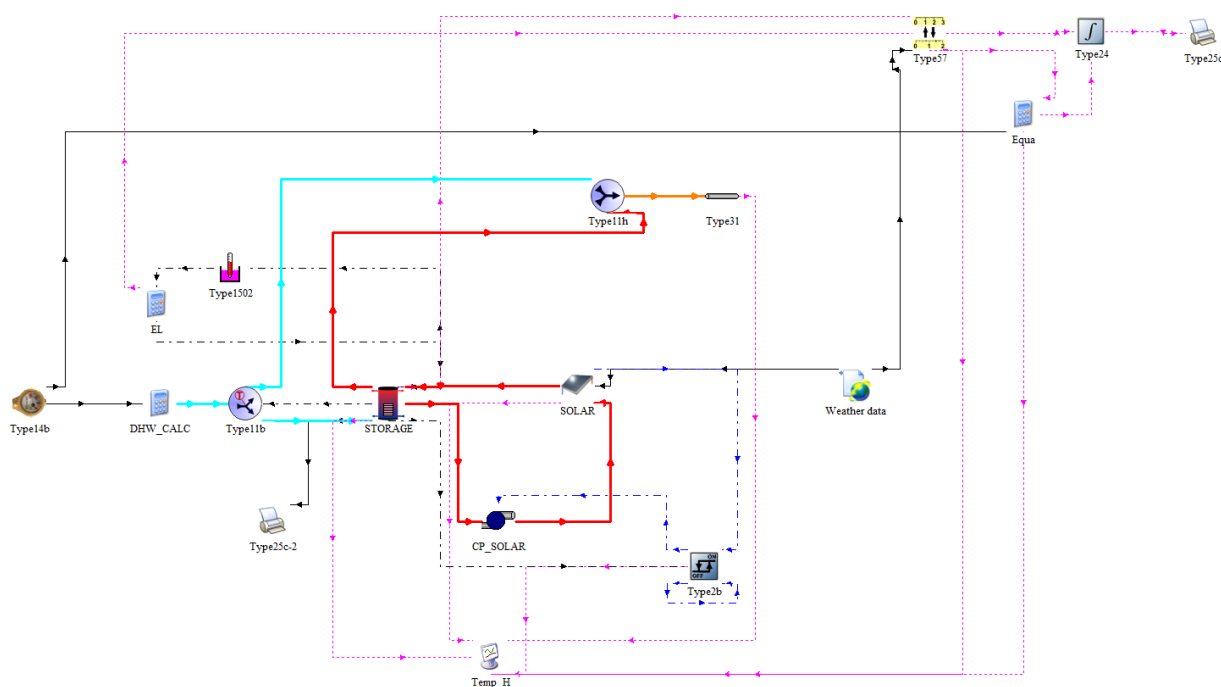
Tip solarnog kolektora	Godišnja proizvodnja topline [kWh/m <sup>2</sup> a]
Neostakljeni solarni kolektor	250
Ravni pločasti kolektor	500
Vakuumski cijevni kolektor	650

U ovom slučaju, koristiti će se ravni pločasti kolektor. Za simulaciju kolektora korišten je model Type 1: Flat-plate collector. [16] Odabran je solarni kolektor Tehnomont SKT 100. Karakteristike navedenog solarnog kolektora prikazane su u tablici 5.8.

Tablica 5.8. Karakteristike solarnog kolektora Tehnomont SKT 100 [4]

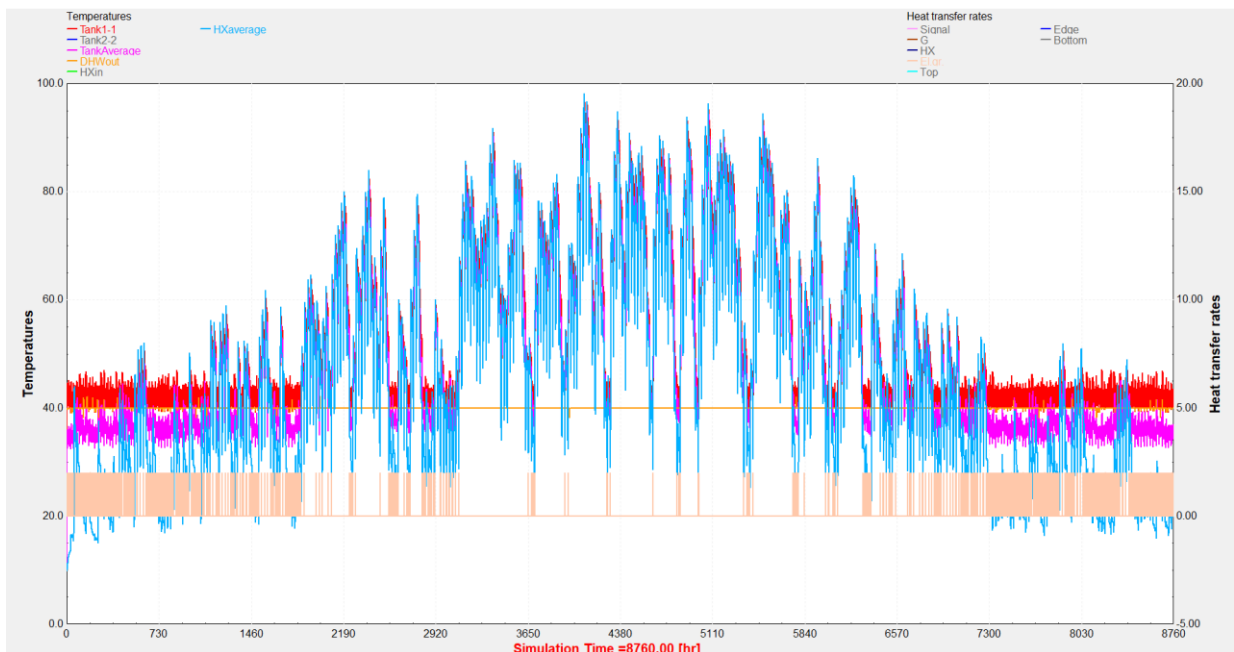
Bruto površina [m <sup>2</sup> ]	2.031
Površina apsorbera [m <sup>2</sup> ]	1.9
Površina svijetlog otvora [m <sup>2</sup> ]	1.9
Optički stupanj djelovanja	0.79
Koeficijent gubitka topline $k_1$ [W/m <sup>2</sup> K]	3.02
Koeficijent gubitka topline $k_2$ [W/m <sup>2</sup> K]	0.0228
Toplinski kapacitet [kJ/m <sup>2</sup> K]	52
Masa [kg]	37
Volumen tekućine [L]	1.3
Dozvoljeni pogonski tlak [bar]	6
Maksimalna temperatura u mirovanju [°C]	200
Priključak [mm]	18

U slučaju 1 priprema PTV-a vrši se solarnim kolektorom potpomognutim električnim grijačem snage 2 kW. Simulacija navedene konfiguracije prikazana je na slici 5.12.



Slika 5.12. Simulacija sustava PTV-a, slučaj 1

Simulacija je provedena korištenjem jednog solarnog kolektora Tehnomont SKT 100 i rezultati su prikazani na slici 5.13.



Slika 5.13. Rezultati simulacije PTV-a, slučaj 1

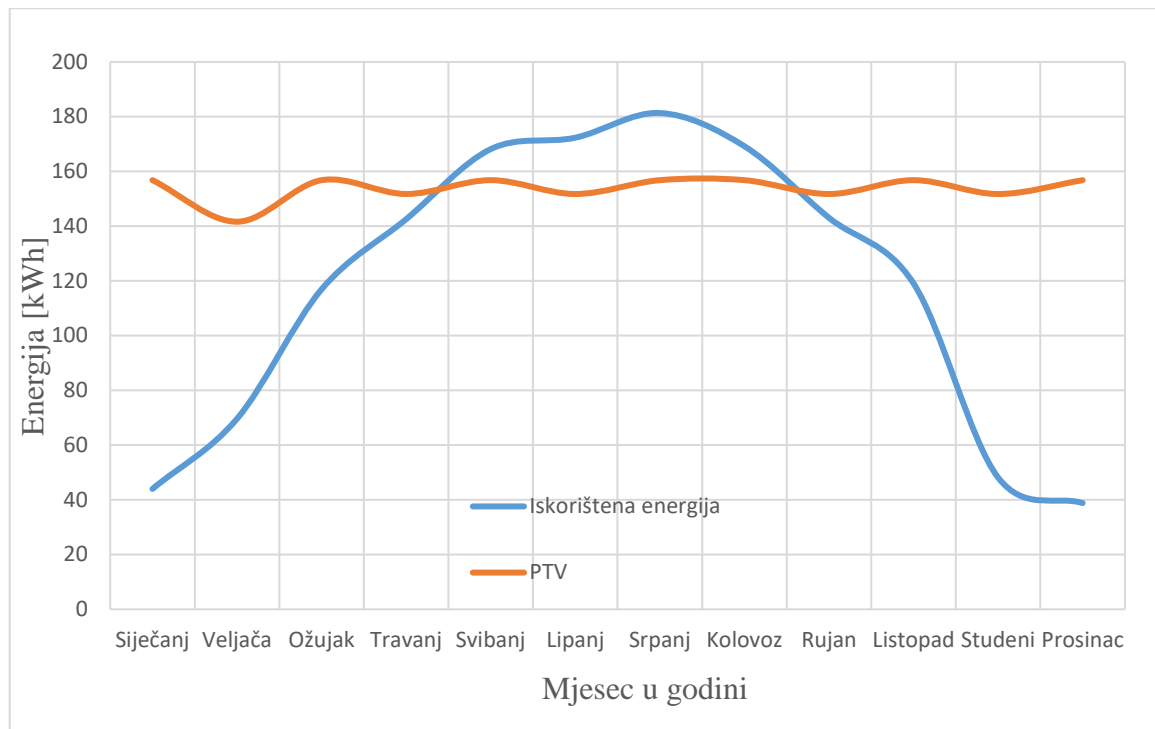
Crvena linija prikazuje temperaturu pri vrhu tanka, plava linija se odnosi na prosječnu temperaturu izmjenjivača topline u spremniku, a žuta linija je izlazna temperatura PTV-a. Kao što možemo vidjeti temperatura PTV-a je uvijek na željenoj razini i stoga zaključujemo kako je jedan solarni kolektor dovoljan. Energije su prikazane u tablici 5.9.

Tablica 5.9. Rezultati simulacije PTV-a, slučaj 1

Dozračeno [kWh]	Iskorišteno [kWh]	Električni grijač [kWh]	Potrebno [kWh]
3014	1413	638	1846

Efikasnost solarnog kolektora možemo izračunati kao omjer iskorištene toplinske energije na izmjenjivaču topline i dozračene energije na solarni kolektor. U ovom slučaju efikasnost solarnog kolektora je  $\eta_{sk} = 46.9\%$ . Ukupna energija predana vodi je zbroj energije izmijenjene na izmjenjivaču topline i energije električnog grijača i ona iznosi  $E_{uk} = 2051$  kWh. Energija potrebna da se voda zagrije na  $40^{\circ}\text{C}$  iznosi 1846 kWh. Razlika između ukupne predane energije vodi i potrebne energije da se voda zagrije na  $40^{\circ}\text{C}$  je  $E_{gub} = 205$  kWh i ona predstavlja gubitak spremnika PTV-a.

Na slici 5.14. prikazana je mjesečna raspodjela iskorištene energije na izmjenjivaču i potrebne energije za pripremu PTV-a.



Slika 5.14. Mjesečna raspodjela energija za SK, slučaj 1

Iz dijagrama možemo očitati kako se energija potrebna za pripremu PTV-a kreće oko 150 kWh mjesečno. U ljetnim mjesecima solarni kolektor u potpunosti pokriva potrebe za grijanjem PTV-a što je željeni rezultat.

Iz navedenih rezultata može se izračunati postotak pokrivenosti zahtjeva energije. On se računa prema sljedećem izrazu:

$$\eta_{sol} = \frac{E_{sol}}{E_{PTV}} \cdot 100 \quad (5.8.)$$

Gdje je:

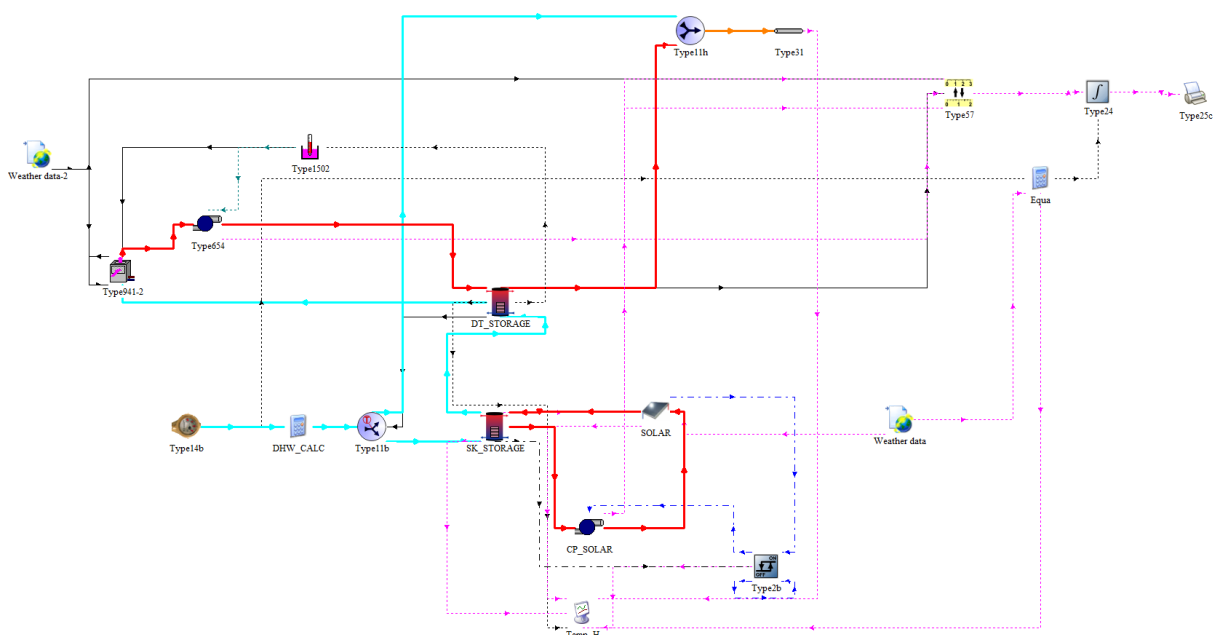
- $\eta_{sol}$  – Pokrivenost pripreme PTV-a [%]
- $E_{sol}$  – Iskorištena energija na izmjenjivaču [kWh]
- $E_{PTV}$  – Potrebna energija za pripremu PTV-a [kWh]

U tablici 5.10. su prikazani rezultati po mjesecima.

Tablica 5.10. Rezultati simulacije PTV-a po mjesecima, slučaj 1

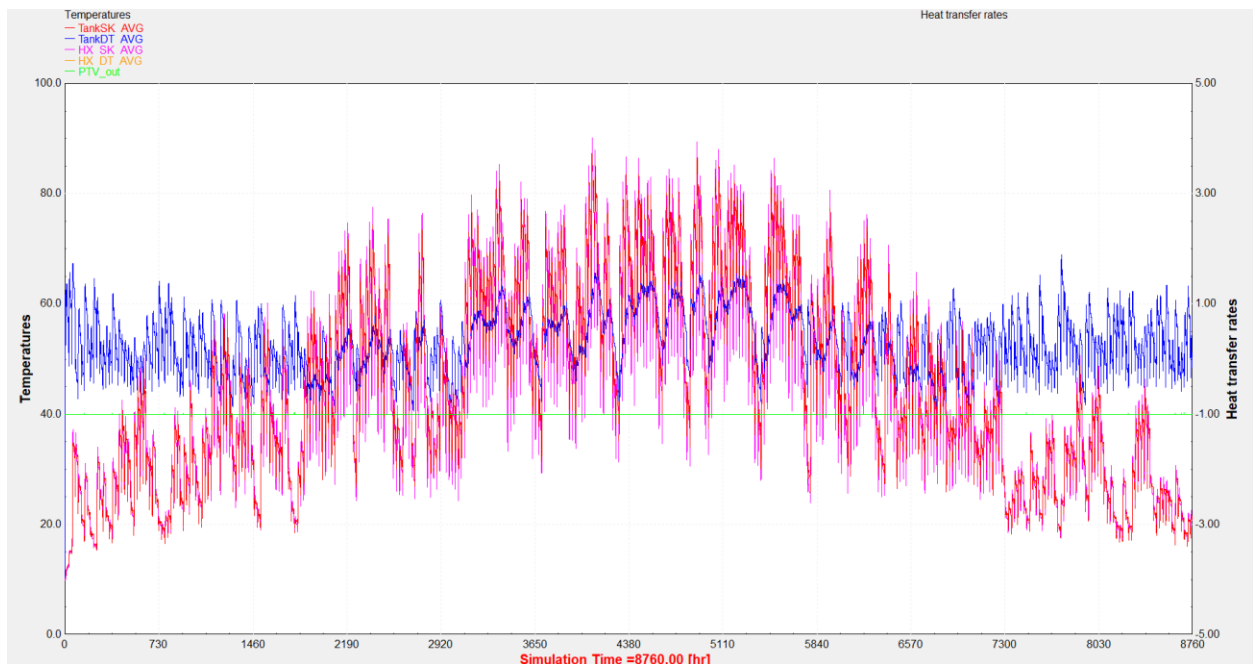
Mjesec	$E_{sol}$ [kWh]	$E_{PTV}$ [kWh]	Pokrivenost PTV-a [%]
Siječanj	44	157	28
Veljača	70	142	49
Ožujak	117	157	75
Travanj	143	152	94
Svibanj	168	157	100
Lipanj	172	152	100
Srpanj	181	157	100
Kolovoz	169	157	100
Rujan	143	152	94
Listopad	119	157	76
Studeni	48	152	32
Prosinac	39	157	25
Ukupno	1413	1846	77

U slučajevima 3 i 4 priprema PTV-a također se vrši solarnim kolektorom, ali je ovdje nedostatak energije namiren dizalicom topline. Simulacija navedene konfiguracije prikazana je na slici 5.15.



Slika 5.15. Simulacija sustava PTV-a, slučajevi 3 i 4

Također je korišten jedan solarni kolektor istog proizvođača i rezultati su prikazani na slici 5.16.



Slika 5.16. Rezultati simulacije PTV-a, slučajevi 3 i 4

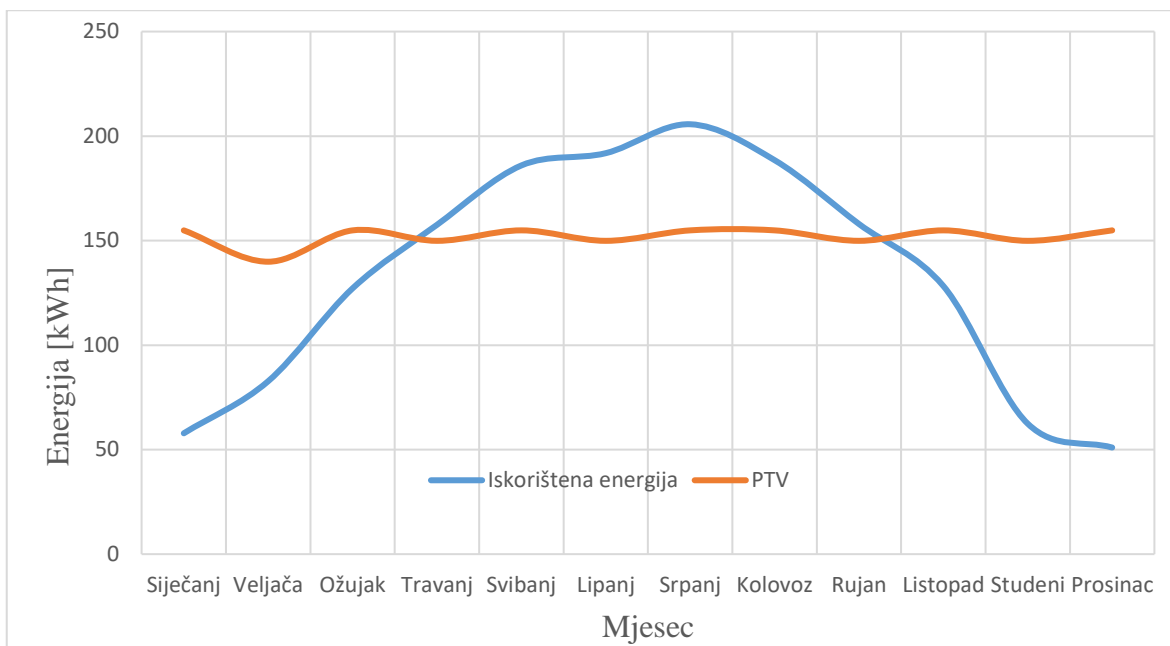
Crvena linija prikazuje prosječnu temperaturu unutar akumulacijskog spremnika u krugu solarnog kolektora, plava prikazuje prosječnu temperaturu u akumulacijskim spremniku unutar kruga dizalice topline. Linija roze boje odnosi se na prosječnu temperaturu unutar izmjenjivača topline solarnog kruga. Temperatura PTV-a prikazana je zelenom bojom i može se uočiti kako ne pada ispod zadanih 40°C. To znači da sustav funkcionira ispravno. Energije su prikazane u tablici 5.11.

Tablica 5.11. Rezultati simulacije PTV-a, slučajevi 3 i 4

Dozračeno [kWh]	Iskorišteno [kWh]	Dizalica topline [kWh]	Potrebno [kWh]
3014	1597	645	1824

Efikasnost kolektora izračuna se kao u prijašnjem slučaju i ona iznosi  $\eta_{sk} = 52.9\%$ . Energija predana vodi je zbroj energije predane u krugu dizalice topline i u krugu solarnog kolektora i iznosi  $E_{uk} = 2241$  kWh. Oduzimanjem potrebne energije za pripremu PTV-a od ukupne predane dolazimo do gubitaka na spremnicima koji iznosi  $E_{gub} = 418$  kWh.

Na slici 5.17. prikazana je mjesečna raspodjela iskorištene energije na izmjenjivaču solarnog kruga i potrebne energije za pripremu PTV-a.



Slika 5.17. Mjesečna raspodjela energija za SK, slučajevi 3 i 4

Kao i kod slučaja 1, tokom ljetnih mjeseci solarni kolektor u potpunosti pokriva potrebe za pripremom PTV-a. Postotak pokrivenosti zahtjeva energije izračunava se prema izrazu 5.8. i prikazan je u tablici 5.12. po mjesecima.

Tablica 5.12. Rezultati simulacije PTV-a po mjesecima, slučajevi 3 i 4

Mjesec	$E_{sol}$ [kWh]	$E_{PTV}$ [kWh]	Pokrivenost PTV-a [%]
Siječanj	58	155	37
Veljača	83	140	59
Ožujak	127	155	82
Travanj	158	150	100
Svibanj	186	155	100
Lipanj	192	150	100
Srpanj	206	155	100
Kolovoz	188	155	100
Rujan	158	150	100
Listopad	128	155	83
Studeni	62	150	42
Prosinac	51	155	33
Ukupno	1413	1823	78

## 5.6. Fotonaponski moduli

Fotonaponski moduli sklopovi su poluvodičkih elemenata koji sunčevu energiju izravno pretvaraju u električnu energiju. Prilikom izlaganja sunčevu zračenju, na krajevima poluvodičkog materijala inducira se napon. Spajanjem kontakata fotonaponske ćelije na trošilo poteći će istosmjerna struja i ćelija postaje izvorom električne energije.

Napon se inducira na sljedeći način:

1. Fotoni iz sunčeva zračenja udaraju u fotonaponsku ćeliju i udaraju u poluvodički materijal
2. Energija fotona potroši se na izbijanje elektrona iz atoma poluvodiča koji postaje slobodan
3. Struja slobodnih elektrona je električna struja

Kako bi se istosmjerna struja mogla iskoristiti u kućanstvu, potrebno ju je pretvoriti u izmjeničnu. To se ostvaruje korištenjem invertera. Najčešće korišteni materijal u izradi fotonaponskih modula je silicij. 90% fotonaponskih ćelija izrađeno je korištenjem silicija, pretežno tehnologija kristalna silicija. Primjer fotonaponske elektrane prikazan je na slici 5.18.



*Slika 5.18. Fotonaponska elektrana RITEH 1[17]*

Primjena fotonaponskih modula jako je rasprostranjena. Koriste se za opskrbljivanje obiteljskih kuća i gospodarstava električnom energijom, a postoje i cijele elektrane. Fotonaponska elektrana je velika fotonaponska instalacija koja proizvedenu električnu energiju predaje u elektroenergetsku mrežu. Također, jako su primijenjeni u svemirskoj industriji.



Neke od prednosti korištenja fotonaponskih modula su:

- Visoka pouzdanost
- Niski troškovi rada i minimalna potreba za održavanjem
- Visoka primjenjivost
- Obnovljiv izvor energije

Fotonaponska tehnologija ima i svoje mane, a neke od njih su sljedeće:

- Upotreba toksičnih materijala pri izradi fotonaponskih ploča
- Dobivanje silicija energetski je jako zahtjevno
- Velika površina za ugradnju elektrana
- Površina ispod fotonaponskog panela postaje neupotrebjljiva

Prije odabira panela, mora se odrediti površina na koju će oni biti postavljeni. Površina krova podijeljena je na 4 trokuta. U ovom slučaju, solarni paneli pokriti će južnu i istočnu površinu krova.

Odabrani fotonaponski panel je Model SV60E proizvođača Solvis. (slika 5.19.) [18]



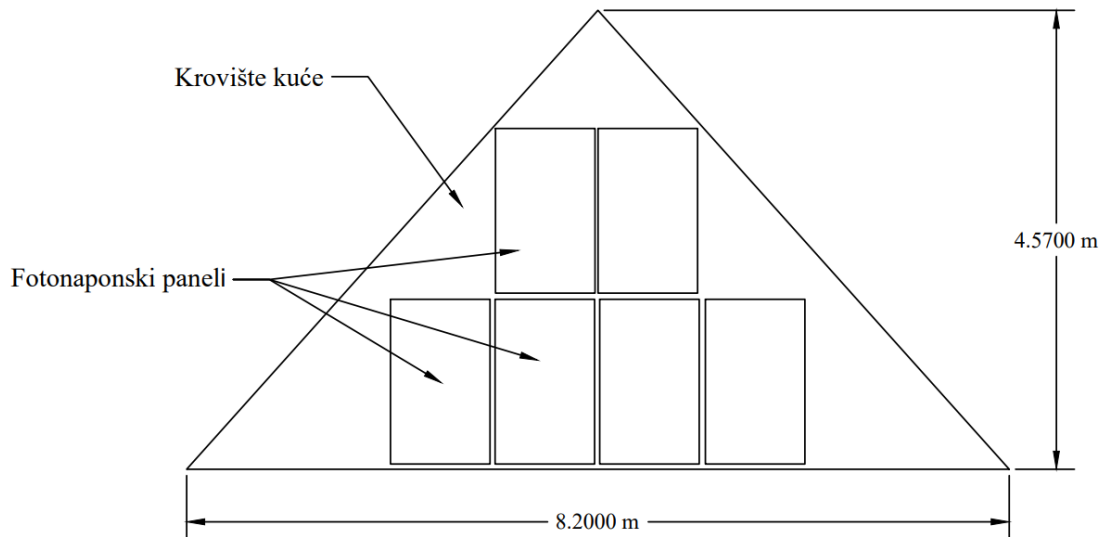
*Slika 5.19. Fotonaponski panel Model SV60E [18]*

U tablici 5.13. prikazane su karakteristike odabranog fotonaponskog panela:

Tablica 5.13. Karakteristike fotonaponskog panela Model SV60E

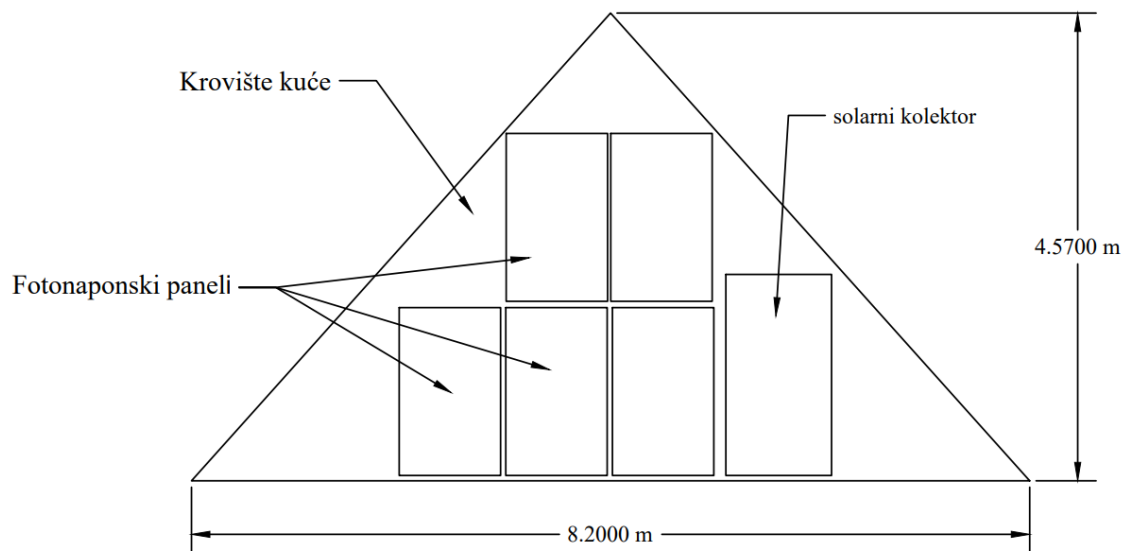
Standardni testni uvjeti	
Maksimalna snaga $P_{MPP}$ [W]	310
Struja kratkog spoja $I_{SC}$ [A]	9.81
Napon otvorenog kruga $V_{OC}$ [V]	40.38
Nazivna struja $I_{MPP}$ [A]	9.36
Nazivni napon $V_{MPP}$ [V]	33.28
Učinkovitost panela [%]	19.05
Nazivna radna temperatura ćelije	
Maksimalna snaga $P_{MPP}$ [W]	226.7
Struja kratkog spoja $I_{SC}$ [A]	7.88
Napon otvorenog kruga $V_{OC}$ [V]	37.1
Nazivna struja $I_{MPP}$ [A]	7.48
Nazivni napon $V_{MPP}$ [V]	30.3
Mehanički podaci	
Dimenzije H × W × D [mm]	1640 × 992 × 40
Masa [kg]	18.3
Broj ćelija	60

Površina jednog fotonaponskog panela iznosi  $A_{FN} = 1.63 \text{ m}^2$ . Površina jedne stranice krova iznosi  $A_{krov, str} = 18.74 \text{ m}^2$ . Dijeljenjem površina došli bi do zaključka da stane 11 panela, ali kako je krov oblika četverostrane piramide, to nije moguće. Najveći broj panela koji može pokriti ovakvu površinu je 6. (slika 5.20.) Kako je već gore navedeno, pokrivene su dvije strane krova i ukupni broj postavljenih fotonaponskih panela je 12. Energije proizvedena na panelima koristi se za pogon dizalice topline i pokriva samo dio potrebne energije. Navedena izvedba korištena je u slučajevima 2 i 4 gdje nema solarnog kolektora za PTV.



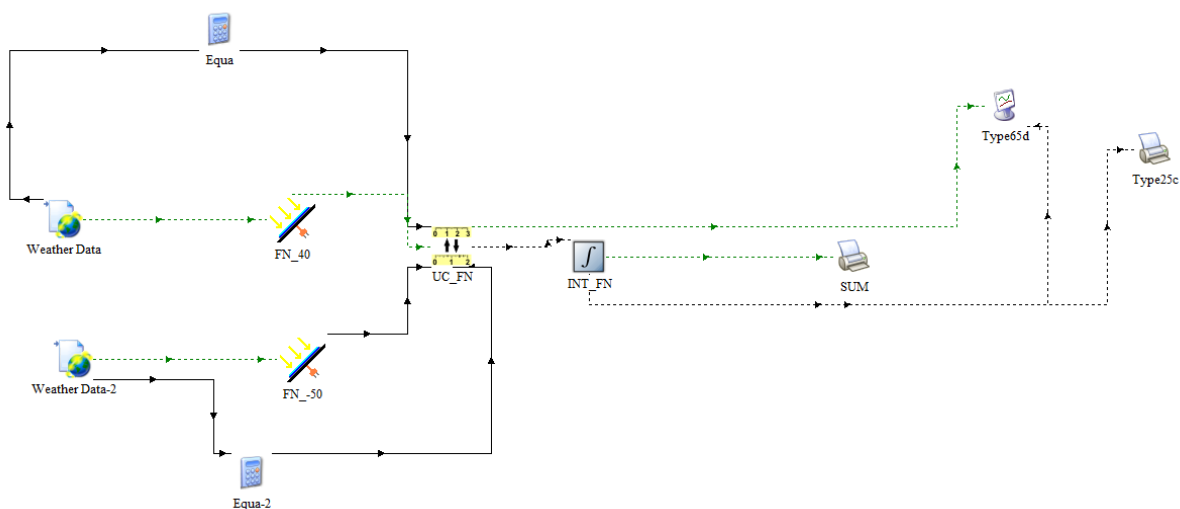
*Slika 5.20. Raspored fotonaponskih panela na krovu obiteljske kuće*

U slučaju 4 gdje se nalaze solarni kolektor za PTV i fotonaponski paneli, površina pokrivena fotonaponskim panelima biti će umanjena za površinu solarnog kolektora. To će rezultirati umanjenom proizvedenom električnom energijom u odnosu na slučajeve 2 i 4. Površina solarnog kolektora za PTV je  $A_{PTV} = 2.031 \text{ m}^2$ . Izgled krovišta u navedenoj konfiguraciji prikazan je na slici 5.21.



*Slika 5.21. Raspored fotonaponskih panela i solarnog kolektora na krovu obiteljske kuće*

Simulacija fotonaponskog sustava prikazana je na slici 5.22.



Slika 5.22. Simulacija fotonaponskog sustava

Proizvedena električna energija u slučaju 2 iznosi  $E_{pr,2} = 3817$  kWh. U konfiguraciji sustava 4 proizvedena električna energija iznosi  $E_{pr,4} = 3415$  kWh. Razlika u proizvedenoj energiji rezultat je zbog jednog panela manje u sustavu slučaja 4 u odnosu na sustav iz slučaja 2.

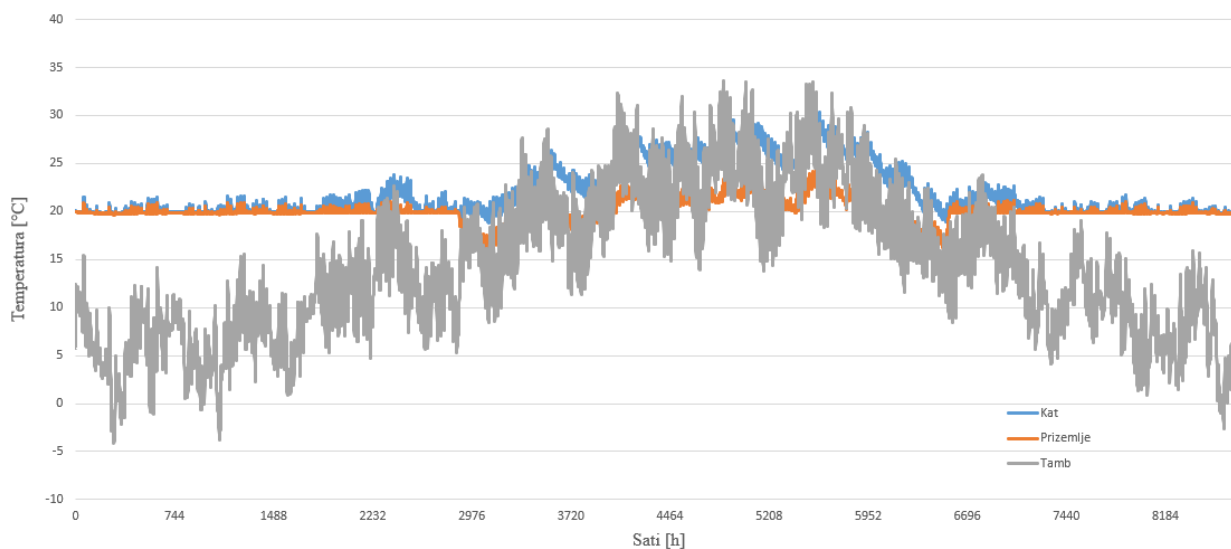
## 6. ANALIZA REZULTATA SIMULACIJE

Uz pomoć svih opisanih modela sustava grijanja i pripreme potrošne tople vode, izrađene su simulacije. Rezultati su sačinjeni od podataka o potrošenoj električnoj energiji glavnih i pomoćnih uređaja, potrošenoj energiji lož ulja, proizvedenoj električnoj energiji, predaji topline na solarnom kolektoru te temperatura prostora i spremnika. U nastavku su prikazani podaci za grijanje i pripremu PTV-a za sve opisane slučajeve. Temperature su bilježene svaki sat u godišnjoj simulaciji koja traje 8760h.

### 6.1. Temperature

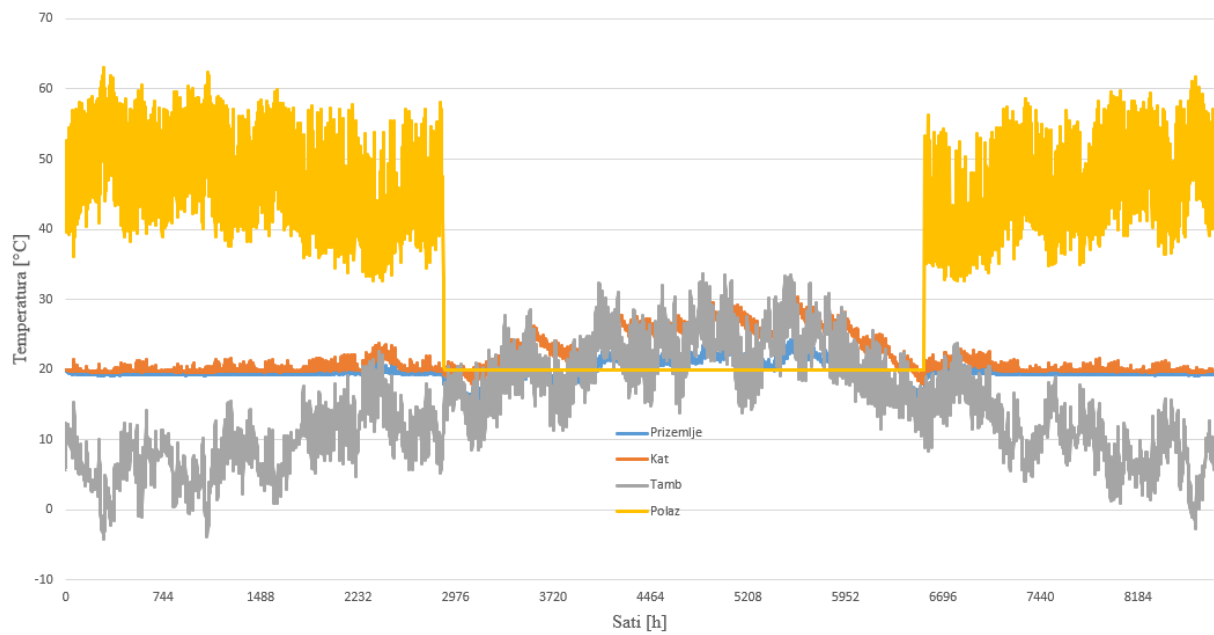
Temperaturni podaci važni su kako bi pokazali ispravnost postavljenih sustava grijanja i pripreme PTV-a. Ako su temperature u predviđenim rasponima, sustav funkcionira ispravno.

Na slici 6.1. prikazano je ponašanje prosječnih temperatura kata i prizemlja za konfiguraciju slučaja 1. Možemo primijetiti kako kotao bez problema održava temperaturu zraka na odgovarajućoj razini. U zonama na katu dolazi i do pregrijavanja prostora u nekim trenucima. To je rezultat velike ostakljenosti prostora i dobre izloženosti prema sunčevom zračenju.



Slika 6.1. Temperature toplinskih zona – slučaj 1

Za slučajeve 2,3 i 4 grijanje vrši dizalica topline, a prosječne temperature grijanih prostora ponašaju se kako je prikazano na slici 6.2. Također je prikazana i temperatura polaznog voda.



*Slika 6.2. Temperature toplinskih zona – slučajevi 2,3 i 4*

Dizalica topline bez problema održava temperature na odgovarajućim razinama. Možemo primijetiti kako ima manje pregrijavanja prostora u odnosu na sustav s kotlom što je rezultat klizne regulacije temperature polaznog voda u ovisnosti o vanjskoj temperaturi zraka. Temperatura polaznog voda nalazi se unutar predviđenih granica uz manje skokove za vrijeme najhladnijih trenutaka.

## 6.2. Potrošnja energije

Rezultati o potrošnji energije glavni su razlog zašto su slagane ove simulacije. Oni su nam direktan pokazatelj koji sustav je bolji u odnosu na ostale. Iz rezultata o potrošnji energije kasnije će se provesti analiza troškova energije. Za lakše praćenje prikazanih rezultata, izvedbe sustava navedene su prema sljedećem:

- Slučaj 1 – Postojeći sustav grijanja u temperaturnom režimu 70/50, solarni kolektor i spremnik za PTV od 200l potpomognut električnim grijačem
- Slučaj 2 – Dizalica topline za grijanje i pripremu PTV-a, fotonaponski moduli
- Slučaj 3 – Dizalica topline za grijanje i pripremu PTV-a s solarnim kolektorom
- Slučaj 4 – Dizalica topline za grijanje i pripremu PTV-a s solarnim kolektorom i fotonaponskim modulima

Razmotriti će se korisna energija, finalna energija i primarna energija. Korisna energija odnosi se na svu energiju predanu vodi u krugu grijanja i u krugu PTV-a. Finalna energija je ona energija koju su dizalica topline, solarni kolektor i kotao proizveli kako bi vodu u krugovima grijanja i PTV-a zagrijali na odgovarajuće temperature. Primarna energija je ona količina energije koja je uzeta iz prirode bez ikakve danje prerade ili transformacije. Faktor primarne energije  $f_s$  mijenja se ovisno o vrsti energenta. U ovom slučaju koriste se faktori za lož ulje i električnu energiju uzetu iz elektroenergetske mreže koji iznose  $f_{s,el} = 1.583$  i  $f_{s,lu} = 1.181$ . [19]

Rezultati korisne i finalne energije prikazani su u tablicama 6.1. i 6.2.

Tablica 6.1. Korisne energije

	Korisna energija kotla [kWh]	Korisna energija dizalice topline [kWh]	Korisna energija solarnog kolektora [kWh]	Korisna energija električnog grijača [kWh]	Ukupna korisna energija [kWh]
Slučaj 1	20449	-	1413	638	22500
Slučaj 2	-	19034	-	-	19034
Slučaj 3	-	17092	1597	-	18689
Slučaj 4	-	17092	1597	-	18689

Tablica 6.2. Finalne energije

	Finalna energija kotla [kWh]	Finalna energija dizalice topline [kWh]	Finalna energija solarnog kolektora [kWh]	Finalna energija električnog grijača [kWh]	Ukupna finalna energija [kWh]
Slučaj 1	22471	-	1413	651	24535
Slučaj 2	-	19422	-	-	19422
Slučaj 3	-	17441	1597	-	19038
Slučaj 4	-	17441	1597	-	19038

Sljedeća određena energija je primarna energija. Ona se dijeli na dva dijela, primarnu energiju lož ulja i primarnu električnu energiju. Kako bi izračunali primarne energije, prvo se određuje utrošena energija. Električnu energiju dijelimo na energiju potrebnu za pogon pumpi  $E_{pump}$ , energiju za pogon dizalice topline  $E_{dt}$  i energiju za rad električnog grijača  $E_{el,gr}$ . Kod sustava koji proizvode električnu energiju, utrošenu energiju treba umanjiti za iznos proizvedene energije, to su slučajevi 2 i 4. Utrošena energija lož ulja odnosi se samo na kotao, odnosno slučaj 1. Rezultati su prikazani u tablici 6.3.

Tablica 6.3. Utrošena i proizvedena električna energija

	Za rad pumpi [kWh]	Za rad dizalice topline [kWh]	Za rad električnog grijača [kWh]	Proizvedena električna energija [kWh]	Ukupno [kWh]
Slučaj 1	771	-	651	-	1422
Slučaj 2	1032	7590	-	3817	4805
Slučaj 3	1319	6855	-	-	8174
Slučaj 4	1319	6855	-	3415	4759

Sa rezultatima o finalnoj i utrošenoj energiji može se odrediti sezonski faktor grijanja dizalice topline za svaki slučaj. On predstavlja omjer finalne energije i utrošene energije i prikazan je u sljedećoj tablici 6.4.



Tablica 6.4. Sezonski faktor COP za promatrane slučajeve

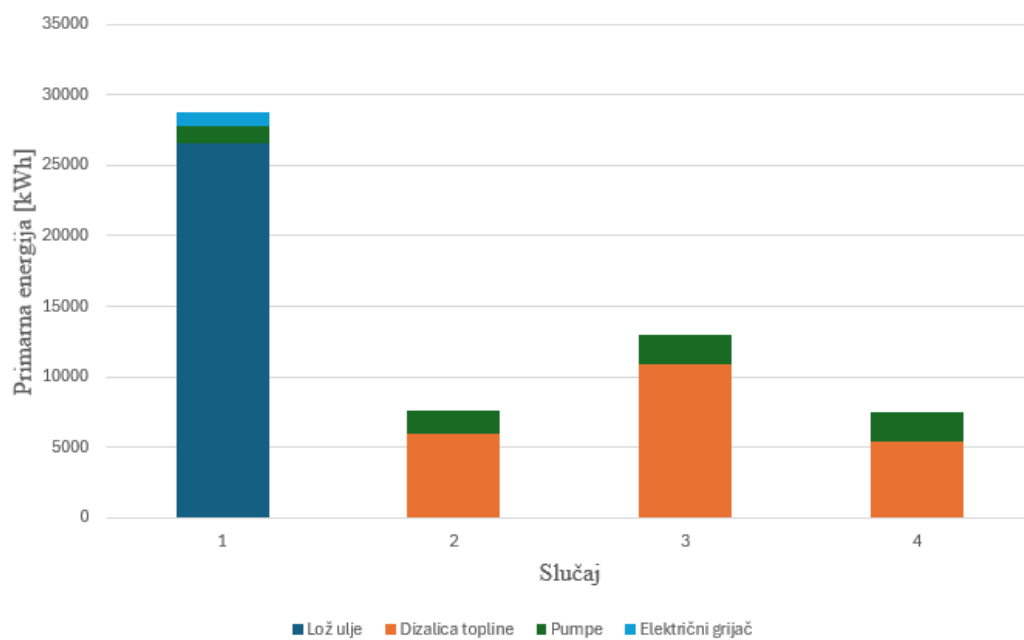
Slučaj	Sezonski faktor grijanja COP
2	2.56
3	2.54
4	2.54

Korištenjem poznatih podataka o uloženim energijama i faktorima primarne energije  $f_s$  mogu se izračunati primarna energija lož ulja  $E_{prim,lu}$  i primarna električna energija  $E_{prim,el}$ . Zbrajanjem ove dvije energije dobiva se ukupna primarna energija  $E_{prim,uk}$ . Primarna energija je ona količina energije koja je uzeta iz prirode bez ikakve danje prerade ili transformacije. Faktor primarne energije  $f_s$  mijenja se ovisno o vrsti energenta. U ovom slučaju koriste se faktori za lož ulje i električnu energiju uzetu iz elektroenergetske mreže koji iznose  $f_{s,el} = 1.583$  i  $f_{s,lu} = 1.181$ . [19] Rezultati primarne energije prikazani su u tablici 6.5.

Tablica 6.5. Primarne energije promatranih sustava

	Primarna energija lož ulja [kWh]	Primarna električna energija [kWh]	Ukupna primarna energija [kWh]	Ukupna primarna energija [kWh/m <sup>2</sup> ]
Slučaj 1	26538	2251	28789	195
Slučaj 2	0	7606	7606	52
Slučaj 3	0	12939	12939	88
Slučaj 4	0	7533	7533	51

Prema tehničkom propisu [3] najveća dozvoljena vrijednost primarne energije po jedinici korisne površine u primorskim krajevima iznosi  $E_{prim}/A = 80$  kWh/m<sup>2</sup>. Prema tome svi slučajevi sa dizalicom topline zadovoljavaju ovaj propis osim slučaja 3 kojem malo nedostaje. Posebno se ističu slučajevi 2 i 4 zbog velikog udjela obnovljivih izvora energije. Primarne energije podijeljene po udjelima prikazane su u dijagramu na slici 6.3.



*Slika 6.3. Primarne energije promatranih sustava*

Iz slike 6.3. vidi se da su primarne energije svih slučajeva s dizalicom topline značajno manje u odnosu na slučaj 1 koji je pogonjen kotlom. U slučajevima 2 i 4 imamo izraženiji udio obnovljivih izvora energije zbog fotonaponskih modula i zbog toga su primarne energije manje u odnosu na slučaj 3.

## 7. EKONOMSKA ANALIZA

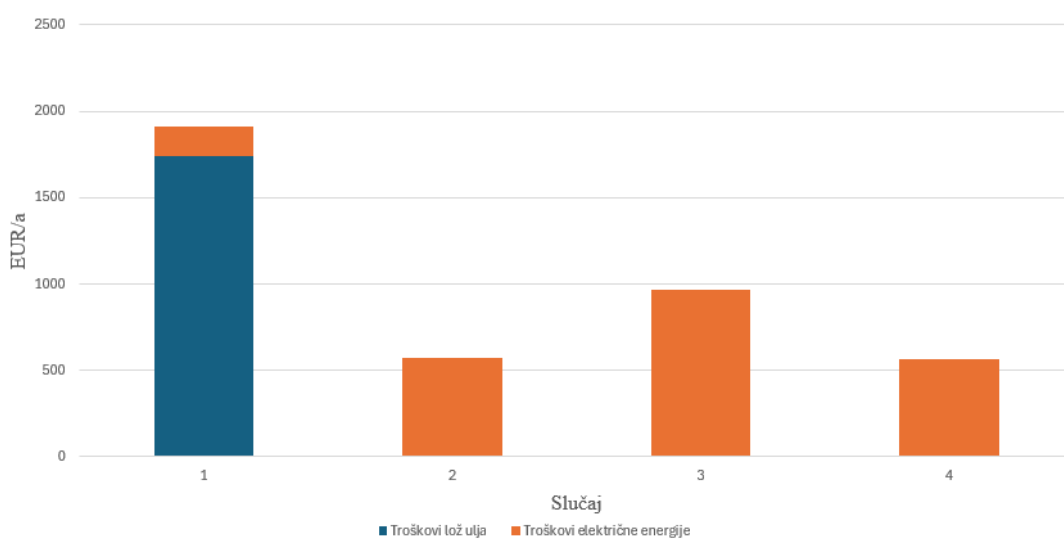
Prema ekonomskoj analizi odabrati će se najpovoljnija varijanta sustava. Cijela poanta projektiranja novog sustava je poboljšanje isplativosti i čim manji troškovi. Troškovi su podijeljeni na pogonske i investicijske troškove i analizirani su u nastavku.

### 7.1. Pogonski troškovi

Iz primarnih energija prikazanih u prijašnjem poglavlju, izračunati su pogonski troškovi. Za troškove električne energije uzet je podatak za bijeli tarifni model s višom tarifom čija je cijena 0.084512 EUR/kWh s PDV-om. Za troškove lož ulja, uzeta je cijena važeća s datumom 31.08.2024. od INA-e i ona iznosi 0.87 EUR/L. Uzevši u obzir gustoću lož ulja od 860 kg/m<sup>3</sup> i donju ogrjevnu moć od 41000 kJ/kg, dolazimo do cijene lož ulja po kilovat-satu od 0.066 EUR/kWh. Rezultati su prikazani u tablici 7.1. i na slici 7.1. U trošak električne energije uračunat je i godišnji trošak distribucije.

Tablica 7.1. Pogonski troškovi

Slučaj	Troškovi lož ulja $T_{lu}$ [EUR]	Troškovi električne energije $T_{el}$ [EUR]	Ukupni pogonski troškovi $T_{uk}$ [EUR]
1	1743	180	1924
2	-	581	581
3	-	980	980
4	-	575	575



Slika 7.1. Pogonski troškovi po različitim sustavima

## 7.2. Investicijski troškovi

Investicijski troškovi odnose se na troškove nabave nove opreme, njenu montažu i puštanje u pogon. Investicijski troškovi podijeljeni su u troškove po izvedbi sustava. Cijene uređaja i radova izračunate su prema aktualnom stanju u Republici Hrvatskoj. U sljedećim tablicama prikazani su troškovi opreme i radova za svaki sustav. Pretpostavljena vrijednost radova i transporta je 25% nabavne cijene, a PDV iznosi 25%. Pretpostavlja se da su zadovoljeni svi uvjeti za dobivanje državnih poticaja za energetske obnovu obiteljske kuće. Cijene dizalice topline, opreme sustava sunčanog kolektora i fotonaponske elektrane umanjene su za državni poticaj u danjem proračunu. Državni poticaji prikazani su u tablici 7.2, a investicijski troškovi u tablicama 7.3., 7.4., 7.5 i 7.6.

Tablica 7.2. Državni poticaju za energetske obnovu obiteljskih kuća [21]

M2.1 Dizalice topline za grijanje PTV-a i grijanje/hlađenje	60%
M2.2 Sustav sa sunčanim toplinskim kolektorima	60%
M3 Izgradnja fotonaponske elektrane za proizvodnju električne energije za vlastitu potrošnju	50%

Tablica 7.3. Investicijski troškovi sustava 1

Oprema		Jed. Cijena [EUR]	Količina	Ukupna cijena [EUR]
Spremnik PTV-a	STB 200L	1015	1	1015
Cijevi	Ø18 bakrena izolirana	7.20	10	72
Ventili	Zaporni, 18mm	10	2	20
Solarni sustav	Solarni kolektor Tehnomont SKT 100	650	1	661 (1653)
	Solarni regulator Cm-SOL	308	1	
	Pumpna grupa HERZ Pumpix Solar	340	1	
	Pričvrzni set za krov	210	1	
	Ekspanzijska posuda	45	1	
	Tekućina za punjenje	100	1	
<b>Ukupno</b>				<b>1768</b>
Transport, montaža i dodatni troškovi, 25%				442
<b>Ukupno s montažom</b>				<b>2210</b>
PDV, 25%				553
<b>Ukupna investicija</b>				<b>2763</b>

Tablica 7.4. Investicijski troškovi sustava 2

Oprema		Jed. Cijena [EUR]	Količina	Ukupna cijena [EUR]
Dizalica topline	Aermec Anki 075	7320	1	2928 (7320)
Akumulacijski spremnik	Tessy Puffer 100L	593	1	508
Cirkulacijska pumpa	Alpha1 25-80 180 Grundfos	450	1	450
Spremnik PTV-a	STB 200L	1015	1	1015
Fotonaponska elektrane	Paneli Solvis SV60E	105	12	1437 (2874)
	Inverter Sungrow SG15RT	1407	1	
	Set za montažu Eco-Worthy	52	3	
	Kablovi H1Z2Z2-K 1x4 mm	1	50	
<b>Ukupno</b>				<b>6338</b>
Transport, montaža i dodatni troškovi, 25%				1585
<b>Ukupno s montažom</b>				<b>7923</b>
PDV, 25%				1981
<b>Ukupna investicija</b>				<b>9904</b>

Tablica 7.5. Investicijski troškovi sustava 3

Oprema		Jed. Cijena [EUR]	Količina	Ukupna cijena [EUR]
Spremnik PTV-a	STB 200L	1015	2	2030
Cijevi	Ø18 bakrena izolirana	7.20	10	72
Ventili	Zaporni, 18mm	10	2	20
Solarni sustav	Solarni kolektor Tehnomont SKT 100	650	1	661 (1653)
	Solarni regulator Cm-SOL	308	1	
	Pumpna grupa HERZ Pumpix Solar	340	1	
	Pričvrtni set za krov	210	1	
	Ekspanzijska posuda	45	1	
	Tekućina za punjenje	100	1	
Dizalica topline	Aermec ANKI 075	7320	1	2928 (7320)
Akumulacijski spremnik	Tessy Puffer 100L	450	1	450
Cirkulacijska pumpa	Alpha1 25-80 180 Grundfos	1240	1	1240
<b>Ukupno</b>				<b>7401</b>
Transport, montaža i dodatni troškovi, 25%				1850
<b>Ukupno s montažom</b>				<b>9251</b>
PDV, 25%				2313
<b>Ukupna investicija</b>				<b>11564</b>

Tablica 7.6. Investicijski troškovi sustava 4

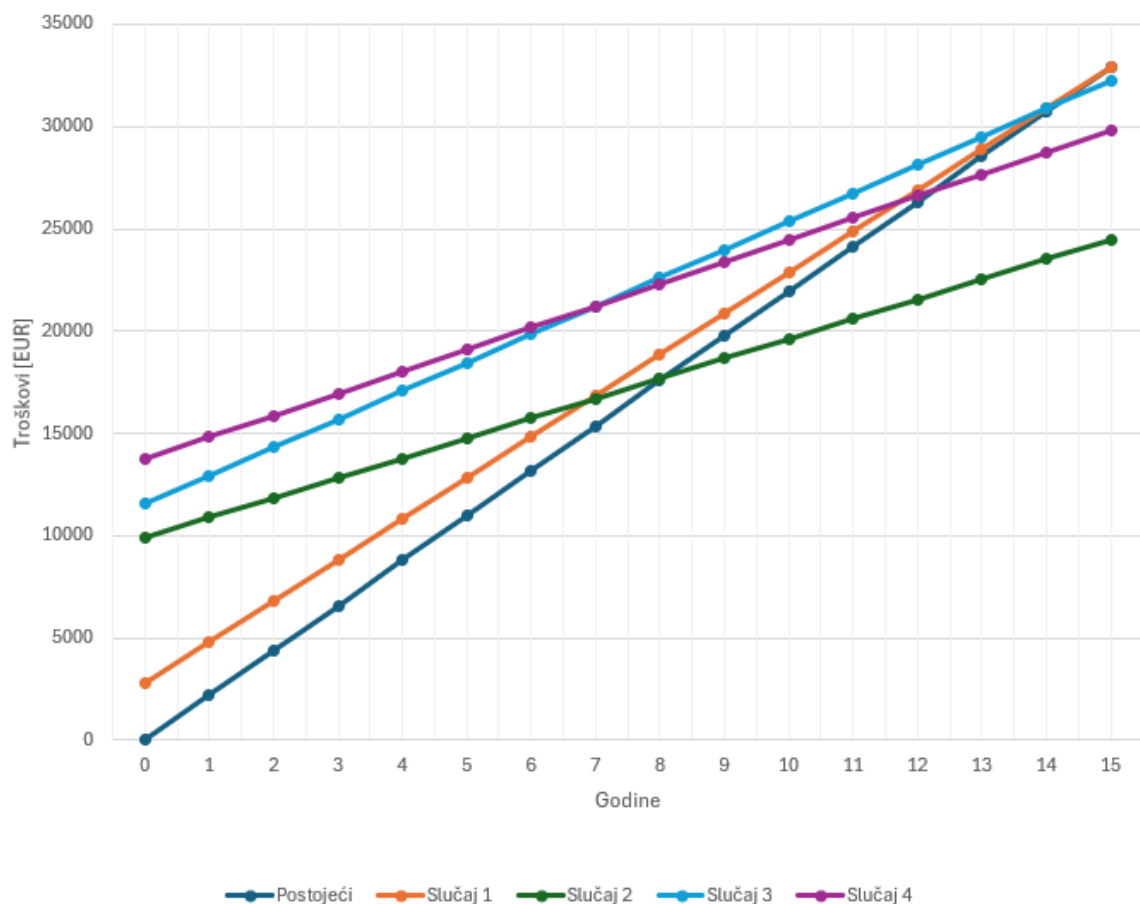
Oprema		Jed. Cijena [EUR]	Količina	Ukupna cijena [EUR]
Spremnik PTV-a	STB 200L	1015	2	2030
Cijevi	Ø18 bakrena izolirana	7.20	10	72
Ventili	Zaporni, 18mm	10	2	20
Solarni sustav	Solarni kolektor Tehnomont SKT 100	650	1	661 (1653)
	Solarni regulator Cm-SOL	308	1	
	Pumpna grupa HERZ Pumpix Solar	340	1	
	Pričvrtni set za krov	210	1	
	Ekspanzijska posuda	45	1	
	Tekućina za punjenje	100	1	
Dizalica topline	Aermec ANKI 075	7320	1	2928 (7320)
Akumulacijski spremnik	Tessy Puffer 100L	450	1	450
Cirkulacijska pumpa	Alpha1 25-80 180 Grundfos	1240	1	1240
Fotonaponska elektrana	Paneli Solvis SV60E	105	11	1384 (2768)
	Inverter Sungrow SG15RT	1407	1	
	Set za montažu Eco-Worthy	52	3	
	Kablovi H1Z2Z2-K 1x4 mm	1	50	
<b>Ukupno</b>				<b>8785</b>
Transport, montaža i dodatni troškovi, 25%				2196
<b>Ukupno s montažom</b>				<b>10981</b>
PDV, 25%				2745
<b>Ukupna investicija</b>				<b>13726</b>

Troškovi održavanja podrazumijevaju troškove upravljanja sustavom, osiguranje, servis i slično. Opća praksa je uzeti 2% ukupne investicije za troškove održavanja godišnje. Iz toga slijede troškovi održavanja za svaki sustav koji su prikazani u tablici 7.7.

Tablica 7.7. Troškovi održavanja za svaki novi sustav

Slučaj	Troškovi održavanja [EUR]
1	87
2	391
3	400
4	497

Zbrajanjem investicijskih troškova s troškovima pogona i održavanja dobiva se dijagram investicijske isplativosti za životni vijek dizalice topline od 15 godina. Dobiveni rezultati su prikazani dijagramom na slici 7.2.



Slika 7.2. Analiza ukupnih troškova

Iz dijagrama se može vidjeti kako će se slučaj 1 isplatiti krajem promatranog perioda od 15 godina. Slučajevi 3 i 4 predstavljaju značajan pomak u pogledu pogonskih troškova, ali zbog veće početne investicije imaju sličnu isplativost kao i slučaj 1. Slučaj 2 predstavlja najbolju opciju s obzirom na najbrže vrijeme povrata investicije. Investicija se vraća nakon 8 godina.

## 8. ZAKLJUČAK

Na početku rada prikazana je obiteljska kuća na Škrljevu. Zatim je opisan postupak izrade 3D modela korištenjem programa za modeliranje SketchUp. Objekt je raspoređen na toplinske zone i tako izrađen u modelu. Toplinske zone imenovane su sukladno poziciji u objektu. Model je izrađen u skladu sa stvarnim mjerama koje su prethodno utvrđene na terenu. Definirane su granične plohe i zadana su im imena. Zatim slijedi ubacivanje 3D modela u softver TRNSYS. U TRNSYS-u su definirane sve granične površine 3D modela. To se odnosi na vanjske zidove, pregradne zidove, međukatne konstrukcije, pod i krov. Određuje im se sastav i koeficijent prijelaza topline. Određeni su režimi upravljanja objektom, a to su grijanje, hlađenje, ventilacija i toplinski dobici. Također definiraju se orijentacija i lokacija objekta. Kreira se osnovna simulacija iz koje se dobivaju projektni učinci za daljnje dimenzioniranje sustava. Također, kreira se simulacija postojećeg sustava grijanja kako bi se rezultati simulacije usporedili sa stvarnim stanjem. Na taj način potvrđuje se usklađenost simulacije i stvarnog stanja. Zatim slijede idejna rješenja novih sustava grijanja i njihovo dimenzioniranje. Odabrane su četiri varijante nazvane slučaj 1, 2, 3 i 4. Slučaj 1 je sastavljen od postojećeg sustava grijanja s nižim temperaturnim režimom i solarnog sustava pripreme PTV-a. Slučaj 2 implementira dizalicu topline i solarnu elektranu. Slučaj 3 također koristi dizalicu topline, ali umjesto solarne elektrane koristi samo solarni sustav pripreme PTV-a. Kao zadnji sustav, slučaj 4 koristi dizalicu topline, solarnu elektranu i solarni sustav pripreme PTV-a. Po završetku simulacija, provode se energetska i ekonomska analiza za svaki slučaj.

Utvrđeno je kako u obzir dolaze samo sustavi koji koriste dizalicu topline. Sustav korišten u slučaju 2 pokazao se najisplativijim sa povratom investicije oko 8 godina.

Može se zaključiti kako dizalice topline predstavljaju najpovoljnije rješenje. Dodatno tome, sustavi koji uz dizalice topline koriste i obnovljive izvore energije su još bolja alternativa. Ovakvi sustavi sigurno su naša budućnost i treba se okrenuti prema tome. Pod pretpostavkom da će cijene fosilnih goriva nastaviti rasti, sustavi s obnovljivim izvorima energije biti će sve poželjnija opcija. To će rezultirati daljnjim istraživanjem i poboljšanjem spomenutih sustava. Posljedično, smanjiti će se korištenje fosilnih goriva i emisija štetnih sastojaka u atmosferu.



## 9. LITERATURA

- [1] University of Wisconsin-Madison: "About TRNSYS", s internetske stranice, <https://sel.me.wisc.edu/trnsys/features/features.html>
- [2] Thermal Energy System Specialists, LLC: "TRNSYS?", "Features", s internetske stranice, <http://www.trnsys.com/index.html>
- [3] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama"; Narodne novine, 2015.
- [4] Predavanja i vježbe iz kolegija „Računalno modeliranje sustava u termoenergetici i termotehnici“ 2023.
- [5] Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje s internetske stranice, <https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/Propisi/2017/Algoritam-HRN-EN-ISO-13790.pdf>
- [6] S internetske stranice, <https://lipovica.hr/katalozi/>
- [7] S internetske stranice, <https://www.ariston.com/hr-hr/products/grijalice-vode/elektricni-bojleri-srednjeg-kapaciteta/lydos-r>
- [8] S internetske stranice, <https://pdf.indiamart.com/impdf/9359104162/MY-1169443/riello-tregi-series-hot-water-generators.pdf>
- [9] S internetske stranice, <https://www.centrometal.hr/portfolio/stb/>
- [10] „TessLibs 17, Volume 11, Storage Tank Library Mathematical Reference“; Thermal Energy System Specialists, Madison USA, 2014.
- [11] Prof. dr. sc. Wolf I.: Predavanja i vježbe iz kolegija „Obnovljivi izvori energije“, Tehnički fakultet u Rijeci, 2022.
- [12] Predavanja i vježbe kolegija: Tehnika hlađenja; Tehnički fakultet, 2022.
- [13] S internetske stranice: <https://magellano.aermec.com/LogMe.aspx?lang=en>
- [14] "TessLibs 17, Volume 2, Controls Component Library Mathematical Reference“; Thermal Energy System Specialists, Madison USA, 2012.
- [15] S internetske stranice, <https://www.grundfos.com/hr>

[16] "Trnsys 17, Volume 4", Mathematical Reference, Solar Energy Laboratory; University of Wisconsin-Madison, 2014.

[17] S internetske stranice, <http://www.riteh.uniri.hr/ustroj/zavodi/zee/laboratorij-za-elektricna-postrojenja-i-sekundarne-sustave/>

[18] S internetske stranice <https://solvis.hr/>

[19] S internetske stranice

[https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/meteoroloski\\_podaci/Tabelle\\_faktori\\_prim.en-1.4.2022..pdf](https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/meteoroloski_podaci/Tabelle_faktori_prim.en-1.4.2022..pdf)

[20] S internetske stranice <https://www.heat-exchangers.uk/heat-pump/>

[21] <https://energetska-obnova.hr/>

## 10. POPIS SLIKA

Slika 2.1. Tlocrt prizemlja obiteljske kuće.....	3
Slika 2.2. Tlocrt kata obiteljske kuće .....	4
Slika 2.3. Tlocrt krova kuće .....	4
Slika 2.4. Jugozapadna fasada obiteljske kuće.....	5
Slika 2.5. Jugozapadna fasada obiteljske kuće.....	5
Slika 2.6. Jugoistočna fasada.....	6
Slika 2.7. Sjeverozapadna fasada .....	6
Slika 2.8. 3D model toplinskih zona prizemlja .....	7
Slika 2.9. 3D model toplinskih zona kata.....	8
Slika 2.10. 3D model krova i potkrovlja .....	8
Slika 2.11. Prikaz potpunog 3D modela obiteljske kuće.....	9
Slika 2.12. Prikaz alata “Object info“ sa definiranim vanjskim zidom.....	10
Slika 2.13. Prikaz sheme toplinskog modela u programu Simulation Studio .....	10
Slika 2.14. Layer type manager.....	11
Slika 2.15. Window type manager .....	15
Slika 3.1. Prosječna temperatura po etažama obiteljske kuće - siječanj .....	20
Slika 3.2. Prosječna temperatura po etažama obiteljske kuće – srpanj .....	20
Slika 3.3. Približni faktori oblika za različite zgrade .....	22
Slika 3.4. Projektni učinak grijanja za najhladniji mjesec (siječanj) .....	24
Slika 4.1. Radijator unutar obiteljske kuće .....	26
Slika 4.2. Kotao Riello Tregi 5 .....	28
Slika 4.3. Dinamika potrošnje tople vode .....	31
Slika 4.4. Bojler Ariston Lydos R 80 .....	31
Slika 4.5. Shema trenutnog sustava PTV-a .....	32
Slika 4.6. Dijagram raspodjele finalne energije kotla .....	34
Slika 4.7. Kretanje temperature prostora po etažama.....	34
Slika 4.8. Usporedba finalne energije kotla osnovne simulacije i simulacije postojećeg stanja...	35
Slika 5.1. Shema termotehničkog sustava slučaj 1 .....	36
Slika 5.2. Shema termotehničkog sustava slučaj 2.....	37
Slika 5.3. Shema termotehničkog sustava slučaj 3.....	38
Slika 5.4. Shema termotehničkog sustava slučaj 4.....	38
Slika 5.5. Spremnik STB 200 [9] .....	41
Slika 5.6. Prikaz dizalice topline sa toplinskim izvorima i ponorima [11] .....	43
Slika 5.7. Osnovna shema dizalice topline [20] .....	43

Slika 5.8. Dijagram idealnog procesa dizalice topline [12] .....	44
Slika 5.9. Graf monovalentnog načina rada dizalice topline [11] .....	45
Slika 5.10. Ovisnost ukupnog učinka grijanja o promjeni temperature vanjskog zraka .....	46
Slika 5.11. Ovisnost učinka grijanja po zonama o promjeni temperature vanjskog zraka .....	46
Slika 5.12. Simulacija sustava PTV-a, slučaj 1 .....	51
Slika 5.13. Rezultati simulacije PTV-a, slučaj 1 .....	52
Slika 5.14. Mjesečna raspodjela energija za SK, slučaj 1 .....	53
Slika 5.15. Simulacija sustava PTV-a, slučajevi 3 i 4.....	54
Slika 5.16. Rezultati simulacije PTV-a, slučajevi 3 i 4.....	55
Slika 5.17. Mjesečna raspodjela energija za SK, slučajevi 3 i 4 .....	56
Slika 5.18. Fotonaponska elektrana RITEH 1[17] .....	57
Slika 5.19. Fotonaponski panel Model SV60E [18].....	58
Slika 5.20. Raspored fotonaponskih panela na krovu obiteljske kuće .....	60
Slika 5.21. Raspored fotonaponskih panela i solarnog kolektora na krovu obiteljske kuće .....	60
Slika 5.22. Simulacija fotonaponskog sustava .....	61
Slika 6.1. Temperature toplinskih zona – slučaj 1 .....	62
Slika 6.2. Temperature toplinskih zona – slučajevi 2,3 i 4 .....	63
Slika 6.3. Primarne energije promatranih sustava.....	67
Slika 7.1. Pogonski troškovi po različitim sustavima .....	68
Slika 7.2. Analiza ukupnih troškova .....	72

## 11. POPIS TABLICA

Tablica 2.1. Debljina, gustoća, topl. vodljivost i spec. topl. kapacitet vanjskih zidova.....	12
Tablica 2.2. Debljina, gustoća, topl. vodljivost i spec. topl. kapacitet pregradnih zidova.....	12
Tablica 2.3. Debljina, gustoća, topl. vodljivost i spec. topl. kapacitet poda prizemlja.....	12
Tablica 2.4. Debljina, gustoća, topl. vodljivost i spec. topl. kapacitet međukatne konstrukcije između prizemlja i kata .....	13
Tablica 2.5. Debljina, gustoća, topl. vodljivost i spec. topl. kapacitet međukatne konstrukcije između kata i potkrovlja.....	13
Tablica 2.6. Debljina, gustoća, topl. vodljivost i spec. topl. kapacitet krova.....	13
Tablica 2.7. Koeficijenti konvektivnog prijelaza topline i koeficijenti apsorpcije za konstruktivne elemente .....	14
Tablica 2.8. Koeficijenti provođenja topline konstrukcijskih elemenata.....	14
Tablica 2.9. Broj izmjena zraka pri nametnutoj razlici tlaka od 50 Pa .....	17
Tablica 2.10. faktor zaštićenosti zgrade od utjecaja vjetra .....	17
Tablica 3.1 Korisne energije za grijanje toplinskih zona .....	19
Tablica 3.2. Raspodjela projektnog učinka grijanja po zonama .....	24
Tablica 4.1. Svojstva radijatorskog članka Lipovica Solar 600/80 [6] .....	26
Tablica 4.2. Broj radijatorskih članaka po toplinskim zonama.....	27
Tablica 4.3. Trenutni instalirani učinci grijanja po zonama.....	27
Tablica 4.4. Karakteristike kotla Riello Tregi 5 [7] .....	29
Tablica 4.5. Karakteristike bojlera Ariston Lydos R 80 [8].....	32
Tablica 5.1. Novi termotehnički sustavi.....	36
Tablica 5.2. Projektni učinci grijanja pri različitim vanjskim temperaturama.....	47
Tablica 5.3. Projektni učinci po članku.....	47
Tablica 5.4. Popis režima ovisno o vanjskoj temperaturi zraka.....	48
Tablica 5.5. Maseni protoci vode po toplinskim zonama za novi temperaturni režim .....	48
Tablica 5.6. Karakteristike dizalice topline u režimu grijanja .....	49
Tablica 5.7. Godišnje proizvodnje topline za različite vrste solarnih kolektora [4] .....	50
Tablica 5.8. Karakteristike solarnog kolektora Tehnomont SKT 100 [4].....	51
Tablica 5.9. Rezultati simulacije PTV-a, slučaj 1 .....	52
Tablica 5.10. Rezultati simulacije PTV-a po mjesecima, slučaj 1 .....	54
Tablica 5.11. Rezultati simulacije PTV-a, slučajevi 3 i 4.....	55
Tablica 5.12. Rezultati simulacije PTV-a po mjesecima, slučajevi 3 i 4.....	56
Tablica 5.13. Karakteristike fotonaponskog panela Model SV60E.....	59

Tablica 6.1. Korisne energije .....	64
Tablica 6.2. Finalne energije .....	65
Tablica 6.3. Utrošena i proizvedena električna energija .....	65
Tablica 6.4. Sezonski faktor COP za promatrane slučajeve .....	66
Tablica 6.5. Primarne energije promatranih sustava .....	66
Tablica 7.1. Pogonski troškovi .....	68
Tablica 7.2. Državni poticaju za energetska obnovu obiteljskih kuća [21] .....	69
Tablica 7.3. Investicijski troškovi sustava 1 .....	69
Tablica 7.4. Investicijski troškovi sustava 2 .....	70
Tablica 7.5. Investicijski troškovi sustava 3 .....	70
Tablica 7.6. Investicijski troškovi sustava 4 .....	71
Tablica 7.7. Troškovi održavanja za svaki novi sustav .....	72

## 12. POPIS OZNAKA

R. br.	Simbol	Opis	Mjerna jedinica
1	$d$	Debljina	mm
2	$\rho$	Gustoća	kg/m <sup>3</sup>
3	$\lambda$	Toplinska vodljivost	W/mK
4	$c$	Specifični toplinski kapacitet	J/kgK
5	$U$	Koeficijent provođenja topline	W/m <sup>2</sup> K
6	$\varepsilon$	Apsorpcijski koeficijent sunčeva zračenja	W/m <sup>2</sup> K
7	$\alpha$	Koeficijent konvekcijskog prijelaza topline	W/m <sup>2</sup> K
8	$n_{inf}$	Broj izmjena zraka uslijed infiltracije	h <sup>-1</sup>
9	$n_{req}$	Broj izmjena zraka za sustave bez regulacije protoka	h <sup>-1</sup>
10	$e_{wind}$	Faktor zaštićenosti zgrade od vjetra	/
11	$n_{50}$	Broj izmjena zraka pri nametnutoj razlici tlaka od 50Pa	h <sup>-1</sup>
12	$E_{fin,gr}$	Finalna energija za grijanje	kWh
13	$E_{kor}$	Korisna energija iz simulacije	kWh
14	$\eta_{sust}$	Učinkovitost sustava	/
15	$B$	Potrošnja lož ulja	kg
16	$H_d$	Donja ogrjevna moć goriva	kJ/kg
17	$f_0$	Faktor oblika	m <sup>-1</sup>
18	$A_0$	Oplošje grijanog dijela zgrade	m <sup>2</sup>
19	$V_g$	Volumen grijanog dijela zgrade	m <sup>3</sup>
20	$A_k$	Korisna površina	m <sup>2</sup>
21	$h$	Visina	m
22	$Q''_{H,nd}$	Dopuštena vrijednost za specifičnu korisnu energiju	kWh/m <sup>2</sup>
23	$Q_{spec}$	Specifična korisna energija	kWh/m <sup>2</sup>
24	$Q_{proj,gr}$	Projektni učinak za grijanje	kW
25	$Q_{proj,hl}$	Projektni učinak za hlađenje	kW
26	$Q_W$	Toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a	kWh
27	$Q_{W,A,a}$	Specifična toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a	kWh/m <sup>2</sup> a
28	$c_W$	Specifični toplinski kapacitet vode	J/kgK
29	$\vartheta_{out}$	izlazna temperatura vode iz kotla PTV-a	°C
30	$\vartheta_{in}$	ulazna temperatura vode kotao PTV-a	°C
31	$V_W$	Dnevna potrošnja PTV-a	l/dan
32	$Q_{PTV}$	Energija potrebna za pripremu PTV-a	kWh
33	$Q_k$	Proizvedena toplinska energija kotla	kWh
34	$Q_g$	Trenutni učinak za potrebe pripreme PTV-a	kW
35	$Q_{g,PTV}$	Učinak grijača PTV-a	kW
36	$z_a$	Vrijeme zagrijavanja	h
37	$z_b$	Vrijeme pogona	h
38	$C$	Kapacitet akumulacijskog spremnika	kWh
39	$V_s$	Volumen spremnika	m <sup>3</sup>
40	$v$	Visina bojlera	mm
41	$d_b$	Promjer bojlera	mm
42	$d_{b,bez}$	Promjer bojlera bez izolacije	mm
42	$A_g$	Površina gornje ogrjevnice spirale	m <sup>2</sup>
44	$A_d$	Površina donje ogrjevnice spirale	m <sup>2</sup>

45	$l$	Duljina cijevi izmjenjivača topline	m
46	$d_u$	Vanjski promjer cijevi	mm
47	$d_v$	Unutarnji promjer cijevi	mm
48	$n_{sp}$	Broj zavoja spirale	/
49	$d_{izmj}$	Promjer spirale izmjenjivača	mm
50	$Q_{dt}$	Toplinski učinak dizalice topline	kW
51	$P_k$	Snaga kompresora	kW
52	$\varepsilon_{gr}$	Faktor grijanja	/
53	$h$	Specifična entalpija	kJ/kg
54	$T$	Temperatura kondenzacije	°C
55	$T_0$	Temperatura isparivanja	°C
56	$Q_g$	Kapacitet grijanja dizalice topline	kW
57	$P_g$	Snaga dizalice topline za grijanje	kW
58	$\dot{m}_{uk}$	Ukupni protok vode	kg/h
59	$\dot{m}_p$	Protok pumpe	kg/s
60	$P_{nom}$	Nazivna snaga pumpe	W
61	$\eta_p$	Ukupna efikasnost pumpe	/
62	$\eta_{sol}$	Pokrivenost pripreme PTV-a	%
63	$E_{sol}$	Sunčeva energija predana vodi	kWh
64	$E_{PTV}$	Potrebna energija za pripremu PTV-a	kWh
65	$P_{MPP}$	Maksimalna snaga fotonaponskog panela	W
66	$I_{SC}$	Struja kratkog spoja	A
67	$V_{OC}$	Napon otvorenog kruga	V
68	$I_{MPP}$	Nazivna struja	A
69	$V_{MPP}$	Nazivni napon	V
70	$A_{FN}$	Površina fotonaponskog panela	m <sup>2</sup>
71	$A_{krov, str}$	Površina stranice krova	m <sup>2</sup>
72	$A_{PTV}$	Površina solarnog kolektora	m <sup>2</sup>
73	$Q_{lu}$	Energija dovedena vodi izgaranjem lož ulja	kWh
74	$Q_{dt}$	Energija dovedena vodi iz dizalice topline	kWh
75	$Q_b$	Energija dovedena vodi iz električnog bojlera	kWh
76	$Q_{sk}$	Energija dovedena vodi s solarnog kolektora	kWh
77	$Q_{FN}$	Energija proizvedena na fotonaponskim modulima	kWh
78	$E_{pump}$	Energija potrebna za pogon pumpi	kWh
79	$E_{dt}$	Energija potrebna za pogon dizalice topline	kWh
80	$E_b$	Energija potrebna za rad električnog bojlera	kWh
81	$f_s$	Faktor primarne energije	/
82	$E_{prim}/A$	Dozvoljena vrijednost primarne energije po jedinici korisne površine	kWh/m <sup>2</sup>
83	$T_{lu}$	Pogonski troškovi lož ulja	EUR
84	$T_{el}$	Pogonski troškovi električne energije	EUR
85	$T_{uk}$	Ukupni pogonski troškovi	EUR



### 13. SAŽETAK

Na početku je prikazana obiteljska kuća sa svojim građevinskim projektom. Prema stvarnim mjerama izrađen je 3D model obiteljske kuće u programu SketchUp. Definirane su granične površine i model je uveden u softver TRNSYS. Tu se detaljno definiraju slojevi graničnih površina i njihova toplinska provodnost. Izrađuje se osnovna simulacija iz koje se izračunavaju projektni učinci grijanja i hlađenja. Zatim se izrađuje simulacija postojećeg sustava grijanja i pripreme PTV-a. Dobiveni rezultati uspoređuju se s stvarnim potrošnjama i dolazi se do zaključka da je simulacija dovoljno precizna. Slijedi postavljanje novih termotehničkih sustava i njihovo projektiranje. Odabiru se novi uređaji i slažu dinamičke simulacije. Neki od novoizabranih uređaja su dizalica topline zrak-voda, fotonaponski moduli, solarni sustav za pripremu PTV-a. Na kraju rada provode se energetska i ekonomska analiza. Dolazi se do zaključka da je svakako potrebno projektirati sustav s dizalicom topline. Po mogućnosti, potrebno je odabrati neki od obnovljivih izvora energije i ukomponirati ih u sustav.

**Ključne riječi:** SketchUp, TRNSYS, sustav grijanja, potrošna topla voda (PTV), dizalica topline, obnovljivi izvori energije, energetska i ekonomska analiza

## 14. ABSTRACT

At the beginning of thesis, a family house with its construction project is shown. According to the actual measurements, a 3D model of the family house was created in the SketchUp program. The boundary surfaces were defined and the model was introduced into the TRNSYS software. There, the boundary surface layers and their thermal conductivity are defined in detail. A basic simulation is created from which the project heating and cooling capacities are calculated. Then a simulation of the existing heating system and the preparation of DHW is made. The obtained results are compared with real consumptions and the conclusion is reached that the simulation is sufficiently precise. Next comes the installation of new thermotechnical systems and their design. New devices are selected and dynamic simulations are arranged. Some of the newly selected devices are an air-water heat pump, photovoltaic modules, and a solar system for the preparation of DHW. At the end of the thesis, energy and economic analysis are carried out. The conclusion is reached that it is necessary to design a system with a heat pump. If possible, it is necessary to select one of the renewable energy sources and integrate them into the system.

**Key words:** SketchUp, TRNSYS, heating system, domestic hot water (DHW), heat pump, renewable energy sources, energy and economic analyses