

# Utjecaj koncepta termotehničkog sustava na energetske i ekonomske pokazatelje

---

**Kunst Ožanić, Jakob**

**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:190:877047>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-13**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**UTJECAJ KONCEPTA TERMOTEHNIČKOG  
SUSTAVA NA ENERGETSKE I EKONOMSKE  
POKAZATELJE**

Rijeka, ožujak 2024.

Jakob Kunst Ožanić

0035209362

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**UTJECAJ KONCEPTA TERMOTEHNIČKOG  
SUSTAVA NA ENERGETSKE I EKONOMSKE  
POKAZATELJE**

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

Prof. dr. sc. Branimir Pavković (komentor)

Rijeka, ožujak 2024.

Jakob Kunst Ožanić

0035209362

Rijeka, 9. ožujka 2023.

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

## ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: **Jakob Kunst Ožanić (0035209362)**  
Studij: **Sveučilišni diplomski studij strojarstva**  
Modul: **Procesno i energetska strojarstvo**

Zadatak: **Utjecaj koncepta termotehničkog sustava na energetske i ekonomske pokazatelje / The impact of the HVAC system concept on energy and economic indicators**

### Opis zadatka:

Na primjeru postojeće obiteljske kuće smještene na području sjeverozapadne Hrvatske potrebno je utvrditi utjecaj koncepta termotehničkog sustava na energetske i ekonomske pokazatelje. U radu treba utvrditi potencijal i opravdanost energetske obnove vanjske ovojnice objekta. Rad treba obuhvatiti monovalentne i bivalentne sustave grijanja. Simulacije provesti dinamičkim energetska modelom simulacijskog sučelja TRNSYS. Proračune je potrebno izraditi u skladu s trenutno važećom regulativom u Republici Hrvatskoj. Svi potrebni ulazni podaci bit će dogovoreni s mentorom.

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

*Jakob Kunst Ožanić*

Zadatak uručen pristupniku: 9. ožujka 2023.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

*Boris Delač*

Doc. dr. sc. Boris Delač

*Branimir Pavković*

Prof. dr. sc. Branimir Pavković (komentor)

*Igor Bonefačić*

Izv. prof. dr. sc. Igor Bonefačić

## **IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI RADA**

Izjavljujem da sam, sukladno članku 11. Pravilnika o diplomskom radu, diplomskom ispitu i završetku diplomskog sveučilišnog 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 te uz navedenu literaturu.

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

\_\_\_\_\_  
Jakob Kunst Ožanić

0035209362

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se svom mentoru izv. prof. dr. sc. Borisu Delaču i komentoru prof. dr. sc. Branimiru Pavkoviću na mentorstvu tijekom izrade ovog rada. Hvala Vam na izdvojenom vremenu, strpljenju, susretljivosti, korisnim savjetima, te svoj pomoći koju ste mi pružili!

Također, htio bih se zahvaliti obitelji, prijateljima, te kolegama na strpljenju, razumijevanju i podršci koju ste mi tijekom studiranja pružili te što su vjerovali u mene kada mi je bilo teško da sam vjerujem u sebe. Hvala vam!

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. IZRADA MODELA.....	2
2.1. Toplinski model zgrade - Trnsys .....	10
2.2. Elementi konstrukcija zgrade (Wall type manager) .....	12
2.3. Odabir prozora .....	15
2.4. Zasjenjenje.....	16
2.5. Infiltracija zraka.....	16
2.6. Grijanje .....	18
2.7. Hlađenje.....	18
2.8. Toplinski dobici.....	18
2.9. Bočni zidovi.....	18
2.10. Temperatura tla.....	19
3. ANALIZA TRENUTNOG STANJA I MOGUĆNOSTI POBOLJŠANJA VANJSKE OVOJNICE .....	20
3.1. Metode za smanjenje potrošnje energije za grijanje.....	21
3.2. Faktor oblika.....	25
4. PROJEKTNI UČINAK ZA GRIJANJE I HLAĐENJE.....	28
5. POSTOJEĆI SUSTAV GRIJANJA .....	31
5.1. Sustav centralnog grijanja .....	31
5.2. Sustav pripreme PTV-a .....	35
5.3. Rezultati simulacije postojećeg sustava .....	38
6. IMPLEMENTACIJA SUSTAVA HLAĐENJA .....	40
7. NOVI SUSTAVI GRIJANJA .....	43
7.1. Uvodne pretpostavke .....	43
7.2. Alternativni režimi grijanja .....	43
7.3. Dizalice topline.....	47
7.4. Monovalentni sustav grijanja i pripreme PTV-a preko dizalice topline.....	49
7.5. Bivalentni sustav grijanja i pripreme PTV-a preko dizalice topline .....	57
8. SUSTAVI GRIJANJA I HLAĐENJA SA POBOLJŠANOM IZOLACIJOM VANJSKE OVOJNICE .....	60
9. REZULTATI SIMULACIJA I ANALIZA RJEŠENJA .....	62
9.1. Temperature.....	62
9.2. Potrošnja energije .....	64
9.3. Investicijski troškovi.....	70
9.4. Troškovi održavanja .....	74

9.5. Analiza troškova .....	74
10. ZAKLJUČAK .....	76
11. LITERATURA.....	77
12. POPIS SLIKA .....	78
13. POPIS TABLICA.....	80
14. POPIS OZNAKA I KRATICA .....	82
15. SAŽETAK.....	85
16. ABSTRACT .....	86



## 1. UVOD

Zadatak rada je napraviti model obiteljske kuće sa odgovarajućim termodinamičkim svojstvima koji joj odgovaraju te napraviti cjelogodišnju simulaciju o potrošnji energije za grijanje. Kako se radi o kući koja je originalno bila građena 60-ih godina prošlog stoljeća, kasnije drugom polovicom 90-ih godina proširena na današnje dimenzije, koristili su se tadašnji tehnički propisi o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama koje treba uzeti u obzir pri izradi modela. Obzirom da su ti propisi manje rigorozni od današnjih, te materijali korišteni u izgradnji i proširenju imaju lošije energetske karakteristike, treba odrediti i ispitati adekvatne zahvate kako bi se ostvarila veća energetska učinkovitost kuće. Važni su rezultati zamjene postojećeg sustava centralnog grijanja za moderni. Temeljem rezultata, promatra se da li trenutno stanje vanjske ovojnice kuće zadovoljava moderne energetske zahtjeve.

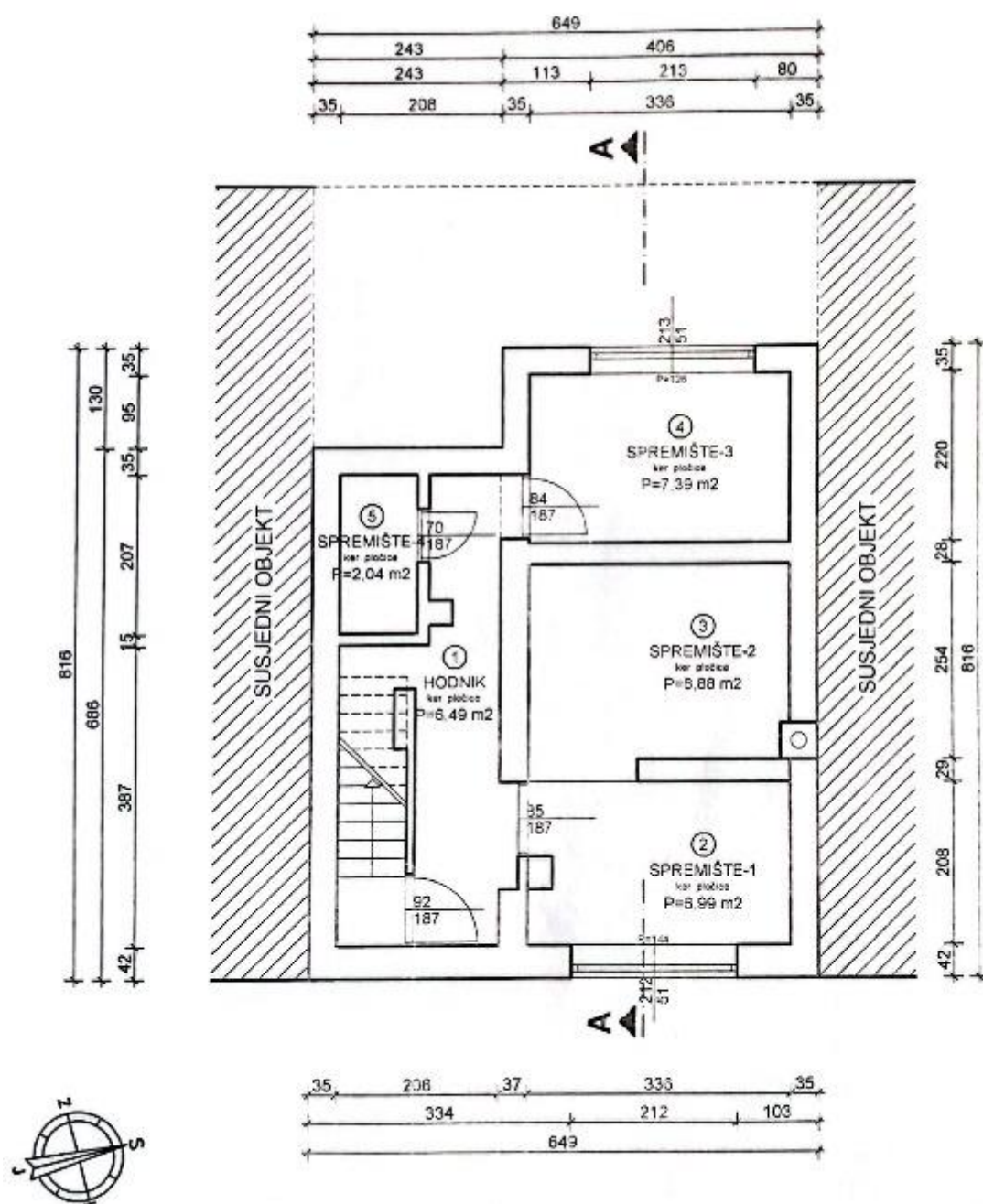
Kuća ima samo aktivni sustav centralnog grijanja i PTV-a koji se služe plinskim gorivom. Lokacija kuće je u kontinentalnoj Hrvatskoj, u Zagrebu u blizini parka Maksimir pa će se koristiti ti isti meteorološki podaci (dostupni u programu).

Prvi dio rada se fokusira na izradu modela obiteljske kuće u sadašnjem stanju sa trenutnim termotehničkim sustavom i novim termotehničkim sustavom. Primarno se promatra zamjena postojećeg sustava plinskog centralnog grijanja za dizalicu topline uz dodatak odvojenog sustava klima uređaja za potrebe hlađenja.

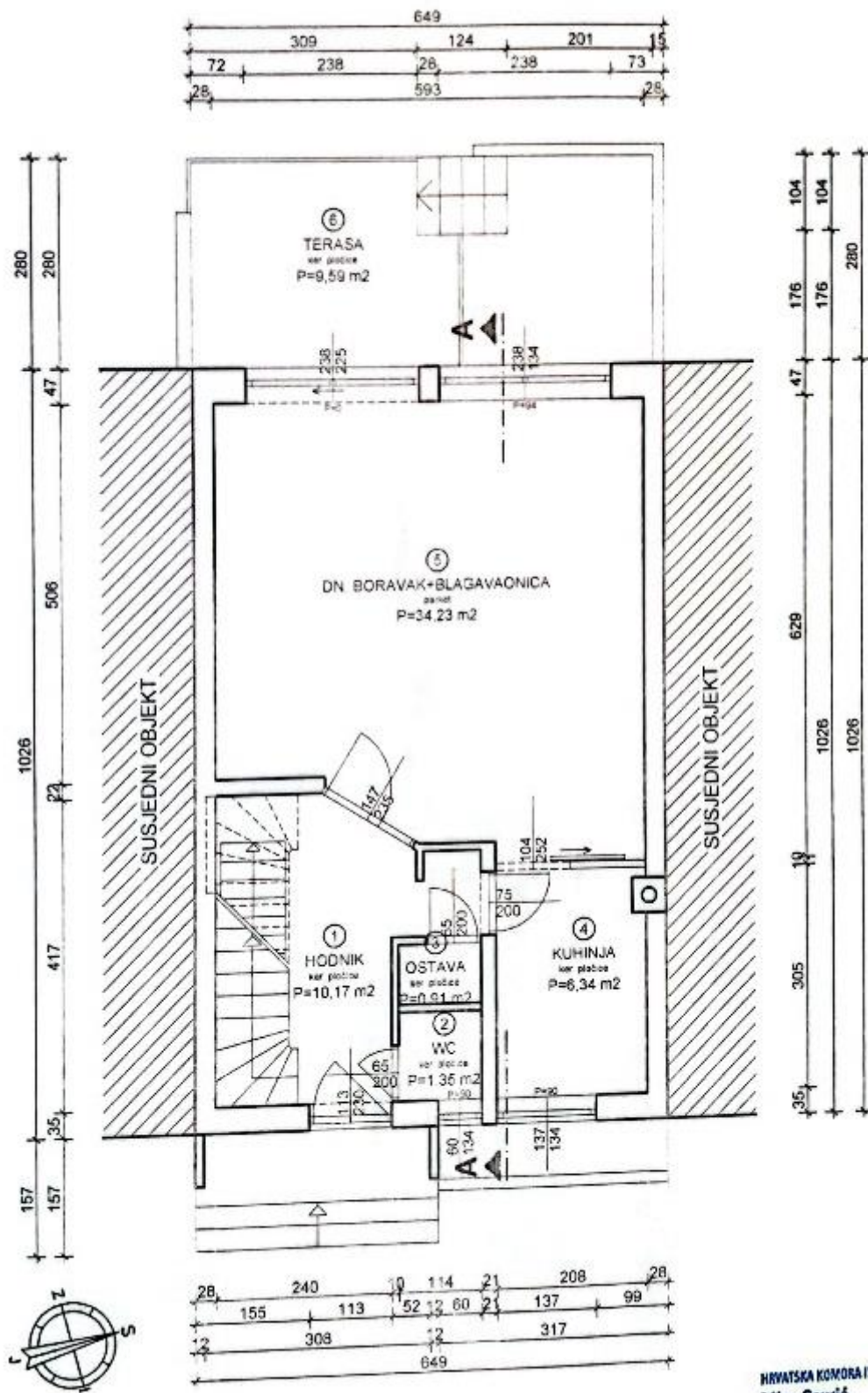
Drugi dio rada se fokusira na povećanje debljine izolacije u vanjskoj ovojnici kuće kako bi se, prema modernim energetske zahtjevima, utvrdila njena potrebna debljina za ostvarivanje veće energetske učinkovitosti. Uz to se promatra i ekonomska isplativost postupka.

## 2. IZRADA MODELA

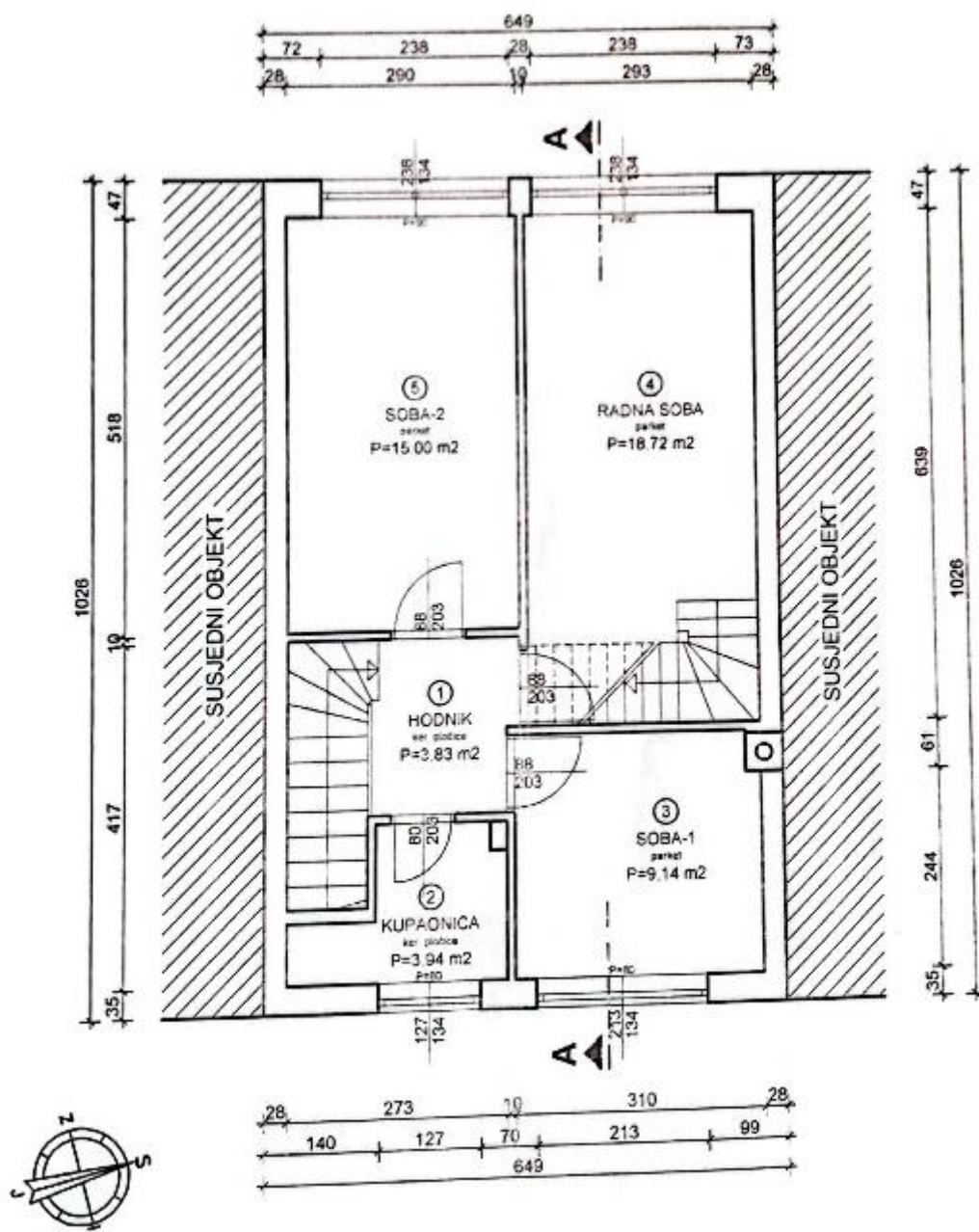
Kuću čine 4 etaže od kojih su 3 etaže grijane jer u njima većinom borave ukućani, dok je jedna etaža negrijana, a na njoj se nalaze toplinski uređaji za grijanje kuće te prostor za skladištenje. Model kuće je izrađen u programu Sketchup kojem je instaliran Trnsys3D dodatak radi kompatibilnosti za definiranje toplinskih svojstava kuće i provođenje simulacije. Dimenzije kuće te plasman prozora i vrata su prikazane na slikama 2.1 do 2.6.



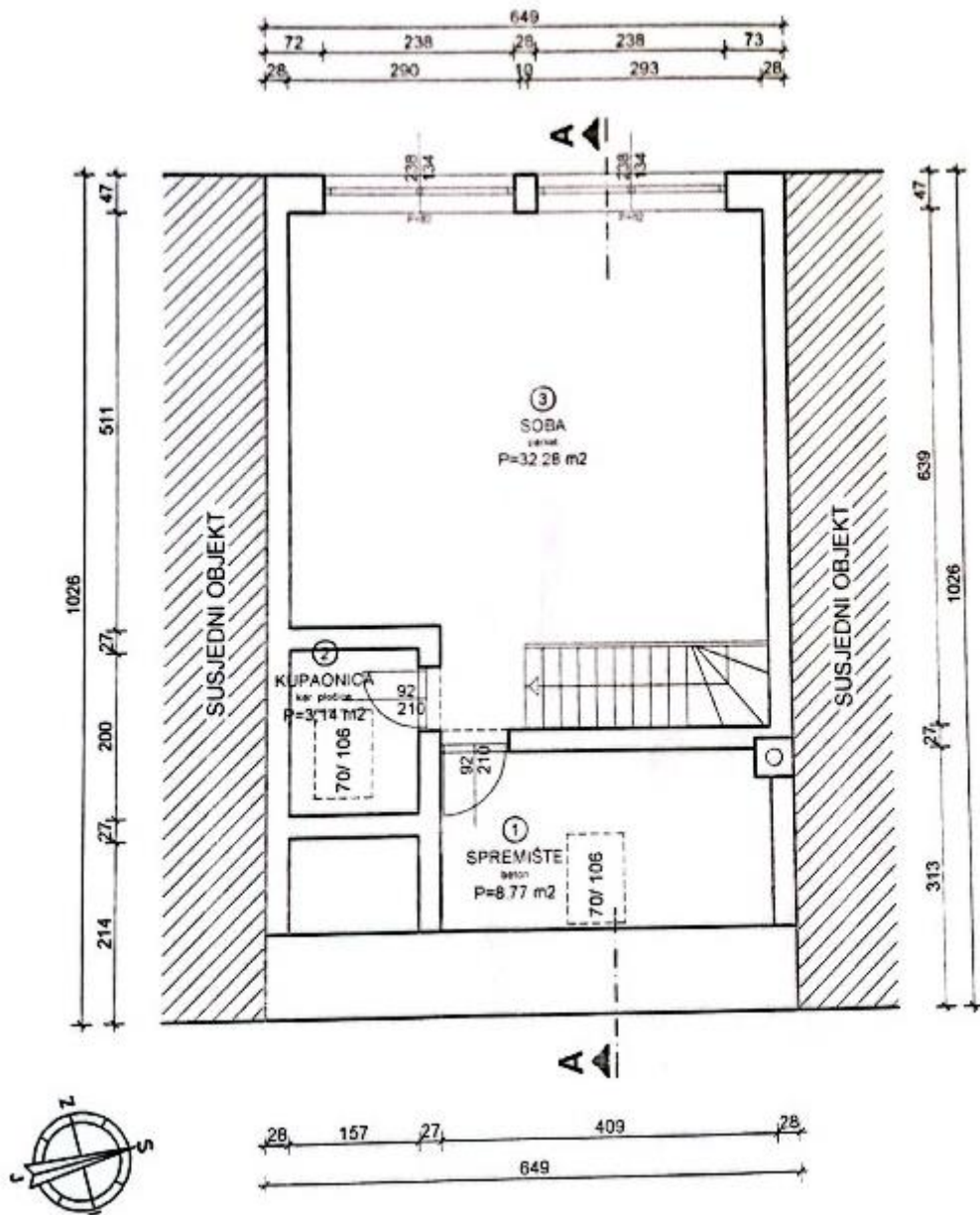
Slika 2.1: Tlocrt podruma



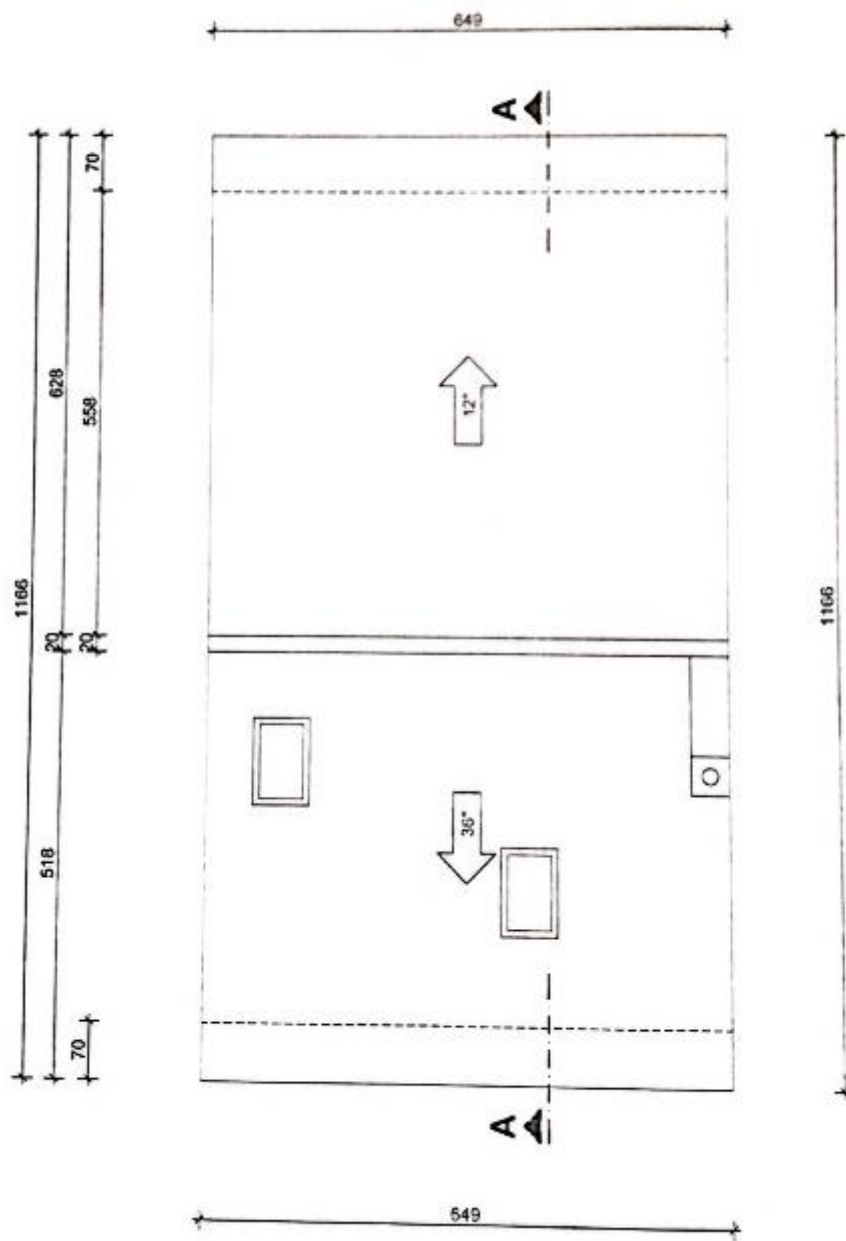
Slika 2.2: Tlocrt prizemlja



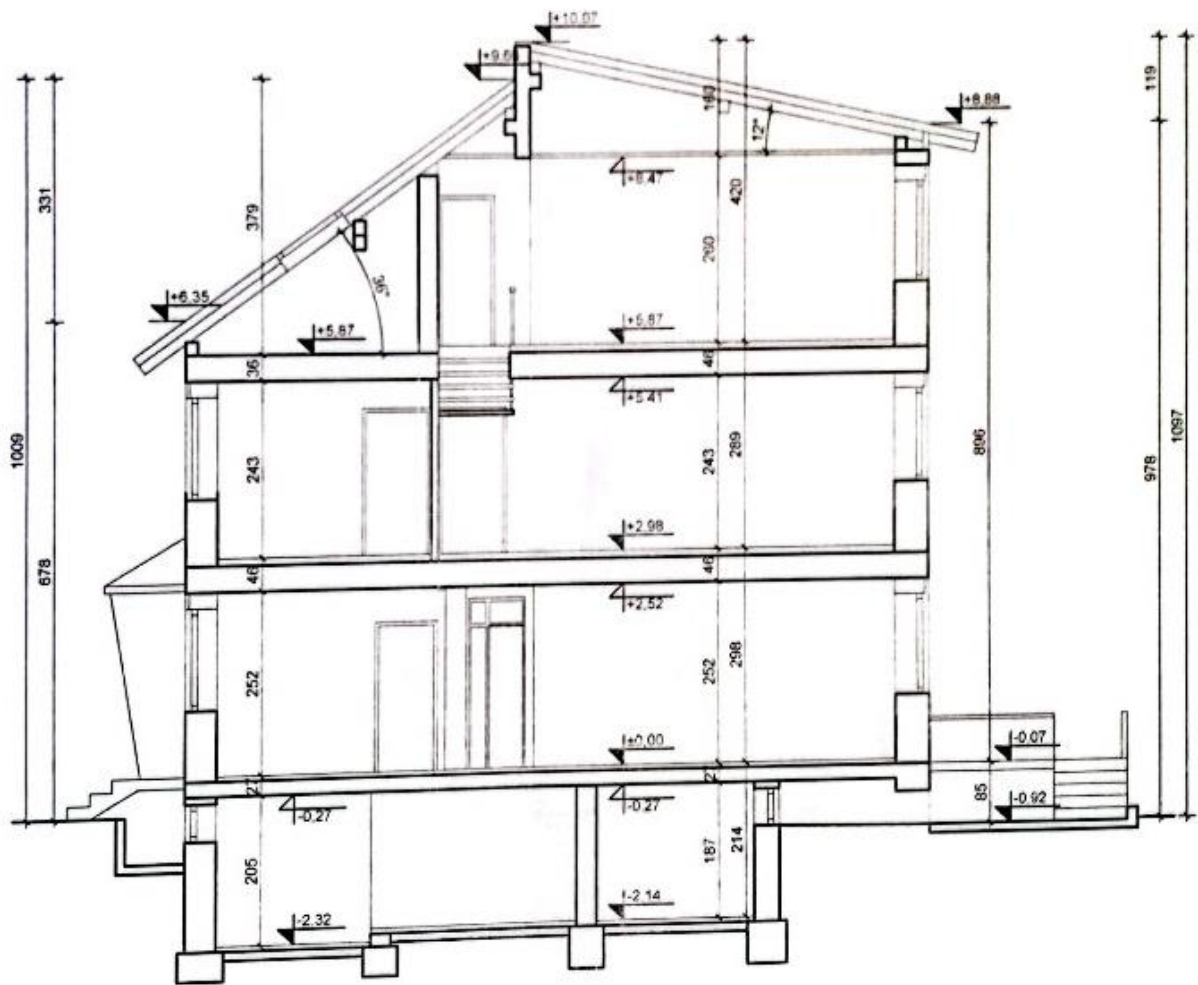
Slika 2.3: Tlocrt prvog kata



Slika 2.4: Tlocrt drugog kata



*Slika 2.5: Tlocrt kosog krova*



*Slika 2.6: Poprečni presjek kuće*

Kako je kuća uglavnom I-Z orijentacije, svaka etaža kuće je podijeljena na dvije zone (istočnu i zapadnu). Ukupno, kuća ima 10 toplinskih zona od kojih su svega 6 grijane.

- Grijane zone: prizemlje – istok/zapad, prvi kat – istok/zapad, drugi kat – istok/zapad
- Negrijane zone: podrum – istok/zapad, krov - donji i gornji dio

Zona podrum – istok/zapad predstavlja dio kuće koji se nalazi većinom pod zemljom te sa prednje i stražnje strane ima prozore koji su otvoreni na okolinu, pri čemu prozor na istočnoj strani služi za dovod svježeg zraka za rad kotla (ventiliran prostor). Dok sam prostor nije aktivno grijan, tj. u prostoru nema ogrjevnih tijela, istočni dio podruma sadrži uređaje za grijanje kuće te hladnjak i rashladnu škrinju koji svojim djelovanjem pasivno griju prostor.

Dio zone drugi kat – istok čini prostor u potkrovlju koji zapravo služi kao tavan. Usprkos tome, ostatak toplinske zone je grijan pa se uzima da je to konstanta za cijelu toplinsku zonu. Krov je zbog svojeg specifičnog izgleda sastavljen od dvije toplinske zone – donje i gornje, čiji je prostor ispunjen nosivim elementima izolacijskim materijalom.

Za izradu modela potrebno je postaviti onoliko toplinskih zona koliko ima prostorija slične temperature te smjestiti te prostorije u odgovarajuću toplinsku zonu. Te prostorije predstavljaju svoju toplinsku zonu, a određene su volumenom zraka koji se nalazi u njima pa se crtaju prema njihovim unutarnjim dimenzijama. Uz toplinske zone, postoje i elementi zasjenjenja koji su predstavljeni produžecima krova preko ruba fasade.

Nakon izrade toplinskog modela, potrebno je definirati vrstu i funkciju svakog konstrukcijskog elementa. Neki elementi su već definirani unutar programa, a ostale treba po potrebi dodati. Postoje elementi koji graniče s okolinom (vanjski zidovi, podovi prema tlu i krov) i unutarnji koji graniče sa nekom drugom toplinskom zonom. Elementi sličnih funkcija i karakteristika su grupirani skupa.

#### Vanjski zidovi:

- VANJSKI\_ZID
- BOCNI\_ZIDOVI
- ZID\_PODRUM
- KROV\_ZID

#### Unutarnji zidovi (na svakoj etaži):

- UNUTARNJI\_ZID



#### Međukatne konstrukcije (podovi i stropovi):

- MEDUKAT\_1
- MEDUKAT\_2
- MEDUKAT\_3
- MEDUKAT\_4
- POD\_PREMA\_OKOLINI

#### Krov:

- KOSI\_KROV

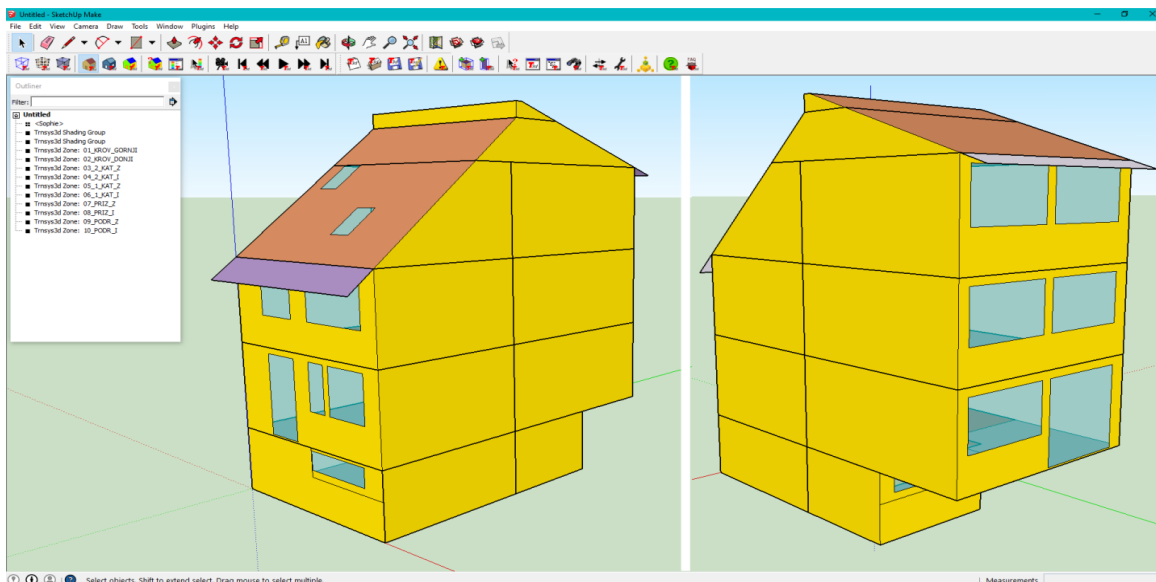
#### Pod prema tlu:

- POD\_TLO

Uz vrstu, svakom elementu potrebno je definirati rubni uvjet koji određuje odnos tog elementa sa susjednom toplinskom zonom ili okolinom (tlo ili zrak). Vanjski uvjeti odnose se na vanjsku temperaturu, relativnu vlažnost ili dozračenu energiju sunca. Ako je rubni uvjet susjedna toplinska zona, treba odrediti o kojoj se radi.

Prema nacrtima kuće, dalje se ucrtavaju prozori i vrata na modelu. Kako na modelu postoje prozori različitih konstrukcija i starosti, oni su svrstani u dvije grupe: PROZOR\_TIP\_1 i PROZOR\_TIP\_2, dok je za ulazna vrata i krovne prozore trebalo postaviti nove elemente: PROZOR\_TIP\_3 i PROZOR\_TIP\_4.

Pri završetku izrade modela, prelazi se u program Simulaton Studio (Trnsys) u kojem se vrše dinamičke simulacija. Na slici 2.7 je prikazan model kuće (istok - zapad) sa svim toplinskim zonama izrađen u programu Sketchup.



*Slika 2.7: Model kuće sa svim toplinskim zonama*

## 2.1. Toplinski model zgrade - Trnsys

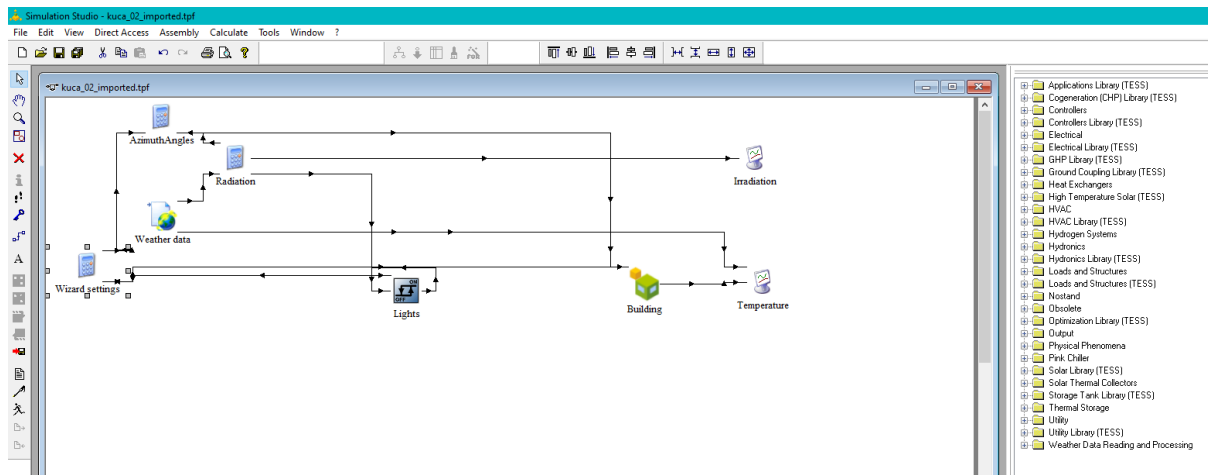
Pri učitavanju izrađenog modela u programu Simulation Studio definiraju se parametri vezani za položaj modela, kao što su lokacija zgrade i azimut, tj. kut pod kojim je zgrada zaokrenuta od sjevera. Zgrada se nalazi u Zagrebu blizu Maksimira te se u meteorološkim podacima odabire „HR-Zagreb-Maksimir-131290“, dok azimut iznosi 70°.

Ako sve funkcionira s modelom, u programu Simulation Studio otvara se prozor sa jednostavnom shemom toplinskog modela (slika 2.8), u kojem se dalje postavljaju potrebni elementi za definiranje sustava i vrši proračun.

U shemi jednostavnog toplinskog modela su prikazani elementi:

- Building – model zgrade (importirani)
- Weather data – meteorološki podaci za zadanu lokaciju

- Azimuth angles – kut zakreta zgrade u odnosu na sjever
- Radiation – sunčevo zračenje
- Lights – rasvjeta
- Wizard settings – postavke za regulaciju zasjenjenja i rasvjete
- Temperature – element za ispis promatranih temperatura
- Irradiation – element za ispis promatranog zračenja



**Slika 2.8: Prikaz sučelja i sheme toplinskog modela u programu Simulation Studio**

Dalje se ulazi u fizikalne postavke zgrade gdje se definiraju vrste zidova, njihov sastav i karakteristike, tipovi prozora, režim grijanja i hlađenja, ventilacija i unutarnji dobici (TRNBuild).

## 2.2. Elementi konstrukcija zgrade (Wall type manager)

U nastavku su prikazani sastavi zidova i stropova korištenih u modelu. Podaci svojstva materijala uzeti su iz „*Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama*“; *Narodne novine, 2015*“ [1].

### VANJSKI ZID

*Tablica 2.1: Debljina, gustoća, toplinska vodljivost i spec. topl. kapacitet slojeva vanjskih zidova kuće*

R.b.	MATERIJAL	d [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	c [J/kgK]
1	Vapneno-cementna žbuka	0,005	1800	1	1000
2	Puna opeka od gline	0,25	1800	0,81	900
3	Ekspandirani polistiren	0,05	15	0,04	1450
4	Vapneno-cementna žbuka	0,01	1800	1	1000
5	Cementna žbuka	0,025	200	1,6	1000
6	Silikatna žbuka	0,01	1800	0,9	1000

### BOCNI ZIDOVI

*Tablica 2.2: Debljina, gustoća, toplinska vodljivost i spec. topl. kapacitet slojeva bočnih zidova kuće*

R.b.	MATERIJAL	d [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	c [J/kgK]
1	Vapneno-cementna žbuka	0,01	1800	1	1000
2	Cementna žbuka	0,02	200	1,6	1000
3	Puna opeka od gline	0,25	1800	0,81	900

### ZID PODRUM

*Tablica 2.3: Debljina, gustoća, toplinska vodljivost i spec. topl. kapacitet slojeva vanjskih zidova podruma*

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	Cementna žbuka	0,02	200	1,6	1000
3	Armirani beton	0,41	2500	2,6	1000

### KROV ZID

*Tablica 2.4: Debljina, gustoća, toplinska vodljivost i spec. topl. kapacitet slojeva vanjskog zida – krov*

R.b.	MATERIJAL	d [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	c [J/kgK]
1	Armirani beton	0,15	2500	2,6	1000
2	Aluminijski lim	0,002	7800	82,6	419

## UNUTARNJI ZID

**Tablica 2.5: Debljina, gustoća, toplinska vodljivost i spec. topl. kapacitet slojeva unutarnjih zidova**

R.b.	MATERIJAL	d [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	c [J/kgK]
1	Vapneno-cementna žbuka	0,01	1800	1	1000
2	Puna opeka od gline	0,12	1800	0,81	900
3	Vapneno-cementna žbuka	0,01	1800	1	1000

## MEDUKAT 1

**Tablica 2.6: Debljina, gustoća, toplinska vodljivost i spec. topl. kapacitet slojeva međukatne konstrukcije – 1**

R.b.	MATERIJAL	d [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	c [J/kgK]
1	Vapneno-cementna žbuka	0,015	1800	1	1000
2	Armirani beton	0,15	2500	2,6	1000
3	Ekspandirani polistiren	0,05	15	0,04	60
4	Folija – PE, preklopljena	0,001	1000	0,19	1250
5	Estrih – cementni	0,035	2000	1,6	1100
6	Parket - drvo	0,02	550	0,15	2000

## MEDUKAT 2

**Tablica 2.7: Debljina, gustoća, toplinska vodljivost i spec. topl. kapacitet slojeva međukatne konstrukcije – 2**

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	Armirani beton	0,3	2500	2,6	1000
3	Ekspandirani polistiren	0,05	15	0,04	60
4	Folija – PE, preklopljena	0,001	1000	0,19	1250
5	Estrih – cementni	0,07	2000	1,6	1100
6	Parket - drvo	0,02	550	0,15	2000

## MEDUKAT 3

**Tablica 2.8: Debljina, gustoća, topl. vodljivost i spec. topl. kapacitet slojeva međukatne konstrukcije 3**

R.b.	MATERIJAL	d [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	c [J/kgK]
1	Vapneno-cementna žbuka	0,015	1800	1	1000
2	Ploče - gipskartonske	0,03	900	0,25	900
3	Čelijasto (pjenasto) staklo	0,05	150	0,06	1000

## MEDUKAT 4

Obzirom da je to dalje isti dio krova, koji je podijeljen na 2 dijela zbog svojeg izgleda, među njima je fiktivni sloj „DUMMY\_TRNSYS3D“ koji nema masu (eng. 'massless').

## POD PREMA OKOLINI

*Tablica 2.9: Debljina, gustoća, toplinska vodljivost i spec. topl. kapacitet slojeva poda prema okolini*

R.b.	MATERIJAL	d [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	c [J/kgK]
1	Parket - drvo	0,02	550	0,15	2000
2	Estrih – cementni	0,035	2000	1,6	1100
3	Folija – PE, preklopljena	0,001	1000	0,19	1250
4	Armirani beton	0,17	2500	2,6	1000
5	Ekspandirani polistiren	0,05	15	0,04	60
6	Vapneno-cementna žbuka	0,005	1800	1	1000
7	Cementna žbuka	0,01	200	1,6	1000

## KOSI KROV

*Tablica 2.10: Debljina, gustoća, toplinska vodljivost i spec. topl. kapacitet slojeva kosog krova*

R.b.	MATERIJAL	d [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	c [J/kgK]
1	Ploče - gipskartonske	0,03	900	0,25	900
2	Folija - parnopropusna	0,001	1100	0,23	1000
3	Čelijasto (pjenasto) staklo	0,05	150	0,06	1000
4	Ploče – drvo, iverje	0,025	650	0,13	1700
5	Folija – PE, preklopljena	0,001	1000	0,19	1250
6	Krovnna ljepenka	0,001	1100	0,23	1000
7	Crijep	0,015	2300	1,3	840

## POD TLO

*Tablica 2.11: Debljina, gustoća, toplinska vodljivost i spec. topl. kapacitet slojeva poda prema tlu*

R.b.	MATERIJAL	d [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	c [J/kgK]
1	Keramičke pločice	0,005	2300	1,3	840
2	Estrih – cementni	0,06	2000	1,6	1100
3	Folija – PE, preklopljena	0,001	1000	0,19	1250
4	Bitumen traka	0,008	1100	0,23	1000
5	Armirani beton	0,25	2500	2,6	1000
6	Pijesak, šljunak	0,2	1700	0,81	1000

Definiranjem konstrukcijskih elemenata, dobivaju se njihovi koeficijenti provođenja topline. Oni su prikazani u tablici 2.12.

**Tablica 2.12: Vrijednosti koeficijena prolaska topline svih konstrukcijskih elemenata**

Konstrukcijski element	$U$ [W/m <sup>2</sup> K]
VANJSKI ZID	0,565
BOCNI ZIDOVI	1,995
ZID PODRUM	2,776
KROV ZID	4,391
UNUTARNJI ZID	2,957
MEDUKAT - 1	0,605
MEDUKAT - 2	0,575
MEDUKAT - 3	0,878
MEDUKAT - 4	1,887
POD_PREMA_OKOLINI	0,603
KOSI KROV	0,746
POD - TLO	1,682

Uz navedene sastavne elemente konstrukcija, treba definirati apsorpcijske koeficijente zračenja i koeficijente konvektivnog prijelaza topline (tablica 2.13).

**Tablica 2.13: Koeficijenti apsorpcije i konvektivnog prijelaza topline za konstruktivne elemente**

R.b.	Element	Apsorpcijski koeficijent sunčevog zračenja $\varepsilon$ [-]		Koeficijent konvektivnog prijelaza topline $\alpha$ [kJ/hm <sup>2</sup> K]	
		Prednja strana	Stražnja strana	Prednja strana	Stražnja strana
1	Vanjski zid	0,65	0,65	11	64
2	Bočni zid	0,6	-	11	-
3	Pod prema okolini	0,4	0,65	11	11
4	Međukatna konstrukcija – podrum/prizemlje	0,6	0,6	11	64
5	Ostale međukatne konstrukcije	0,25	0,4	11	11
6	Kosi krov	0,25	0,4	11	64
7	Pod na tlu	0,4	0,6	11	0,001
8	Strop prema krovu	0,3	0,4	11	64

### 2.3. Odabir prozora

- Za potrebe rada izabrani su: PROZOR\_TIP\_1: Iz baze podataka odabran je dvoslojni prozor 6001. Taj tip prozora ima manju debljinu stakla od 3,2 mm, a prostor između stakla iznosi 13 mm. Koeficijent prolaska topline je  $U = 2,89$  W/m<sup>2</sup>K dok je faktor propusnosti sunčeve energije  $g = 0,789$  %/100. Omjer površine okvira u odnosu na ostakljeni dio je 25%.
- PROZOR\_TIP\_2: Odabran je isti tip prozora, 6001. Svi su podaci isti osim omjera površine okvira u odnosu na ostakljenje koje iznosi 40%.

- PROZOR\_TIP\_3: To su vanjska vrata sa prozorom pa je iz baze podataka odabrani tip modernog prozora identificiran brojem 2104. Riječ je o dvoslojnom prozoru stakla debljine 4 mm. Prostor između stakala ispunjen je inertnim plinom debljine 16 mm. Koeficijent prolaska topline je  $U = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$  dok je faktor propusnosti sunčeve energije  $g = 0,622 \text{ \%}/100$ . Omjer površine okvira u odnosu na ostakljenje je 83%.
- PROZOR\_TIP\_4: Krovni prozori, isti kao PROZOR\_TIP\_1, osim što nisu vertikalno montirani, nego su pod azimutom, tj. kutom nagiba od vertikalne pozicije u iznosu  $54^\circ$ .

## 2.4. Zasjenjenje

Zasjenjenje služi kako bi se reguliralo sunčevo zračenje u prostoru, tj. kada se propušta i kada ne propušta sunčevo zračenje. Ono što utječe na propuštanje je razdoblje godine. Tako u zimskom razdoblju nije uključeno kako bi se ostvarili energetske dobici od sunčevog zračenja, dok je u ljetnom razdoblju ono uključeno kako bi se prostor što manje zagrijao. Sustav ima vanjsko (rolete) i unutarnje zasjenjenje (zavjese). Ono kreće od sredine 5. te završava sredinom 9. mjeseca. Za vanjsko zasjenjenje faktor nepropusnosti zasjenjenja na sunčevo zračenje iznosi 0,7, dok za unutarnje zanemarivo. Dok je u programu zasjenjenje regulirano automatskim sustavom, u stvarnom slučaju ono je regulirano ljudskim djelovanjem. Postavljeno je da se zasjenjenje aktivira pri intenzitetu sunčeva zračenja većeg od  $140 \text{ W/m}^2$ , a isključuje pri intenzitetu manjim od  $120 \text{ W/m}^2$ . Krovni prozori i prozori u podrumu nemaju nikakvo zasjenjenje.

## 2.5. Infiltracija zraka

U podrumu je cjelogodišnje otvoren prozor, kako bi se on ventilirao i kako bi kotli centralnog grijanja i PTV-a imali stalni dovod svježeg zraka, zbog toga sukladno podacima iz [2] broj izmjena zraka po satu iznosi  $n = 2 \text{ h}^{-1}$ . U ostatku kuće nema mehaničke ventilacije pa se prema [2] računa broj izmjena zraka uslijed prirodne ventilacije.

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

te vrijedi

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

pri čemu su:

- $n_{inf}$  – broj izmjene zraka uslijed infiltracija
- $n_{50}$  – broj izmjene zraka pri nametnutoj razlici talaka od 50 Pa (tablica 2.14)
- $e_{wind}$  – faktor zaštićenosti zgrade od vjetra (tablica 2.16)
- $n_{req}$  – broj izmjena vanjskog zraka za sustave s konstantnim protokom zraka (bez regulacije protoka)



**Tablica 2.14: Proračunske vrijednosti  $n_{50}$  za netestirane zgrade (tablica 1.6 DIN V 18599-2) [2]**

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

**Tablica 2.15: Opis kategorija [2]**

Kategorija I	a) zgrade bez HVAC sustava (zahtjev zrakopropusnosti: $n_{50} \leq 3h^{-1}$ ) b) zgrade sa HVAC sustavom (zahtjev zrakopropusnosti: $n_{50} \leq 1,5h^{-1}$ )
Kategorija II	zgrade, ili dijelovi zgrada koje će tek biti završene, za koje se ne planiraju raditi testiranja zrakopropusnosti
Kategorija III	zgrade koje ne spadaju u kategorije I, II, ni IV
Kategorija IV	zgrade s očitim otvorima kroz koje slobodno ulazi zrak, kao što su pukotine u ovojnicama zgrade

**Tablica 2.16: Koeficijenti  $e_{wind}$  i  $f_{wind}$  [2]**

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

Stambena kuća spada pod kategoriju I a) i srednje je zaklonjena pa se uvrštavanjem vrijednosti u formulu (2) dobiva

$$n_{inf} = e_{wind} \cdot n_{50} = 0,07 \cdot 2 = 0,14 \text{ h}^{-1}$$

Kako nema sustava mehaničke ventilacije, usvaja se vrijednost  $n_{req} = 0,5 \text{ h}^{-1}$ . Ukupni broj izmjena zraka uslijed prirodne ventilacije iznosi

$$n_{inf} + n_{req} = \max[n_{inf} + n_{req}; 0,5] = \max[0,14 + 0,5 ; 0,5] = 0,64 \text{ h}^{-1}$$

## **2.6. Grijanje**

Grijanje je aktivno većinom godine kada u prostoru nije samostalno održiva temperatura od 20 °C, te djeluje na 6 toplinskih zona na tri etaže kuće (prizemlje, prvi i drugi kat). Također, kako je kotao za centralno grijanje smješten u podrumu zajedno sa kotlom PTV-a i dva rashladna uređaja, istočna zona podruma je grijana na pretpostavljenih 15 °C. Kako se ovdje postavlja idealno grijanje u svrhe dobivanja godišnje potrošnje energije za grijanje, koriste se tijela neograničenog učinka koja mogu predati potrebu energiju za grijanje na zadanoj temperaturi. Dnevni raspored je postavljen da grijanje neprestano radi, dok se sezonski raspored podudara sa inverznim rasporedom zasjenjenja izraženo u satima.

## **2.7. Hlađenje**

U kući ne postoji nikakav sustav za hlađenje prostora, već postoji stropno montirani ventilator koji cirkulira zrak u prostoriji kako bi se bolje homogenizirao zrak, ali se slabo primjenjuje. U većini slučajeva hlađenje se ostvaruje kreiranjem propuha sa hladnije strane kuće na topliju ovisno o doba dana, tj. poziciji sunca. Kako se ti uvjeti ne mogu prikazati u programu, za model se pretpostavlja da nema hlađenja u ljetnom razdoblju.

## **2.8. Toplinski dobici**

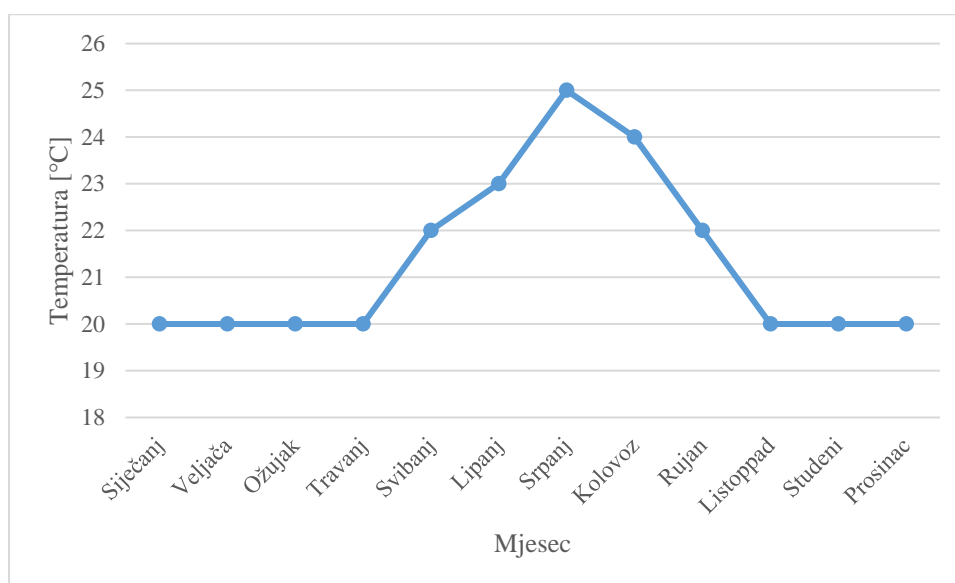
Toplinski dobici se dijele na stalne i promjenjive. Dok stalni predstavljaju konstantan izvor energije, na promjenjive utječu brojni faktori kao broj prisutnih ljudi i njihov stupanj fizičke aktivnosti u prostoru, rad uređaja i strojeva, te sunčevo zračenje. Kako u kući trajno stanuje jedna osoba, periodički dvije, ti toplinski dobici su zanemarivi.

Rasvjeta je često korištena pa je potrebno uključiti te dobitke. Također, treba definirati ostale toplinske dobitke koji ovise o prisutnosti osoba. To su najčešće razni uređaji koji rade dok je netko prisutan u prostoriji. Radi pojednostavljenja svi se ti dobici mogu definirati sa dobicima rasvjete snage 5 W/m<sup>2</sup> jer će osoba dobar dio vremena u prostoriji provoditi pod nekom vrstom umjetnog osvjetljenja uz rad raznih kućanskih uređaja.

## **2.9. Bočni zidovi**

Bočni zidovi kuće nisu direktno izloženi okolini, već dijele zračnost (kanal) sa susjednim objektima po cijeloj visini kuće koji služi kao toplinski izolator i u određenim situacijama kao dodatni izvor/ponor topline. Ta zračnost je uglavnom zatvorena gipskartonskom konstrukcijom prekrivenom žbukom, tako da taj zrak gotovo ne cirkulira. Obzirom da taj zrak ne cirkulira, pretpostavlja se da u periodu grijanja preuzima toplinu od susjednih objekata, a ljeti predaje toplinu natrag. Prosječne temperature zraka u kanalu uzete su iz meteoroloških podataka o srednjoj

mjesečnoj temperaturi okolnog zraka za područje Zagreb - Maksimir. Kako se zimi objekti griju, uzima se da je temperatura takva da se na zidu ostvaruje 20 °C, dok ljeti poprima vrijednost okolnog zraka jer objekti nemaju sustave hlađenja (slika 2.9).



*Slika 2.9: Mjesečni raspored temperature bočnih zidova*

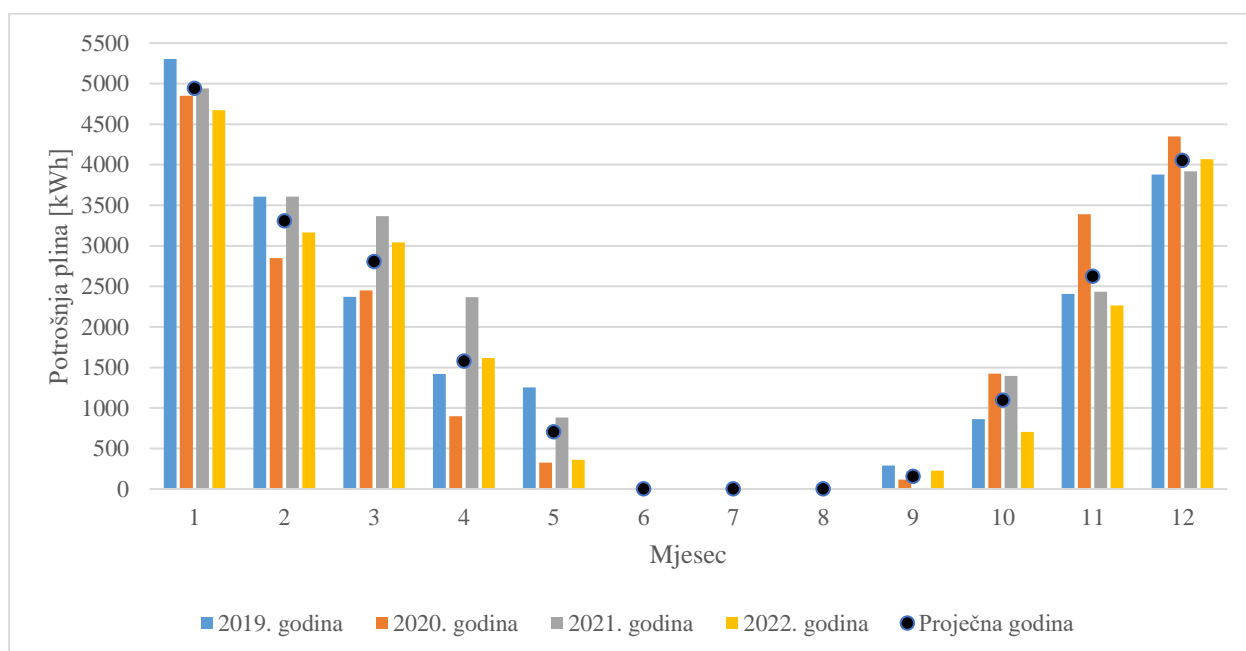
## 2.10. Temperatura tla

Obzirom da je dio kuće pod zemljom, temperatura tla utječe na temperaturu toplinskih zona pod zemljom. Kako se temperatura tla nakon određene dubine znatno ne mijenja, u podacima modela kuće postavlja se temperatura tla na 10 °C.

Simulacija se provodi od nultog do 8760. sata sa zadanim vremenskim korakom čiji su izlazni rezultati ispisuju mjesečne zahtjeve za toplinskom energijom potrebne za grijanje kuće. Sumiranjem tih iznosa dobiva se konačni iznos energije za grijanje od 16612 kWh.

### 3. ANALIZA TRENUTNOG STANJA I MOGUĆNOSTI POBOLJŠANJA VANJSKE OVOJNICE

Mjereni podaci o potrošnji plina u zadnje 4 godine osigurani su od strane distributera plina (Gradske Plinare Zagreb) u tabličnom formatu za pojedine mjesece. Obzirom da se podaci za potrošnju plina odnose za centralno grijanje i PTV, teško je procijenit točnu potrošnju plina na grijanje pa se zato uzima srednja vrijednost za potrošnju u ljetnim mjesecima. Kako ljetni grijanje ne radi, ta se potrošnja plina odnosi samo na potrebe PTV-a. Zato se srednja vrijednost onda oduzima za svih 12 mjeseci kako bi se dobila potrošnja plina za potrebe grijanja objekta. Nakon sortiranja vrijednosti, mjesečna potrošnja se može prikazati grafički za sve 4 godine, a zajedno s time i prosječna potrošnja (slika 3.1).

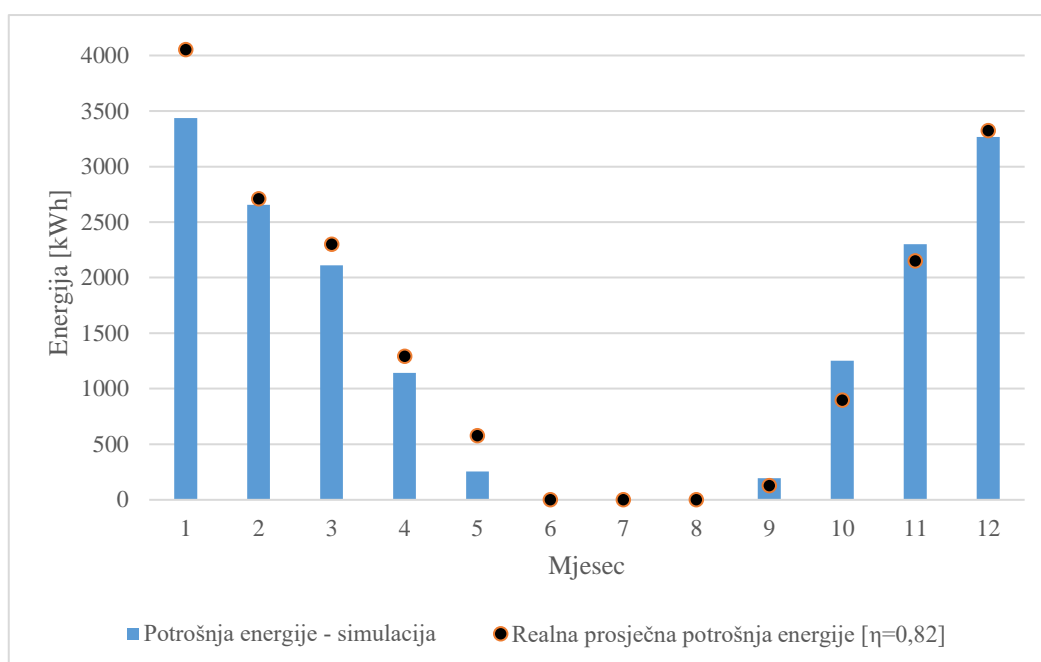


*Slika 3.1: Podaci o mjesečnoj potrošnji plina za razdoblje 1.1.2019. - 31.12.2022.*

Također, zbog povremenog neprisustva ukućana, mjerenja za neke mjesece nisu točno očitana, već su potrošnje precijenjene pa vrijednosti malo variraju. Međutim, na godišnjoj razini vrijednosti su točne.

Ukupna prosječna godišnja potrošnja plina iznosi 27634 kWh, od čega 21263 kWh ide na grijanje objekta, a ostalih 6371 kWh na pripremu PTV-a. Međutim, treba još uračunati učinkovitost plinskog kotla i sustava distribucije topline kod podataka dobivenih od GPZ-a koji iznosi oko 82 % što znači da predana toplinska energija za grijanje iznosi 17435 kWh. Bez te pretvorbe, plinski kotao i sustav distribucije topline u objektu bi radio sa 100 % učinkovitosti, što je

nemoguće. Usporedbu vrijednosti dobivene iz simulacija i realnih vrijednosti za prosječnu godišnju potrošnju energije za grijanje se može prikazati grafički (slika 3.2).



**Slika 3.2: Usporedba realnih vrijednosti prosječne potrošnje energije za grijanje i rezultata simulacije**

Dok iz dijagrama na slici 3.4 odstupanja za neke mjesece izgleda znatno, sa najvećim odstupanjem u 5. mjesecu od 56%, ono na godišnjoj razini iznosi manje od 5%, što čini model dovoljno pouzdanim. Obzirom na mali postotak odstupanja, utemeljeno je da se i u stvarnosti primjenjuje sustav sa besprekidnim grijanjem pa će sva buduća razmatranja isto biti besprekidna.

### 3.1. Metode za smanjenje potrošnje energije za grijanje

Da bi se odredile metode za smanjenje potrošnje energije treba pratiti mjesečne osjetne gubitke u zonama koje se griju. Kako se ovdje radi o modelu koji samo grije, svi osjetni gubici su pokriveni sustavom grijanja. Dakle, to znači da će ukupni toplinski gubici biti jednaki ukupnoj uloženoj energiji za grijanje.

Razmatraju se sjedeći slučajevi:

1. Poboljšanje prozirnih elemenata vanjske ovojnice zgrade (prozori i vrata)
2. Poboljšanje toplinske izolacije vanjske ovojnice zgrade (8 cm)
3. Poboljšanje toplinske izolacije i prozirnih elemenata vanjske ovojnice zgrade

Simulacija se izvodi za cijelu godinu (8760 h) sa vremenskim korakom od 1 h.

### 1. Poboljšanje prozirnih elemenata vanjske ovojnice zgrade (prozori i vrata)

Izmjenom prozora PROZOR\_TIP\_1, PROZOR\_TIP\_2 i PROZOR\_TIP\_4 sa tipa 6001 na tip 13002 čiji je koeficijent prolaska topline (po propisima iz tablice 1 iz [2])  $U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ , a faktor propusnosti sunčeve energije  $g = 0,609 \% / 100$ . Rezultati simulacije iznose:

*Tablica 3.1: Slučaj sa poboljšanim prozirnim elementima vanjske ovojnice zgrade*

Mjesec	$Q_{gr.potr}$ [kWh]
1	2853
2	2188
3	1710
4	910
5	205
6	0
7	0
8	0
9	163
10	986
11	1876
12	2707
$\Sigma$	13598

### 2. Poboljšanje toplinske izolacije vanjske ovojnice zgrade (8 cm)

Radi se o slučaju koji obuhvaća podebljanje sloja vanjske ovojnice te se jedino odnosi na konstrukcijske elemente koji su direktno izloženi okolini: VANJSKI\_ZID, POD\_PREMA\_OKOLINI i KOSI\_KROV. Za VANJSKI\_ZID se stavlja 6 cm debeli sloj mineralne vune preko kojeg još idu slojevi vapneno-cementne, cementne i silikatne žbuke koji ukupno čine 8 cm deblji sloj vanjske ovojnice. Slično vrijedi za POD\_PREMA\_OKOLINI koji ima 6 cm debeli sloj mineralne vune preko kojeg idu slojevi vapneno-cementne i cementne žbuke koji ukupno povećavaju izolaciju za 8 cm. Konačno, pod krovom (KOSI\_KROV) se sa unutarnje strane miču gipskartonske ploče kako bi se postavio sloj mineralne vune debljine 8 cm. Na novi sloj izolacije se postavljaju nove gipskartonske ploče iste debljine kao prethodne.

Usporedbom navedenih vrijednosti koeficijenata prolaza topline može se uočiti da se njihov iznos smanjio podebljanjem izolacije za 8 cm. Dok je VANJSKI\_ZID unutar granica dozvoljenih graničnih vrijednosti definirane u tablici 1 iz [2], izuzetak čine POD\_PREMA\_OKOLINI i KOSI\_KROV koji ne zadovoljavaju te zahtjeve. Međutim, kako se kod konstrukcijskog elementa POD\_PREMA\_OKOLINI radi o relativno maloj površini koja se nalazi u području u kojoj slabo cirkulira zrak da može utjecati na odvođenje topline, to se odstupanje tolerira. Za KOSI\_KROV odstupanje od dozvoljene vrijednosti je također malo pa se i ono tolerira.

**Tablica 3.2: Koeficijenti prolaza topline**

Konstruktivski element	$U_{5\text{ cm}}$ [W/m <sup>2</sup> K]	$U_{5+8\text{ cm}}$ [W/m <sup>2</sup> K]	$U_{\text{max}}$ [W/m <sup>2</sup> K] [1]
VANJSKI ZID	0,565	0,286	0,3
VANJSKI POD	0,603	0,295	0,25
KOSI KROV	0,746	0,276	0,25

Rezultati simulacije iznose:

**Tablica 3.3: Slučaj sa poboljšanom toplinskom izolacijom vanjske ovojnice zgrade**

Mjesec	$Q_{gr,potr}$ [kWh]
1	3024
2	2333
3	1848
4	1001
5	227
6	0
7	0
8	0
9	181
10	1083
11	2018
12	2875
$\Sigma$	14590

### 3. Poboljšanje toplinske izolacije i prozirnih elemenata vanjske ovojnice zgrade

Objedinjenjem prethodna dva slučaja, rezultati simulacije iznose:

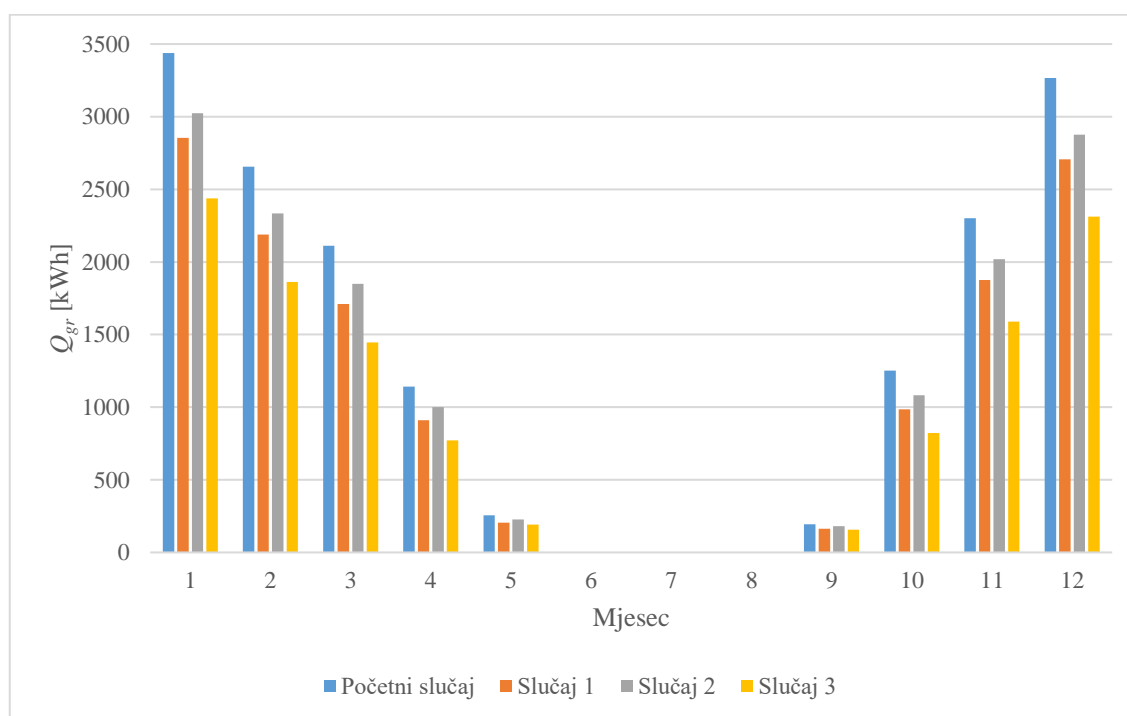
**Tablica 3.4: Slučaj sa poboljšanom toplinskom izolacijom i prozirnima elementima vanjske ovojnice zgrade**

Mjesec	$Q_{gr,potr}$ [kWh]
1	2437
2	1863
3	1446
4	772
5	191
6	0
7	0
8	0
9	156
10	821
11	1590
12	2312
$\Sigma$	11586

Svi navedeni slučajevi se mogu objediniti i prikazati u zajedničkoj tablici gdje je za svaki slučaj prikazana ukupna potreba za toplinom za svaki mjesec godine (tablica 3.5). Radi preglednosti, isti se podaci mogu prikazati u dijagramu (slika 3.3).

**Tablica 3.5: Ukupne potrebe za toplinom kroz cijelu godinu za sve navedene slučajeve**

Mjesec	$Q_{gr,potr}$ [kWh]			
	Početni slučaj	Slučaj 1	Slučaj 2	Slučaj 3
1	3437	2853	3024	2437
2	2655	2188	2333	1863
3	2111	1710	1848	1446
4	1142	910	1001	772
5	255	205	227	191
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	195	163	181	156
10	1251	986	1083	821
11	2300	1876	2018	1590
12	3266	2707	2875	2312
$\Sigma$	16612	13598	14590	11586



**Slika 3.3: Ukupna potreba za toplinom kroz cijelu godinu**

Prema rezultatima iz tablice 3.5 se vidi da je potreba za toplinom u slučajima 1, 2 i 3 manja od početnog slučaja. Dok zamjena staklenih elemenata i podebljanje toplinske izolacije vanjske ovojnice u zasebnim izvedbama prikazuje 18 i 12 % smanjenu potrebu za toplinom, kombinirana izvedba prikazuje najveće uštede sa 30 % manjom potrebom za toplinom.



### 3.2. Faktor oblika

Oblik zgrade je važan jer o njemu ovise konstrukcijski, energetski i termotehnički zahtjevi. Kako bi se to obilježje moglo kvantificirati, definiran je faktor oblika zgrade  $f_0$  što je zapravo omjer vanjskog oplošja grijanog dijela zgrade  $A_o$  ( $m^2$ ) i volumena grijanog dijela zgrade  $V_g$  ( $m^3$ ).

$$f_0 = \frac{A_o}{V_g} [m^{-1}] \quad (3.1)$$

Faktor oblika utječe na ukupnu potrošnju energije u zgradi. Za isti volumen, povećanje oplošja daje veću vrijednosti faktora oblika što ujedno povećava i transmisijske gubitke. Dakle, sa manjim faktorom oblika se ostvaruje veća energetska učinkovitost. Za zgradu sa većim faktorom oblika se isto može postići veća energetska učinkovitost, ali će trebati više toplinske zaštite kako bi se to ostvarilo.

Sa poznatim podacima o potrebi za toplinom, treba ih usporediti sa maksimalnim dopuštenim vrijednostima po tablicama 8 i 9 iz [1]. Grijani dio zgrade čine šest toplinskih zona na tri etaže. Kvadrature etaža su jednake pa se sumiranjem površina poda/stropa jedne istočne i zapadne zone može dobiti ukupna kvadratura grijanog dijela zgrade. Kvadratura poda se može očitati iz modela zgrade iz programa TRNBuild te iznosi:

$$A_e = A_{e,I} + A_{e,Z} [m^2] \quad (3.2)$$

Pri čemu su:

- $A_{e,I}$  – kvadratna površina istočne zone [ $m^2$ ]
- $A_{e,Z}$  – kvadratna površina zapadne zone [ $m^2$ ]

$$A_e = 27,42 + 29,99 = 57,41 m^2, \text{ tj.}$$

$$A_e = 172,23 m^2$$

Volumeni se računaju množenjem površine etaže sa visinom. Međutim, kako etaže nisu sve iste visine te kako je jedna toplinska zona u potkrovlju (2\_KAT\_I), volumeni toplinskih zona se očitavaju iz programa TRNBuild i zbrajaju (analogno kvadratnim površinama):

$$V_{g,p} = V_{p,I} + V_{p,Z} = 62,303 + 75,58 = 137,88 m^3$$

$$V_{g,1} = V_{1,I} + V_{1,Z} = 60,078 + 72,881 = 132,96 m^3$$

$$V_{g,2} = V_{2,I} + V_{2,Z} = 41,147 + 77,98 = 119,13 m^3$$

$$V_g = V_{g,p} + V_{g,1} + V_{g,2} = 137,88 + 132,96 + 119,13 = 389,97 \approx 390 m^3$$

Oplošje grijanog dijela zgrade se isto može očitati iz programa i izračunati:

$$A_{o,p} = A_{p,l} + A_{p,z} = 2 \cdot 10,76 + 14,59 + 2 \cdot 13,05 + 14,59 = 76,8 \text{ m}^2$$

$$A_{o,1} = A_{1,l} + A_{1,z} = 2 \cdot 10,38 + 14,07 + 2 \cdot 12,59 + 14,07 = 74,08 \text{ m}^2$$

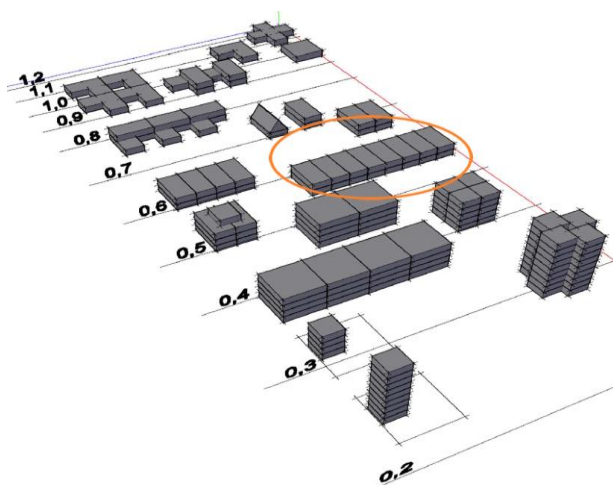
$$A_{o,2} = A_{2,l} + A_{2,z} = 2 \cdot 7,11 + 23,31 + 2 \cdot 13,47 + 15,05 = 79,52 \text{ m}^2$$

$$A_o = A_{o,p} + A_{o,1} + A_{o,2} = 76,8 + 74,08 + 79,52 = 230,4 \text{ m}^2$$

Uvrštavanjem u formulu (4), faktor oblika iznosi:

$$f_0 = \frac{A_o}{V_g} = \frac{230,4}{390} = 0,591 \text{ m}^{-1}$$

Usporedbom izračunate vrijednosti sa približnim vrijednostima slike 3.4, faktor oblika se podudara sa stvarnim oblikom kuće, tj. kuća u nizu.



**Slika 3.4: Približni faktor oblika za različite tipologije zgrada**

Iz tablice 9 iz [2] se određuje maksimalna potreba za toplinom za obiteljske kuće, gdje se gleda kuća koja je smještena u kontinentalnoj Hrvatskoj. Srednja temperatura najhladnijeg mjeseca u godini je  $\theta_{mm} \leq 3 \text{ °C}$  te vrijedi:

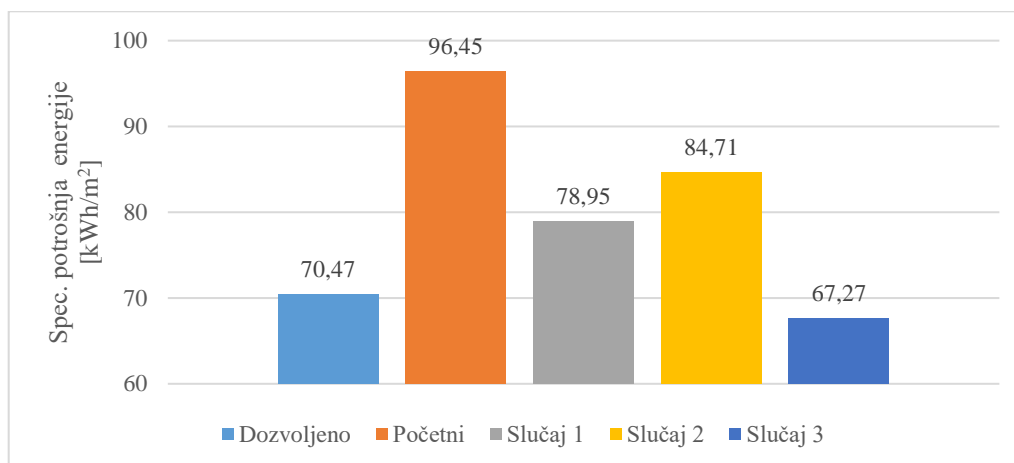
Najveća dopuštena vrijednost za specifičnu korisnu energiju  $Q''_{H,nd}$  kod postojeće zgrade ( $0,20 \leq f_0 \leq 1,05$ ):

$$Q''_{H,nd} = 40,49 + 50,73 \cdot f_0 \text{ [kWh/m}^2\text{]} \quad (3.3)$$

$$Q''_{H,nd} = 40,49 + 50,73 \cdot 0,591 = 70,47 \text{ kWh/m}^2$$

**Tablica 3.6: Ukupne energije i specifične energije za zgradu**

Slučaj	Početni	1	2	3
$Q_{gr}$ [kWh]	16612	13598	14590	11586
$Q_{gr}/A_{uk}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	96,45	78,95	84,71	67,27
$Q''_{H,nd}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	70,47			



**Slika 3.5: Ukupne specifične energije za navedene slučaje iz tablice 3.6**

Iz dijagrama sa slike 3.2.3 je uočljivo da slučaj 3 predstavlja jedine uvjete za smanjenje potrošnje energije unutar propisanih vrijednosti. Dok prethodna dva slučaja smanjuju potrošnju, pogotovo izmijenja prozora, samostalno nisu dovoljni.

Ako bi se išlo na obnovu zgrade jedino se mogu primijeniti mjere iz slučaja 3 jer jedino ono zadovoljava propisane dozvoljene mjere.

Naravno, isplativost izmjene prozora te podebljanja vanjske ovojnice kuće je upitna jer postoje i druge metode smanjenja potrošnje energije, koji se ne odnose na fizikalne karakteristike kuće, koje isto treba ispitati prije nego se dovede zaključak. Te druge metode se odnose na sustav grijanja. Također, treba razmotriti i implementaciju sustava hlađenja.

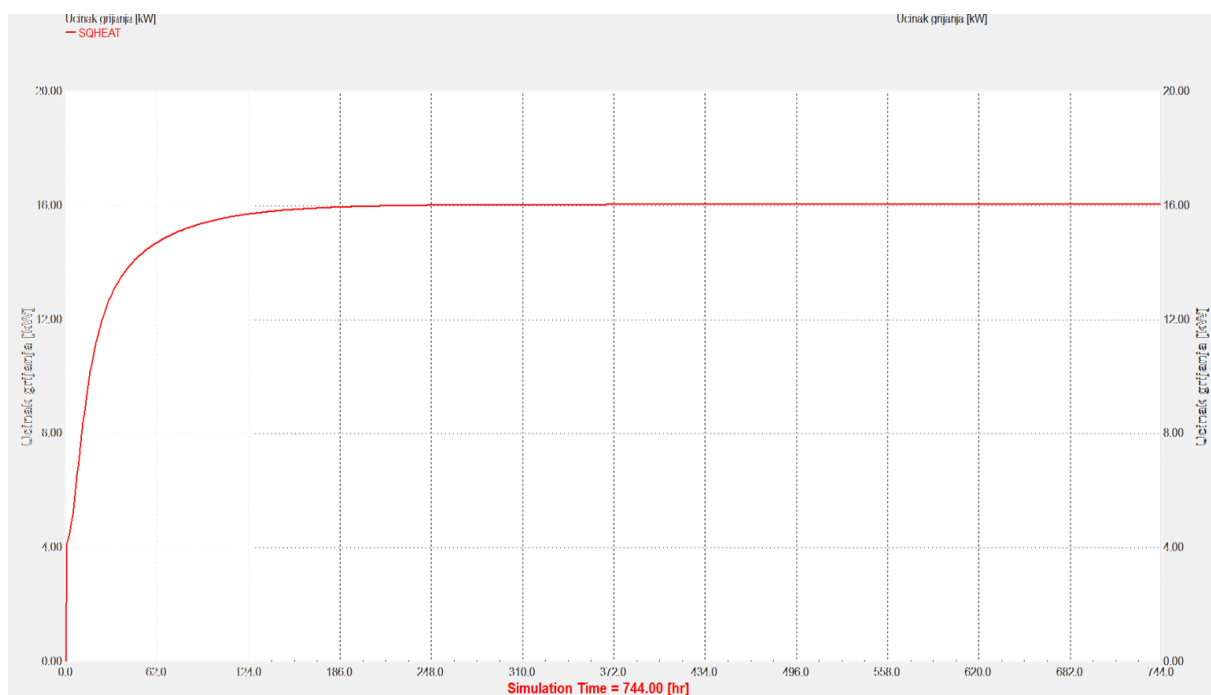
## 4. PROJEKTNI UČINAK ZA GRIJANJE I HLAĐENJE

Isti model (početni slučaj) se koristi za izračun potrebnih učinaka za grijanje i hlađenje u projektnim uvjetima za stacionarno stanje. Rezultati simulacije su potrebni za određivanje veličine opreme koja se ugrađuje u sustavu. Za proračun projektnog učinka za grijanje potrebno je postaviti iduće uvjete:

- Stacionarni uvjeti provođenja topline
- Konst. temperatura vanjskog zraka postavljena na vanjsku projektnu temperatura
- Konst. temperatura tla
- Sunčevo zračenje nije prisutno
- Unutarnji dobitci nisu prisutni
- Toplinske zone se zagrijavaju na projektnu temperaturu prostora bez prekida

Za referentnu temperaturu vanjskog zraka, te zraka u kanalima bočnih zidova, u zimskom razdoblju uzima se temperatura  $\vartheta = -12,8 \text{ }^\circ\text{C}$ , dok temperatura tla ostaje na  $\vartheta = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Period simulacije se postavlja za najhladniji mjesec, što je u ovom slučaju siječanj, pa se simulacija pokreće za prvih 744 sata.

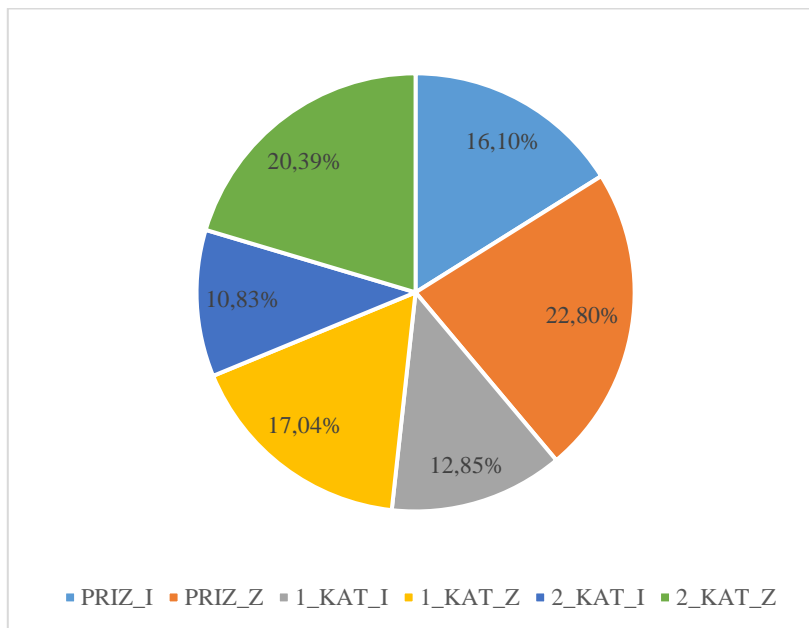
Iz rezultata simulacije projektni učinak grijanja iznosi  $Q_{proj,gr} = 16,05 \text{ kW}$  (slika 4.1), dok specifični učinak za grijanje iznosi  $0,093 \text{ kW/m}^2$ . Učinci po zonama prikazani u tablici 4.1, dok su udjeli prikazani dijagramom na slici 4.2.



**Slika 4.1: Učinak grijanja u satima za najhladniji mjesec u godini (siječanj)**

**Tablica 4.1: Toplinski učinak po toplinskim zonama**

Toplinska zona	Učinak $Q_{osj}$ [kW]
PRIZ_I	2,6
PRIZ_Z	3,7
1_KAT_I	2,1
1_KAT_Z	2,7
2_KAT_I	1,7
2_KAT_Z	3,3



**Slika 4.2: Udjeli projektog toplinskog učinka po zonama**

Dok u modelu nije definirano hlađenje, zbog pregrijavanja toplinskih zona u ljetnim mjesecima potrebno je odrediti projektni učinak hlađenja u svrhu postavljanja nove opreme za hlađenje. Za proračun projektog učinka za hlađenje potrebno je postaviti iduće uvjete:

- Konst. temperatura i relativna vlažnost vanjskog zraka pri projektnim uvjetima
- 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

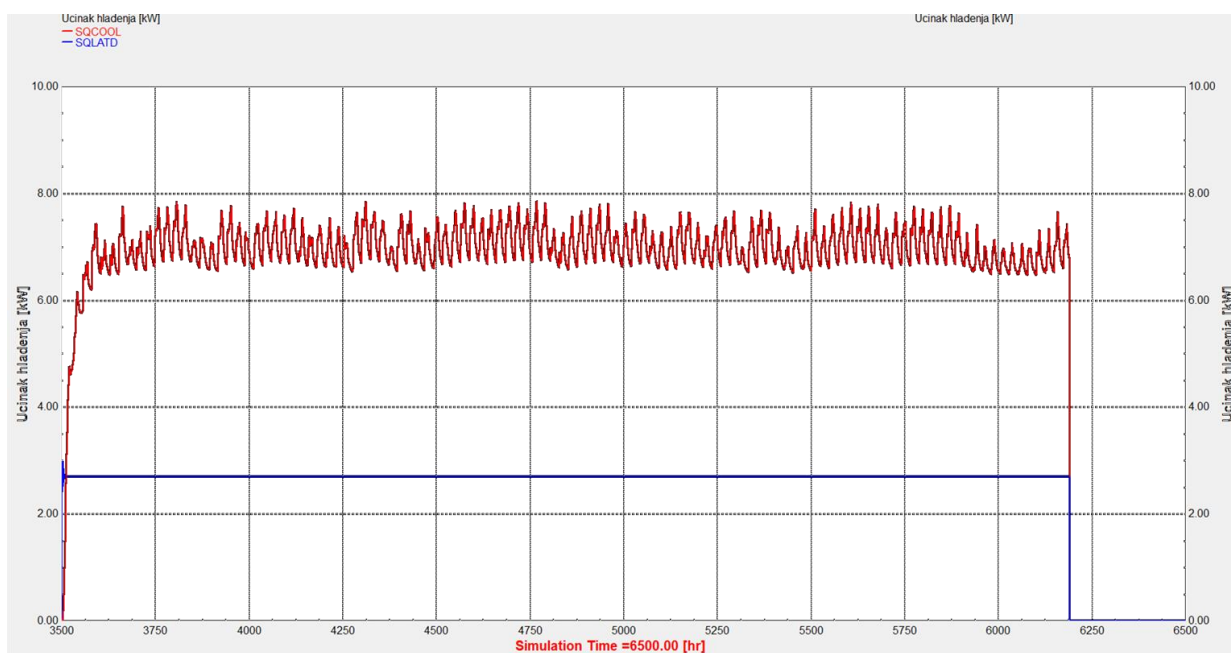
Slično kao kod grijanja, za referentnu temperaturu vanjskog zraka, te zraka u kanalima bočnih zidova, u ljetnom razdoblju uzima se temperatura  $\vartheta = 35$  °C relativne vlažnosti  $\phi = 60\%$ , dok tlo ostaje na  $\vartheta = 10$  °C. Period simulacije se postavlja za najtoplije razdoblje, tj. ljeto pa se simulacija pokreće od 3500 do 6500 sati.

Najveći osjetni projektni učinak hlađenja objekta iznosi  $Q_{proj,osj,hl} = 7,86$  kW (slika 4.3) koji se ostvaruje na 4769. satu u godini (sredina 6. mjeseca) dok projektni latentni učinak hlađenja je konstantan i iznosi  $Q_{proj,lat,hl} = 2,71$  kW. Zbrojem tih vrijednosti, projektni učinak hlađenja iznosi  $Q_{hl} = 10,57$  kW.

Najveći osjetni i latentni učinci hlađenja po zonama prikazani su u tablici 4.2. Sumom tih vrijednosti dobiva se najveći potencijalni učinak hlađenja pri projektnim uvjetima.

**Tablica 4.2: Maksimalne vrijednosti projektnog učinka hlađenja (osjetnog i latentnog) po toplinskim zonama**

Toplinska zona	Učinak $Q_{osj}$ [kW]	Učinak $Q_{lat}$ [kW]	Učinak hlađenja zone $Q_{hl,zone}$ [kW]
PRIZ_I	1,28	0,45	1,73
PRIZ_Z	1,51	0,54	2,05
1_KAT_I	1,03	0,42	1,45
1_KAT_Z	1,53	0,52	2,05
2_KAT_I	1,28	0,29	1,57
2_KAT_Z	1,71	0,54	2,25
Najveći potencijalni učinak hlađenja $Q_{hl,max}$ [kW]			11,1



**Slika 4.3: Učinak hlađenja u satima za najtoplije razdoblje u godini (ljetu)**

## 5. POSTOJEĆI SUSTAV GRIJANJA

### 5.1. Sustav centralnog grijanja

U skladu dobivenih rezultata za grijanje iz tablice 4.1 moguće je odrediti veličinu i snagu ogrjevnih tijela. Režim rada je 60/40/20 °C kojeg ostvaruje plinski kotao, a ogrjevna tijela su člankasti radijatori Lipovica Solar 700 [3], čiji učinak po članku iznosi 76 W za zadani režim rada.

Broj članaka se dobiva sljedećom formulom

$$Q_{rad} = n_{\text{čl}} \cdot q_{\text{čl}} \text{ [W]} \quad (5.1)$$

gdje su:

- $Q_{rad}$  – toplinski učinak radijatora [W]
- $n_{\text{čl}}$  – broj članaka radijatora
- $q_{\text{čl}}$  – učinak jednog članka radijatora [W/članku]

Rezultati su prikazani tablično (tablica 5.1) zajedno sa stvarnim brojem instaliranih članaka u kući što ujedno obuhvaća i cijevne radijatore (kupaone).

*Tablica 5.1: Broj članaka radijatora po toplinskim zonama*

Toplinska zona	Potrebni broj članaka	Stvarni broj članaka
PRIZ_I	34	37
PRIZ_Z	49	54
1_KAT_I	28	29 + cijevni
1_KAT_Z	36	54
2_KAT_I	23	cijevni
2_KAT_Z	44	57

Prema podacima iz tablice 5.1 vidi se da su postojeća ogrjevna tijela uglavnom predimenzionirana što znači da su radijatori sposobni predati više topline nego što je potrebno. Učinak grijanja se računa prema stvarnom broju članaka. Kako u nekim zonama postoje cijevni radijatori, za njih se treba posebno izračunati učinak.

Cijevni radijator je Gorenje HC 1674x600 [4] čiji je učinak određen za režime 90/70/20 °C, 70/60/20 °C i 55/45/20 °C (tablica 5.2). Kako niti jedan od tih režima ne odgovara postojećem, određuje ga se formulom:

$$Q_s = Q_n \left[ \frac{\frac{\vartheta_{v,s} + \vartheta_{r,s}}{2} - \vartheta_{z,s}}{\frac{\vartheta_{v,n} + \vartheta_{r,n}}{2} - \vartheta_{z,n}} \right]^n \text{ [W]} \quad (5.2)$$

pri čemu su indeksi:

- $v$  – polaz
- $r$  – povrat
- $n$  – normni
- $s$  – stvarni
- $z$  – zrak u prostoriji

te varijable:

- $Q$  – toplinski učinak [W]
- $\vartheta$  – temperatura [°C]
- $n$  – pretvorbeni eksponent

**Tablica 5.2: Učinek cijevnog radijatora po režimu rada**

Režim rada [°C]	90/70/20	70/60/20	55/45/20
Učinek [W]	1510	1002	636

Uvrštavanjem učinka za dva viša režima i sređivanjem jednadžbe, dobiva se da je eksponent  $n = 1,425$ . Sa poznatim eksponentom, jednadžba se još jedno rješava kako bi se odredio učinak za režim rada 60/40/20 °C, a ono iznosi:

$$Q_s(60/40/20\text{ °C}) = Q_n \left[ \frac{\vartheta_{v,s} + \vartheta_{r,s}}{2} - \vartheta_{z,s} \right]^n = 1510 \left[ \frac{50 + 45}{2} - 20 \right]^{1,425} = 562,35\text{ W}$$

Dakle, učinak radijatora za režim 60/40/20 °C je prikazan u tablici 5.3.

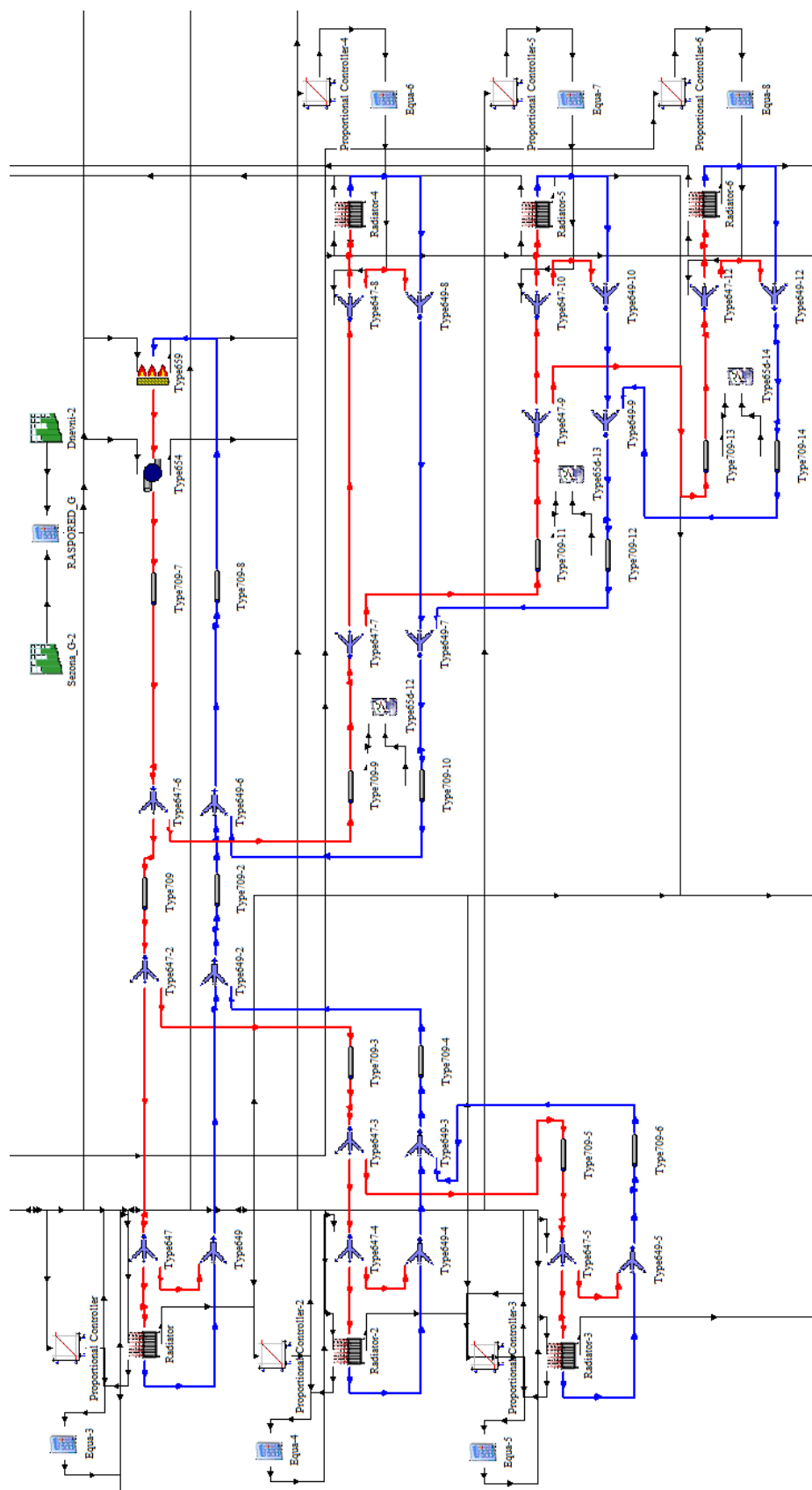
**Tablica 5.3: Toplinski učinak koji ostvaruju radijatori**

Toplinska zona	Stvarni broj članaka	Stvarni učinak grijanja $Q_{gr,stv}$ [kW]	Potrebni učinak grijanja $Q_{gr,potr}$ [kW]
PRIZ_I	37	2,8	2,6
PRIZ_Z	54	4,1	3,7
1_KAT_I	29 + cijevni	2,8	2,1
1_KAT_Z	54	4,1	2,7
2_KAT_I	cijevni	0,6	1,7
2_KAT_Z	57	4,3	3,3

Kako su radijatori predimenzionirani, konačni toplinski učinak koji oni dobavljaju iznosi 18,7 kW što je 17 % više nego potrebno. Regulacija tog učinka se ostvaruje termostatskim ventilom.



Kako se više ne radi o idealnom grijanju, potrebno je kreirati sustav grijanja čiji su parametri opisani rezultatima iz prethodnih simulacija (slika 5.1).



Slika 5.1: Prikaz sustava grijanja u programu Simulation Studio

Plinski kotao Vaillant VK 36/4-1 XEU [14] toplinskog učinka 37 kW i učinkovitosti  $\eta = 0,9$ , je vezan za pumpu varijabilnog protoka koja dobavlja vodu do svih radijatora. Protok pumpe se određuje računski formulom:

$$Q_{gr} = m \cdot c_w \cdot \Delta\vartheta \quad [\text{kW}] \quad (5.3)$$

pri čemu su:

- $Q_{gr}$  – toplinski učinak [kW]
- $m$  – maseni protok vode [kg/s]
- $c_w$  – specifični toplinski kapacitet vode [kJ/kgK]
- $\Delta\vartheta$  – temperaturna razlika polaza i povrata [K].

Preslagivanjem jednadžbe i uvrštavanjem poznatih vrijednosti, dobiva se:

$$m = \frac{Q_{gr}}{c_w \cdot \Delta\vartheta} = \frac{16,264}{4,187 \cdot 20} = 0,1942 \text{ kg/s} = 699 \text{ kg/h} \approx 700 \text{ kg/h}$$

Voda prije dolaska u radijatore prolazi kroz cijevi koje imaju svoje toplinske gubitke, koji nisu zanemarivi. Cijevi polaza i povrata su dugačke i izolirane što se očitava u malo nižoj temperaturi dobavljene tople vode u radijatorima, ali zato i nižem toplinskom gradijentu. Izolacija na cijevima je od polistirena toplinske vodljivosti  $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$  debljine 20 mm.

Osim toga, kako u objektu postoje istočne i zapadne toplinske zone, u sustavu grijanja su postavljene dvije vertikale koje pokrivaju istočnu i zapadnu stranu kuće. Zbog razdvajanja toka na dvije vertikale, postavljena je razvodni ventil na polaznom vodu i miješalica na povratnom. Osim toga, potrebno je ugraditi i račve prije samih radijatora kako bi se osigurao bypass prilikom postizanja željene temperature u zoni. Radijatori u zonama su opremljeni termostatskim ventilom koji je vezan za razvodni ventil. U kući u toplinskoj zoni PRIZ\_Z se nalazi glavni termostat koji diktira temperaturu grijanja, a termostatski ventili reguliraju koliko vode puštaju u radijatore kako bi održali temperaturu.

Radijatorima eksponent toplinskog učinka i unutarnji promjer vodne cijevi iznose  $n_{tu} = 1,32$  i  $d_r = 0,003 \text{ m}$ . Kako neke etaže imaju cijevne radijatore to predstavlja komplikaciju pa se oni pojednostavljuju člankastim radijatorom od 8 članaka. Kako radijatorima treba vremena da se zagriju kada kroz njih voda prolazi, oni neće ostvarivat potreban učinak za grijanje zone. Kako bi se ostvario potreban učinak za grijanje zone, njihov nominalni učinak treba biti nešto veći. Taj se iznos dobiva baždarenjem radijatora u jednostavnoj simulaciji gdje se parametri podešavaju na način da maksimalni učinak u simulaciji bude jednak potrebnom učinku koji se želi ostvariti. Površinska temperatura radijatora će biti nešto niža od temperature polaza pa se i taj parametar

treba isto podesiti. Tako će za postojeći režim nominalni učini i njihovi protoci po zonama iznositi (tablica 5.4):

**Tablica 5.4: Nominalni učinci i protoci radijatora svake toplinske zone za režim grijanja 60/40/20 °C**

Toplinska zona	Toplinski režim 60/40/20 °C	
	Nominalni učinak [W]	Protok [kg/s]
PRIZ_I	3134 (50)	0,03
PRIZ_Z	4315 (50)	0,05
1_KAT_I	3134 (50)	0,03
1_KAT_Z	4315 (50)	0,05
2_KAT_I	571 (50)	0,01
2_KAT_Z	4659 (50)	0,05

Protoci iz tablice 5.4 određeni su preko formule za toplinski učinak (formula 5.3) gdje su vrijednosti toplinskih učinaka uzete iz tablice 5.3.

## 5.2. Sustav pripreme PTV-a

Potrebno je još napraviti sustav potrošne tople vode jer će se pri izradi novog sustava grijanja trebati postaviti i novi sustav PTV-a. Kako se zgrade razlikuju po namjeni i veličini, treba se provest proračun sukladno [2] kako bi se odredila potrošnja vode u ovom kućanstvu. Za to se koriste dvije formule:

$$Q_W = \frac{Q_{W,A,a}}{365} \cdot A_k \text{ [kWh]} \quad (5.4)$$

$$V_w = \frac{3,6 \cdot Q_W}{c_w \cdot (\vartheta_{out} - \vartheta_{in})} \text{ [m}^3\text{]} \quad (5.5)$$

pri čemu su:

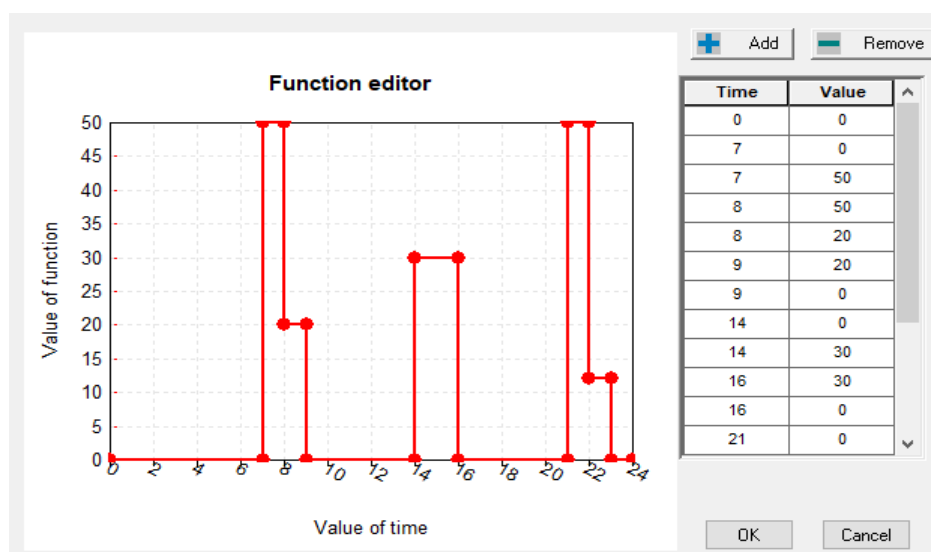
- $Q_W$  – topl. energija potrebna za pripremu PTV-a u promatranom periodu [kWh]
- $Q_{W,A,a}$  – spec. topl. energija potrebna za pripremu PTV-a [kWh/m<sup>2</sup>a]
  - $Q_{W,A,a} = 12,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  za zgrade s 3 stambene jedinice
  - $Q_{W,A,a} = 16 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  za zgrade 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>]
- $\vartheta_{out}$  – temperatura vode na izlazu iz kotla PTV-a [°C]
- $\vartheta_{in}$  – temperatura vode na ulazu u kotao PTV-a [°C]

Uvrštavanjem poznatih vrijednosti u jednadžbe, dobiva se

$$Q_W = \frac{Q_{W,A,a}}{365} \cdot A_k = \frac{12,5}{365} \cdot 172,23 = 5,898 \approx 6 \text{ kWh/danu}$$

$$V_w = \frac{3,6 \cdot Q_W}{c_w \cdot (\vartheta_{out} - \vartheta_{in})} = \frac{3,6 \cdot 6}{\left(\frac{4,187}{3,6}\right) \cdot (40 - 13,5)} = 0,1914 \text{ m}^3 \approx 192 \text{ l/danu}$$

Temeljem toga postavlja se dnevni raspored potrošnje tople vode. Raspored se kreira prema potrošnji ukućana čija ukupna dnevna potrošnja iznosi 192 litara (slika 5.2). Dio te vode se preusmjerava u spremnik PTV-a.



Slika 5.2: Raspored o potrošnji vode

Za kotao se unose podaci i snaga iz kataloga proizvođača [12] od 8 kW i temperatura vode se grije na 40 °C. Za spremnik se unosi:

- visina –  $h = 0,7 \text{ m}$
- volumen spremnika –  $V = 160 \text{ l}$
- koef. prolaza topline kroz plašt i izolaciju –  $k$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_u} + \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{\delta_p}{\lambda_p} + \frac{1}{\alpha_v}} \text{ [W/m}^2\text{K]} \quad (5.6)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_u} + \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{\delta_p}{\lambda_p} + \frac{1}{\alpha_v}} = \frac{1}{\frac{1}{100} + \frac{0,05}{0,035} + \frac{0,004}{45} + \frac{1}{5}} = 0,61 \text{ W/m}^2\text{K}$$

pri čemu su:

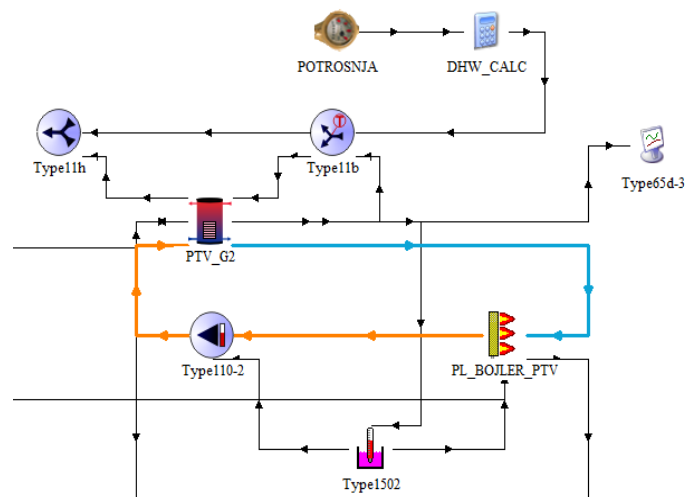
- $\delta_i$  – debljina stijenke izolacije [m]
- $\lambda_i$  – toplinska vodljivost izolacije [W/mK]
- $\delta_p$  – debljina stijenke plašta [m]
- $\lambda_p$  – toplinska vodljivost plašta [W/mK]
- $\alpha_v$  – koeficijent konvekcije sa vanjske strane spremnika [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ]
- $\alpha_u$  – koeficijent konvekcije sa unutarnje strane spremnika [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ]

Potrebno je baždariť sustav u jednostavnoj simulaciji kako bi se zahtjevi za toplinskim učinkom potrebni za zagrijavanje vode poklapali sa učinkom kotla. Ovdje tzv. geometrijski faktor igra ulogu u podešavanju parametara spremnika PTV-a.

Pretpostavljene dimenzije spiralnog izmjenjivača topline (spremnik PTV-a) su:

- promjer spirale izmjenjivača –  $D = 0,4 \text{ m}$
- priključak –  $3/4'' - d_v/d_u = 26,67/24,1 \text{ mm}$
- duljina spirale –  $L = 5 \text{ m}$
- volumen spirale izmjenjivača –  $V_i = 0,0004 \text{ m}^3$
- Geometrijski faktor prirodne konvekcije –  $\text{GF} = 2$

Vodu kroz izmjenjivač cirkulira pumpa zanemarive snage i protoka. Shema sustava prikazana je slikom 5.3:



**Slika 5.3: Shema postojećeg sustava PTV-a**

Unošenjem navedenih vrijednosti, boiler grije vodu u kotlu na  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Okolina također utječe na rad sustava.

Usprkos nižoj temperaturi PTV-a, spremnik se po noći kratko zagrijava na 60 °C suglasno zahtjevima iz [5] kako bi se onemogućilo stvaranje bakterije Legionele (toplinska dezinfekcija).

Kako bi se potrošnja plina u simulaciji poklapala sa potrošnjom iz mjerenih podataka potrebno je podesti učinkovitost bojlera za grijanje PTV-a.

### 5.3. Rezultati simulacije postojećeg sustava

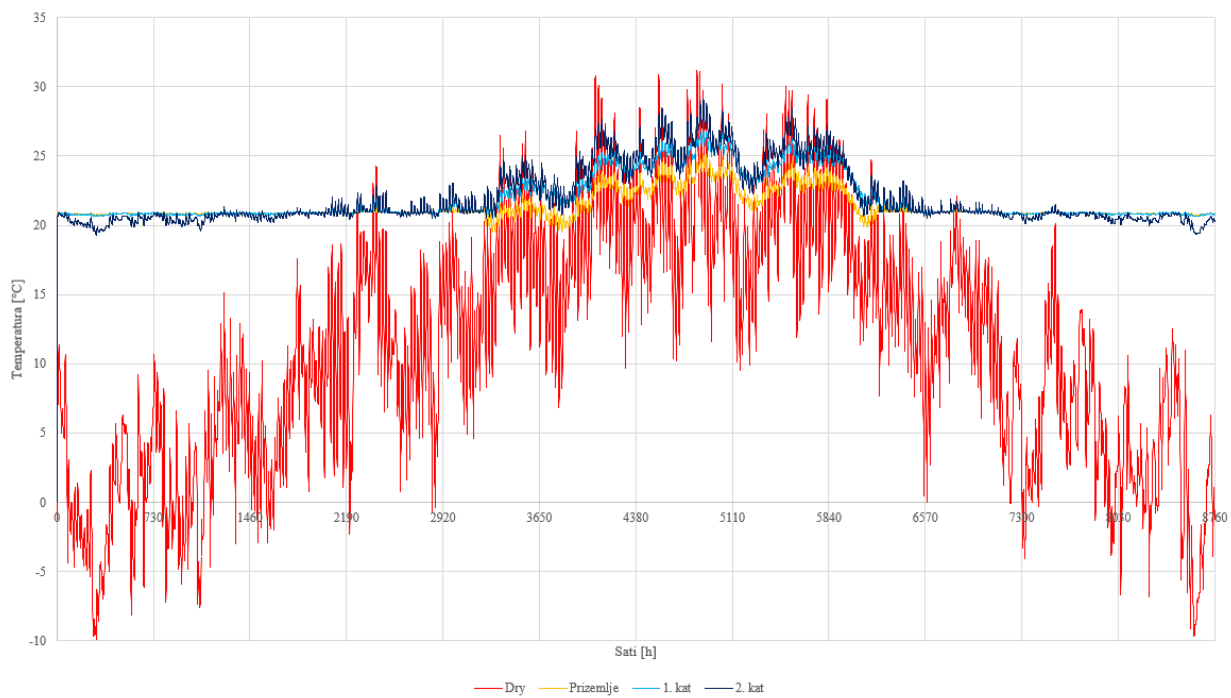
Za sustav grijanja, rezultati su prikazani u tablici 5.5.

*Tablica 5.5: Rezultati potrošnje energije za grijanje za početni slučaj (izvedba 1)*

Mjesec	Potrošnja plina za grijanje $Q_{pl,gr}$ [kWh]	Dovedena energija sustavu grijanja $Q_{dov,gr}$ [kWh]	Potrošnja plina PTV $Q_{pl,PTV}$ [kWh]	Dovedena energija PTV-u $Q_{dov,PTV}$ [kWh]	Pumpa [kWh]
1	4473	4026	525	247	74
2	3469	3122	464	218	67
3	2968	2672	513	241	74
4	1904	1714	495	233	72
5	533	480	511	240	36
6	0	0	492	231	0
7	0	0	507	238	0
8	0	0	507	238	0
9	483	434	493	232	36
10	2078	1870	513	241	74
11	3176	2859	497	234	72
12	4189	3770	513	241	74
$\Sigma$	23274	20946	6031	2834	581

Srednja mjesečna potrošnja energije za PTV iz mjerenja iznosi 531 kWh. Sa pretpostavljenom učinkovitosti od  $\eta = 0,47$ , srednja vrijednost potrošnje plina iznose oko 502 kWh što je dovoljno precizno za ovaj sustav.

Prema navedenim rezultatima, ukupna potrošnja plina za potrebe grijanja iznosi 29304 kWh, što je manje od 6 % razlike u odnosu na podatke dobivenih iz mjerenja što čini sustav pouzdanim. Ukupna predana energija na radijatorima iznosi 17641 kWh, te kada se uračuna učinkovitost kotla i predana energija, učinkovitost sustava distribucije energije iznosi 84 % što je dovoljno blizu pretpostavljenoj vrijednosti.



***Slika 5.4: Temperature vanjskog zraka i etaža za razdoblje od godinu dana***

Sa slike 5.4 se vidi da se temperature etaža (prizemlje, 1. kat, 2. kat) u najhladnijim razdobljima godine kreću između 19 i 21 °C što je unutar očekivanja. Kako se kuća ne stigne puno ohladiti, pri maloj promijeni temperature termostatski ventil se djelomično otvara i opskrbljuje radiator toplom vodom. Ispitalo se da li zadani režim može održati temperaturu etaža iznad 19 °C. Točnije, gledalo se da li 2. kat, koji je najviše toplinski opterećen, može zadržati temperaturu i ovime je te potvrđeno. Kako ovaj slučaj nema sustav hlađenja, uočljivo je da temperature naglo rastu, pogotovo sa povišenjem etaže.

## 6. IMPLEMENTACIJA SUSTAVA HLAĐENJA

Trenutno u kući ne postoji nikakav sustav hlađenja koji regulira temperaturu u prostoru tijekom ljetnih mjeseci. Međutim, implementacija nekakvog sustava hlađenja se isto razmatra za postojeće stanje kuće, tako da se treba izraditi kompletno novi sustav. Kako je taj sustav odvojen od centralnog sustava grijanja jedino u obzir onda dolazi multi split sustav sa jednom vanjskom i više unutarnjih jedinica. Sustav grijanja i sustav hlađenja nisu međusobno povezani i njihov rad se međusobno ne preklapa, tako da rad sustava hlađenja ne utječe na konačne rezultate za potrošenu energiju grijanja.

Kuća je otvorena prema okolini samo sa istočne i zapadne strane što znači da za potrebu hlađenja svih toplinskih zona treba ugraditi po jednu vanjsku jedinicu sa svake strane kuće. Međutim, kako je istočna strana manje toplinski opterećena tijekom ljetnih mjeseci te što su njene toplinske zone manje u odnosu na zapadne, dovoljno je postaviti samo jedan multi split sustav sa zapadne strane kuće. Također, vanjska jedinica estetski nagrđuje izgled kuće, a kako je prednja strane kuće okrenuta prema istoku, ono ima dodatnu prednost.

Sukladno podacima iz tablice 4.2 za projektni učinak hlađenja, kako bi se cijela kuća hladila potreban je uređaj rashladnog učinka od 11,1 kW. Taj ukupni učinak se odnosi za sve grijane toplinske zone. Kako se u istočnim zonama ništa ne hladi, ukupni učinak je nešto manji.

**Tablica 6.1: Potrebni rashladni učinak i latentni učinak hlađenja za promatrane zone**

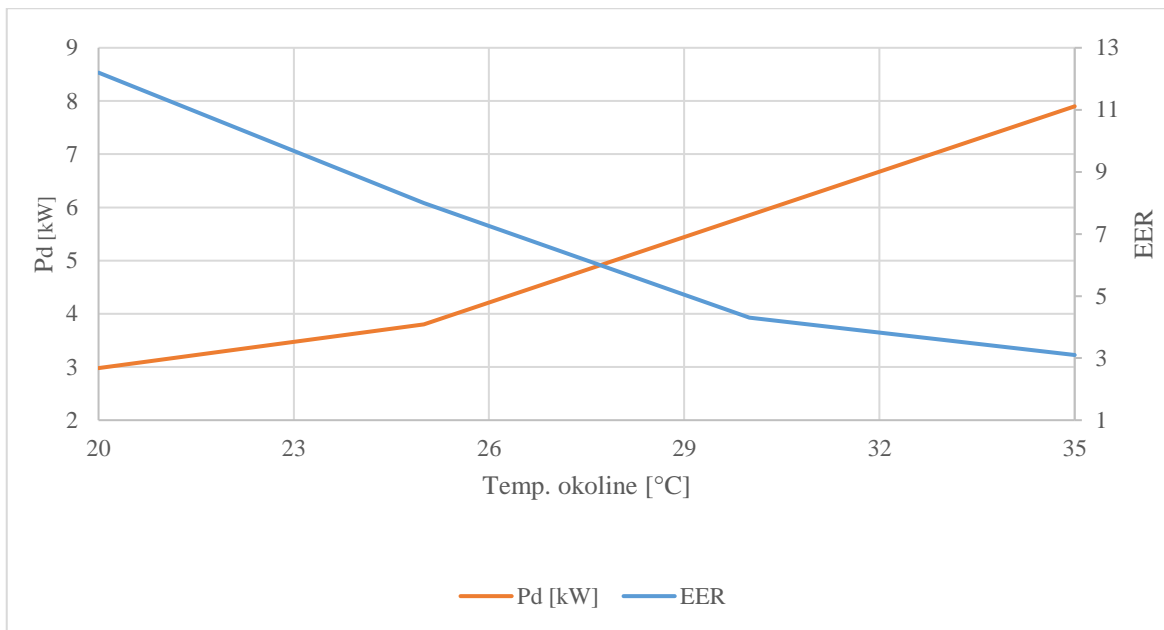
Toplinska zona	Učinak $Q_{osj}$ [kW]	Učinak $Q_{lat}$ [kW]	Učinak hlađenja zone $Q_{hl,zone}$ [kW]
PRIZ_Z	1,51	0,54	2,05
1_KAT_Z	1,53	0,52	2,05
2_KAT_Z	1,71	0,54	2,25
Potrebni učinak hlađenja $Q_{hl,potr}$ [kW]			6,35

Odabrana je vanjska jedinica Clivet Cristallo MU1-Y 79M i njoj kompatibilne tri unutarnje jedinice IM1-XY 27M koje ukupno dobavljaju 7,9 kW rashladnog učinka [11]. Njena mapa efikasnosti je pokazana u tablici 6.2 i u grafu na slici 6.1.

**Tablica 6.2: Podaci za mapu efikasnosti uređaja MU1-Y 79M**

$T_j$ [°C]	$P_d$ [kW]	EER
20	2,979	12,2
25	3,8	8
30	5,85	4,3
35	7,9	3,1



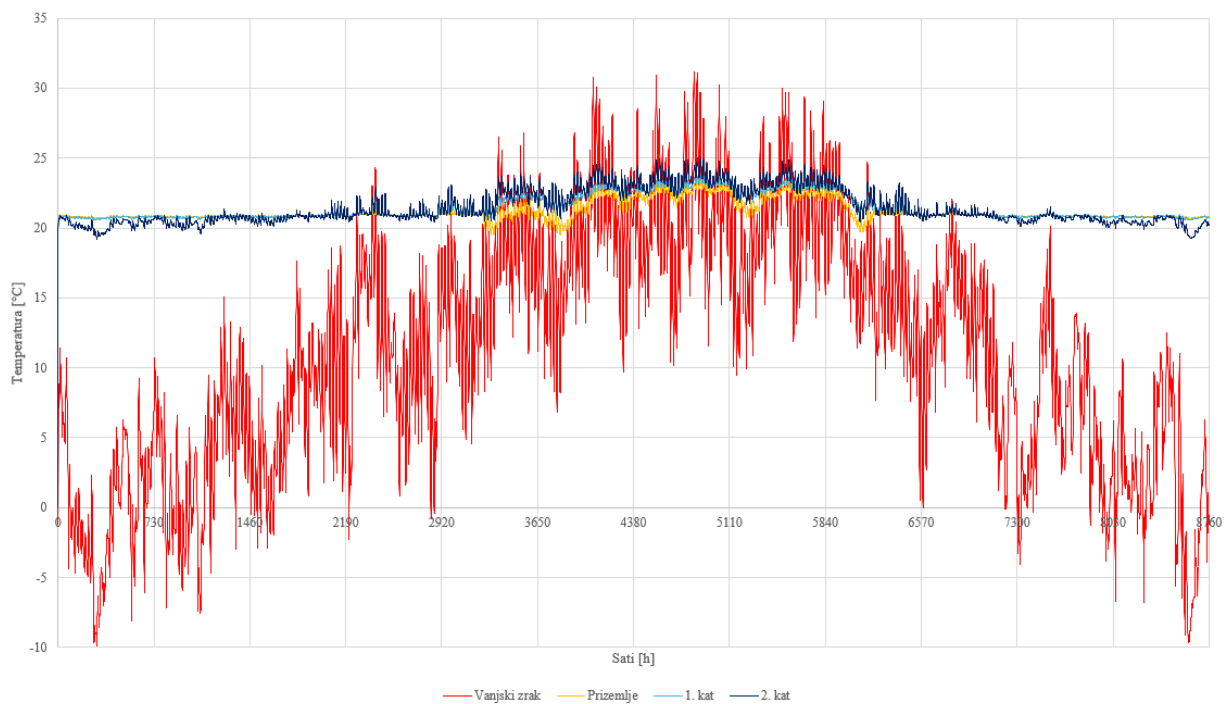


**Slika 6.1: Mapa efikasnosti za klima uređaj MU1-Y79M**

Podjelom ukupnog učinka uređaja na tri dijela, svaka unutarnja jedinica u teoriji dobavlja 2,63 kW. Raspored hlađenja je jednak rasporedu zasjenjenja i traje od sredine 5. mjeseca do sredine 9. mjeseca.

Za sustav hlađenja, ukupna potrebna energija iznosi 2383 kWh, dok je uložena energija kompresora 282 kWh. Računanjem ispada da je sezonski COP<sub>0</sub> klima uređaja 8,45 što znači da se radi o jako učinkovitom uređaju. Temperature u sustavu su postojane i prikazane su na slici 6.2 za postojeći sustav grijanja. Prikazane temperature su svedene na srednju vrijednost po etažama radi lakšeg prikaza.

Definirani sustav hlađenja se primjenjuje i kod ostalih izvedbi sustava grijanja za postojeće stanje ovojnice zgrade.



**Slika 6.2: Temperature vanjskog zraka i etaža za početni slučaj (izvedbu 1) sa implementiranim sustavom hlađenja**

Sa slike 6.2 se vidi da su temperature etaža (prizemlje, 1. kat, 2. kat) u ljetnom razdoblju godine znatno niže nego u slučaju bez sustava hlađenja (slika 5.4). Iako se smo hladi zapadni dio kuće, to je dovoljno da rashladi cijelu etažu i time smanji srednju temperaturu etaže. Iako u ovom slučaju postoji sustav hlađenja, temperature svejedno rastu sa povišenjem etaže.

## 7. NOVI SUSTAVI GRIJANJA

Postojeći sustav grijanja je zastario i polako mu opada učinkovitost. Zato se razmatraju dva nova sustava grijanja koji bi zamijenili postojeći i bolje iskoristili predimenzionirana ogrjevna tijela (radijatore). Ti novi sustavi su:

- Monovalentni sustav centralnog grijanja i pripreme PTV-a preko dizalice topline
- Bivalentni sustav centralnog grijanja i pripreme PTV-a u alternativnom radu sa dizalicom topline

### 7.1. Uvodne pretpostavke

Za daljnje razmatranje treba uzeti nekoliko stvari u obzir:

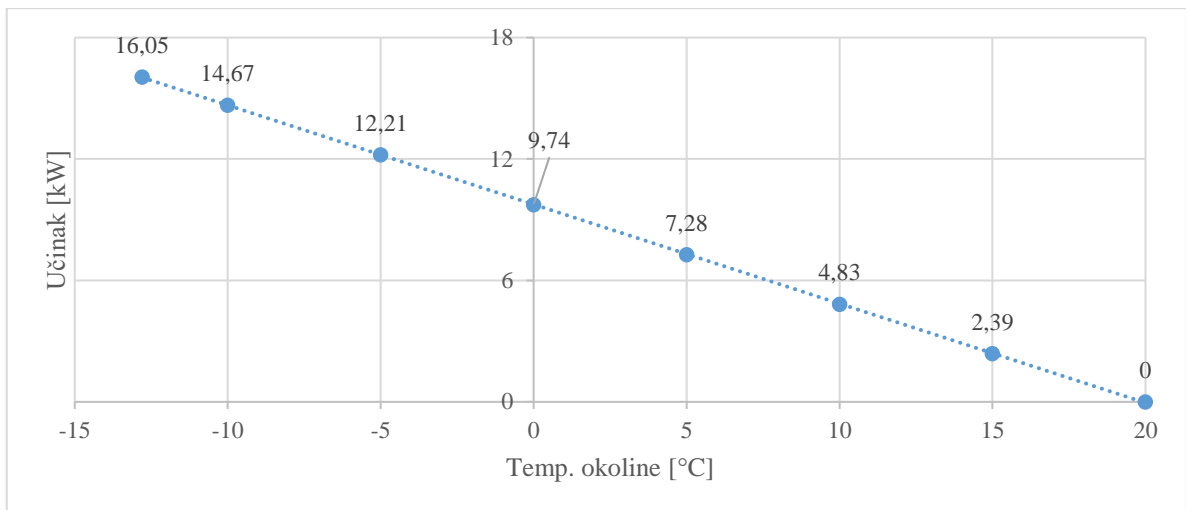
Prvo – raspodjela toplinskih zona nije točno po konstrukcijskim elementima zgrade što znači da su neke toplinske zone podijeljene na dva dijela po zamišljenoj liniji (ne razdvaja ih zid).

Drugo – raspodjela radijatora po toplinskim zonama nije jednaka pa su neke toplinske zone u modelu slabije grijane od drugih. Zato će se razmatrati potreban učinak po etažama, a ne po zonama.

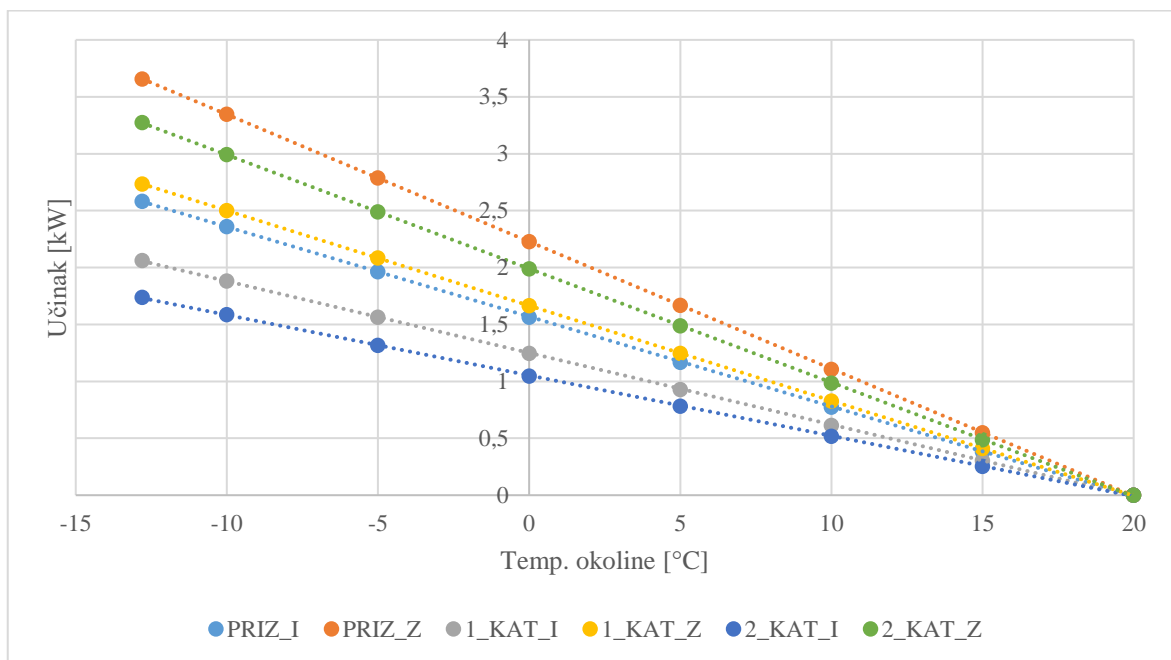
Treće – u stvarnosti toplinske zone pokrivaju nekoliko prostorija koje se griju na istu temperaturu. Budući da su većinom radijatori u kući proizvođača Lipovica, radi pojednostavljenja svi radijatori obuhvaćeni u pojedinoj toplinskoj zoni su predstavljeni jednim ogrjevnim tijelom. Cijevnim radijatorima se učinak računa za zadani temperaturni režim rada i aproksimira člankastim radijatorom sa adekvatnim brojem članaka.

### 7.2. Alternativni režimi grijanja

Dakle jedan od mogućih načina za smanjenje potrošnje je da se odabere niži režim grijanja koji zadovoljava potrebe. Da bi se odabrali niži režimi koji zadovoljavaju potrebe, za početak treba odrediti ukupne potrebne učinke za grijanjem za različite vanjske temperature. To se lako izvodi u simulaciji promjenom projektne temperature okoline. Dobiveni učinci i njihova ovisnost o vanjskoj temperaturi se prikazuju grafički na slici 7.1 i 7.2. Rezultati se mogu aproksimirati pravcem jer imaju gotovo linearnu tendenciju.



**Slika 7.1: Ovisnost potrebnog učinka o vanjskoj temperaturi**



**Slika 7.2: Ovisnost potrebnog učinka promatrane toplinske zone o vanjskoj temperaturi**

Kako je bilo navedeno na početku cjeline, gledaju se potrebni učinci po etažama pa im se vrijednosti zbrajaju. Nakon toga se te vrijednosti dijele sa ukupnim brojem članaka na toj etaži. Kako neke etaže imaju cijevne radijatore koji se aproksimiraju člankastim radijatorom od 8 članaka. Rezultat dijeljenja predstavlja minimalnu potrebnu snagu članka i gleda se najveća vrijednost između tih 3 etaža. Za projektnu vanjsku temperaturu od  $-12,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , minimalna potrebna snaga po članku je  $77,09\text{ W}$  (tablica 6.2.3).

**Tablica 7.1: Potrebna snaga članka po etažama za vanjsku temperaturu od -12,8 °C**

Toplinska zona	Broj instaliranih članaka	Potrebni učinak [W]	Potrebni učinak po etažama [W]	Potrebna snaga članka [W/čl]
PRIZ_I	37	2583,02	6241,39	68,59
PRIZ_Z	54	3658,36		
1_KAT_I	29 + CIJEVNI	2061,39	4795,96	52,70
1_KAT_Z	54	2734,39		
2_KAT_I	CIJEVNI	1738,17	5010,79	77,09
2_KAT_Z	57	3272,62		

Iz prethodne tablice se vidi da je druga etaža najslabija karika. Prema podacima iz [3], prva iduća dostupna snaga članka je 85 W/čl koja odgovara režimu 55/50/20 °C. Taj režim zadovoljava potrebe grijanja te je ujedno niži režim od postojećeg. Pri tim uvjetima, taj režim će moći dobavljati čak 30 % više toplinskog učinka.

**Tablica 7.2: Učinak po etažama za režim 55/50/20 °C**

Toplinska zona	Broj instaliranih članaka	Učinak [W]	Učinak po etaži [W]
PRIZ_I	37	3145	7735
PRIZ_Z	54	4590	
1_KAT_I	29 + CIJEVNI	3145	7735
1_KAT_Z	54	4590	
2_KAT_I	CIJEVNI	680	5525
2_KAT_Z	57	4845	

Isti postupak se provodi za druge projektne vanjske temperature pri -10, -5, 0, 5, 10 i 15 °C gdje se dobiva idući popis režima.

**Tablica 7.3: Popis režima koji zadovoljavaju potrebe za grijanjem pri zadanoj vanjskoj temperaturi**

Projektna vanjska temperatura [°C]	Temperaturi režim [°C]			
	55/50/20	50/45/20	45/40/20	40/35/20
-12,8	Zadovoljava	-	-	-
-10	Zadovoljava	-	-	-
-5	Zadovoljava	Zadovoljava	-	-
0	Zadovoljava	Zadovoljava	Zadovoljava	-
5	Zadovoljava	Zadovoljava	Zadovoljava	Zadovoljava
10	Zadovoljava	Zadovoljava	Zadovoljava	Zadovoljava
15	Zadovoljava	Zadovoljava	Zadovoljava	Zadovoljava

Od četiri navedenih režima koji zadovoljavaju potrebe za grijanjem ovisno o vanjskoj temperaturi, samo jedan to može raditi cijelu godinu. Međutim, ovdje se nisu razmotrila termalna svojstva zgrade, niti dinamičku promjenu vanjske temperature, stoga treba režime ispitati u simulaciji.

Slično kao u prethodnom poglavlju (tablica 5.4), kako bi se ostvario potreban učinak za grijanje zone, određuju se nominalni učinci za sve navedene režime grijanja, koji iznose:

**Tablica 7.4: Nominalni učinci radijatora svake toplinske zone za promatrane režime grijanja**

Toplinska zona	Temperaturni režim			
	55/50/20 °C	50/45/20 °C	45/40/20 °C	40/35/20 °C
PRIZ_I	3252 (53)	2553 (48)	2013 (44)	1369 (39)
PRIZ_Z	4744 (53)	3711 (48)	2944 (44)	2005(39)
1_KAT_I	3252 (53)	2553 (48)	2013 (44)	1369 (39)
1_KAT_Z	4744 (53)	3711 (48)	2944 (44)	2005(39)
2_KAT_I	711 (53)	567 (49)	434 (44)	324 (39)
2_KAT_Z	5013 (53)	3918 (48)	3097 (44)	2138 (39)

Također, kako bi temperatura prostora bila održiva, maseni protok kod nižih režima se mora povećati.  $\Delta T$  kod promatranih režima je manji pa je time i dostupna osjetna energija za grijanje prostora manja. Zato, kako bi se postigla potrebna snaga u radijatorima da bi se prostor držao na željenoj temperaturi, potrebno je povećati protok vode. Daljnjim smanjenjem temperature režima protok vode se sve više povećava. Svi protoci promatranih režima su ispisani u tablici 7.5.

**Tablica 7.5: Protoci toplinskih zona za promatrane režime grijanja**

Toplinska zona	Protoci za promatrani režim [kg/s]			
	55/50/20 °C	50/45/20 °C	45/40/20 °C	40/35/20 °C
PRIZ_I	0,15	0,12	0,09	0,07
PRIZ_Z	0,22	0,18	0,13	0,10
1_KAT_I	0,15	0,12	0,09	0,07
1_KAT_Z	0,22	0,18	0,13	0,10
2_KAT_I	0,03	0,03	0,02	0,01
2_KAT_Z	0,23	0,19	0,14	0,10

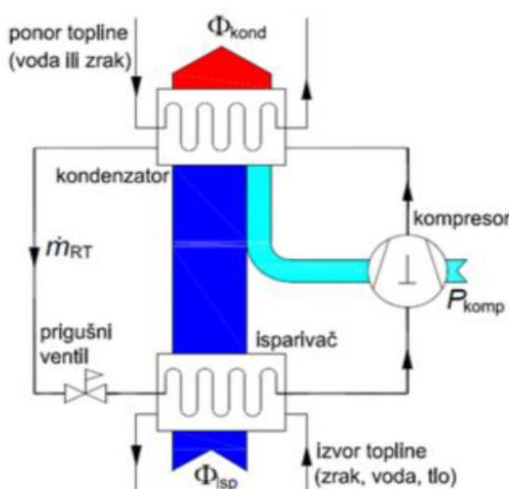
Postojeći plinski kotao nije u stanju grijati vodu pri temperaturama nižih od 60 °C pa se umjesto njega primjenjuje dizalica topline kojom se može postići niskotemperaturno grijanje. Osim toga moguće je primijeniti postojeći plinski kotao u kombinaciji sa dizalicom topline da zajedno griju zgradu.

### 7.3. Dizalice topline

Dizalica topline je može biti svaki uređaj koji podiže toplinu sa niže energetske razine na višu utroškom energije (korisni rad) povezanog uređaja sa namjerom korištenja topline više razine. Postoje razni izvori topline koji se primjenjuju kao npr. zrak, voda, tlo pa čak i druga dizalica topline spojena svojim kondenzatorom na isparivač prve (kaskadni sustav).

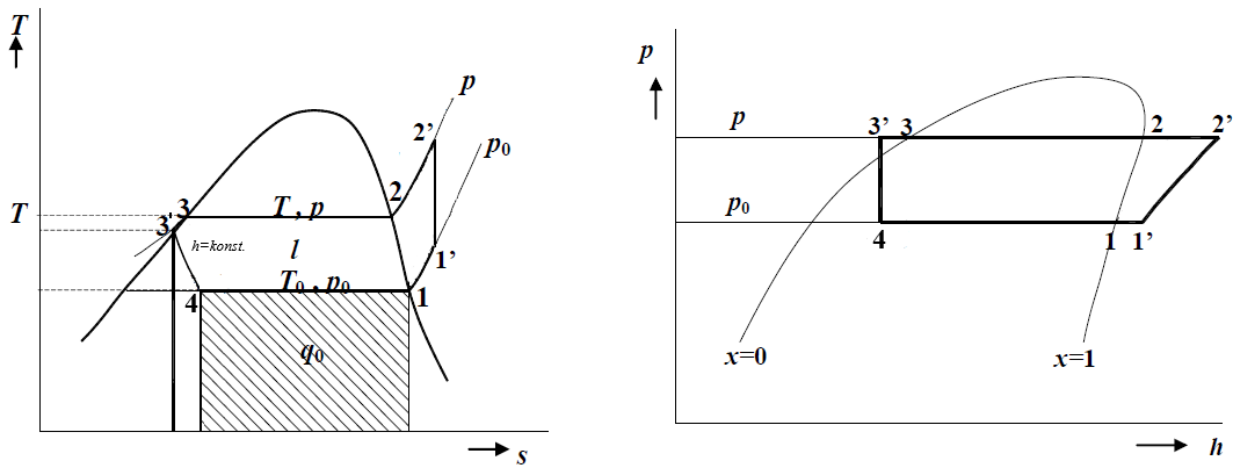
Međutim, zbog raznih pojedinosti i kompleksnosti nekih od navedenih izvora te sukladno zahtjevima iz [5], zrak je lako dostupan toplinski izvor te ga se lako može primijeniti.

Dok ujedno postoje i razne izvedbe dizalica topline, najčešće su kompresorske radi svoje jednostavnosti i visoke učinkovitosti. Sastoje se od isparivača, kompresora, kondenzatora prigušnog ventila i radne tvari.



Slika 7.3: Shema sustava dizalice topline iz [5]

Dizalica topline sa slike 7.3 oduzima toplinu preko isparivača (4) sa vanjskog zraka i time ga hladi. Toplina oduzeta sa zraka je predana radnoj tvari koja isparuje (1) i pregrijava se (1') prije nego što je dalje komprimirana. Kompresijom radne tvari je povećava njen tlak i time temperatura (2') koja je viša od temperature u prostoriji. Kroz kondenzator energija se predaje sa radne tvari na drugi medij kao npr. zrak u prostoriji pri čemu se temperatura radne tvari smanjuje i radna tvar se hladi (2), kondenzira (3) i pothlađuje (3'), ali tlak joj ostaje isti, dok temperatura u prostoriji raste ili se održava na željenoj razini. Prolaskom radne tvari kroz prigušni ventil (4), tlak pada i time njena temperatura ispod razine vanjskog zraka, pri čemu strujanjem kroz isparivač proces se ponovno pokreće. Rad dizalice topline je prikazan u grafu na slici 7.4.



Slika 7.4: Dijagram idealnog rada dizalice topline uzeto iz [6] i prepravljeno za promatrani slučaj

Današnje kompresorske dizalice topline uzimaju oko 75% topline za grijanje iz okoline, a preostalih 25% čini u toplinu električna energija iz pogona kompresora. Kako bi se odredila učinkovitost uređaja koristi se faktor grijanja  $\varepsilon_{GR}$  (COP – coefficient of performance) definiran izrazom:

$$\varepsilon_{GR} = \frac{\text{toplinski učinak dizalice topline}}{\text{snaga kompresora}} = \frac{Q_{DT}}{P_K} = \frac{h_{2'} - h_{3'}}{h_{2'} - h_{1'}} = \frac{T}{T - T_0} \quad (7.1)$$

pri čemu su:

- $h_{1'}$  – entalpija radne tvari na ulazu u kompresor [kJ/kg] [6]
- $h_{2'}$  – entalpija radne tvari na izlazu iz kompresora i ulazu u kondenzator [kJ/kg] [6]
- $h_{3'}$  – entalpija radne tvari na izlazu iz kondenzatora [kJ/kg] [6]
- $T$  – temperatura na kondenzatoru [K]
- $T_0$  – temperatura na isparivaču [K]

Kad je faktor grijanja  $\varepsilon_{GR} > 1$  to znači da je dobivena toplina veća od utrošene energije. Zato su dizalice topline postale sve više primijenjene jer stvaraju manje energetske troškove na godišnjoj razini i tako štede energiju. Naravno, postoje situacije kada je  $\varepsilon_{GR} < 1$ . To se zbiva u situacijama kada se sa vanjskog izora topline uzima manje topline nego što je potrebno da bi se održala temperatura u sustavu grijanja pa kompresor mora nadoknaditi ostatak. To u pravilu ne pada ispod 0,9.

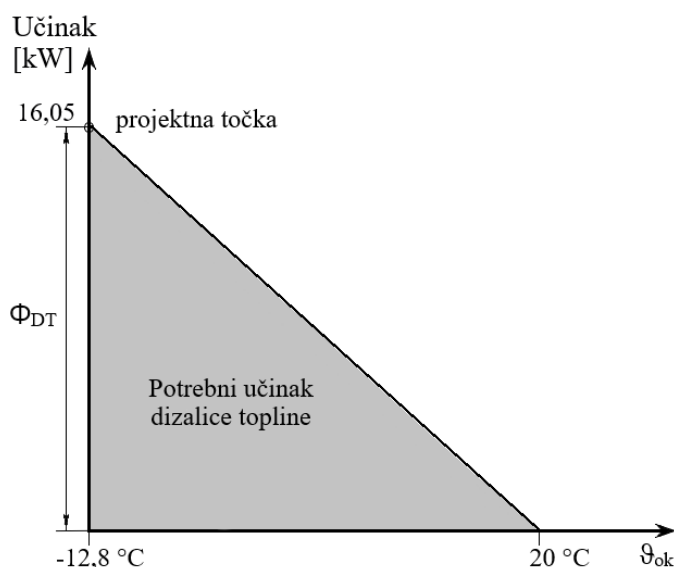
U primjeru se zagrijava zrak u nekoj unutarnjoj prostoriji, što za svrhe ovog rada nije prihvatljivo. Međutim, umjesto zraka u prostoriji može se zagrijavati voda u spremniku. Stoga, najjednostavnije je primijeniti dizalicu topline zrak-voda koja koristi toplinu vanjskog zraka kako bi zagrijala vodu u akumulacijskom spremniku (puferu) za centralno grijanje.



Također, valja napomenuti da dizalica topline u obrnutom radu može raditi kao klima uređaj. Kako to ujedno predstavlja potrebu da se ogrjevna tijela zamjene na neke druge uređaje, koji bi mogli učinkovito iskoristiti taj rashladni učinak, to čini dodatne troškove pa se iz tog razloga ono ne razmatra. Primarni i jedini cilj sustava je grijanje.

#### 7.4. Monovalentni sustav grijanja i pripreme PTV-a preko dizalice topline

Ovaj sustav grijanja je donekle sličan postojećem gdje glavnu razliku zapravo čini uređaj za opskrbu toplinske energije za grijanje vode. Naime, umjesto plinskog kotla sve toplinske gubitke zgrade pokriva dizalica topline čiji učinak mora biti projektiran prema projektnoj temperaturi zraka. Kako je taj dio postupka bio izvršen u prethodnoj cjelini, poznati je da učinak dizalice topline mora biti takav da opskrbi 16,05 kW.

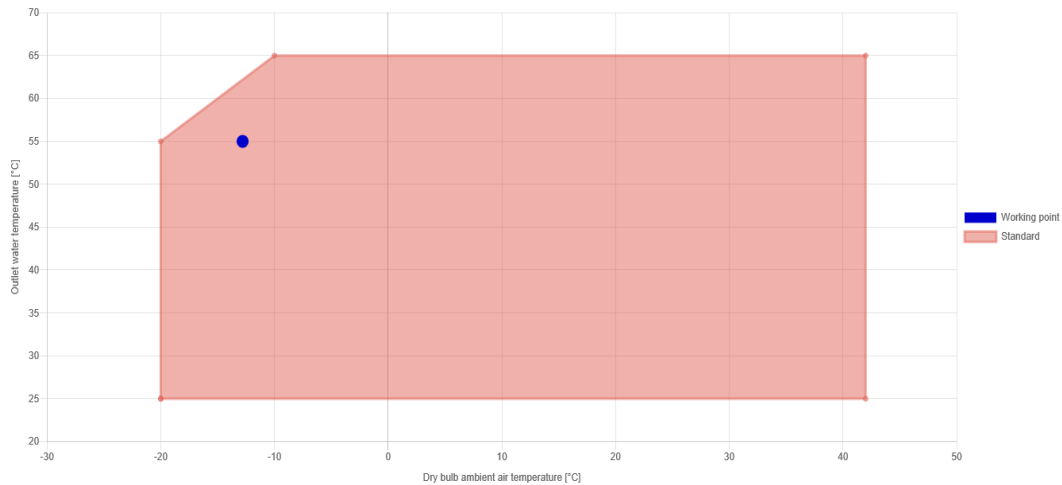


Slika 7.5: Graf monovalentnog načina rada dizalice topline

Za određivanje kompatibilnog uređaja potrebno je vidjeti da li će ono moći dobavljati dovoljni učinak pri projektnoj vanjskoj temperaturi od -12,8 °C. Za to nije dovoljno samo pronaći uređaj koji radi pri tim temperaturama i da ima maksimalni učinak koji zadovoljava zadane zahtjeve, nego treba konkretno vidjeti da li pojedini uređaj pri toj temperaturi uopće ima dostiživu radnu točku. Kako bi se to utvrdilo, koristi se program Magellano [8], proizvođača Aermec dizalica topline, u kojem se unose podaci promatranih uvjeta zajedno sa prethodno navedenim režimima grijanja, u ovom slučaju 55/50/20 °C.

Temeljem poznatih uvjeta, selektiran je uređaj NRK0100HP1 čija je radna točka unutar radnog područja na slici 7.6. Specifikacije joj glase:

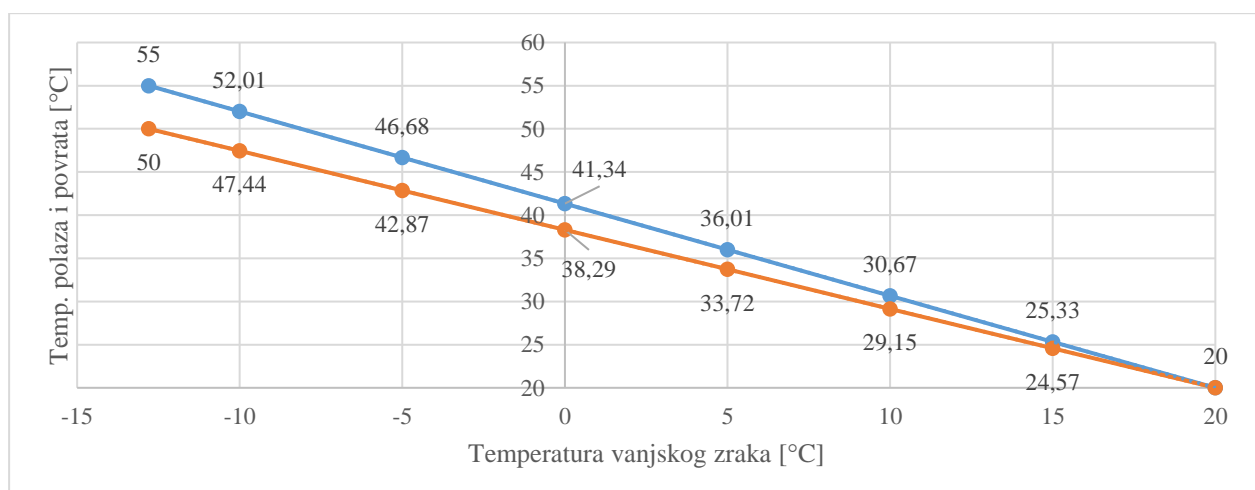
- Kapacitet grijanja –  $Q_g = 18,2 \text{ kW}$
- Električna snaga za grijanje –  $P_g = 10,3 \text{ kW}$



**Slika 7.6: Radno područje Aermec dizalice topline - model NRK0100HP1 [8]**

Uz navedeno, potrebni su još podaci iz mape efikasnosti jer ono određuje kako će uređaj radi u promjenjivim uvjetima rada.

Dizalica topline koristi prethodno određene niže režime grijanje. Ovisno o potrebi, ona mijenja potrebni režim u ovisnosti o vanjskoj temperaturi, što joj omogućuje da bude više učinkovita te smanjuje utrošak energije za grijanje. Iz dijagrama na slici 7.7 se vidi ovisnost temperature polaza i povrata za režim grijanja 55/50/20 °C o vanjskoj temperaturi zraka. Sa povećanjem vanjske temperature zraka smanjuje se temperature polaza i povrata. Kod promatranog režima grijanja, moguće je odrediti pri kojim vanjskim temperaturama se mijenja režim grijanja.



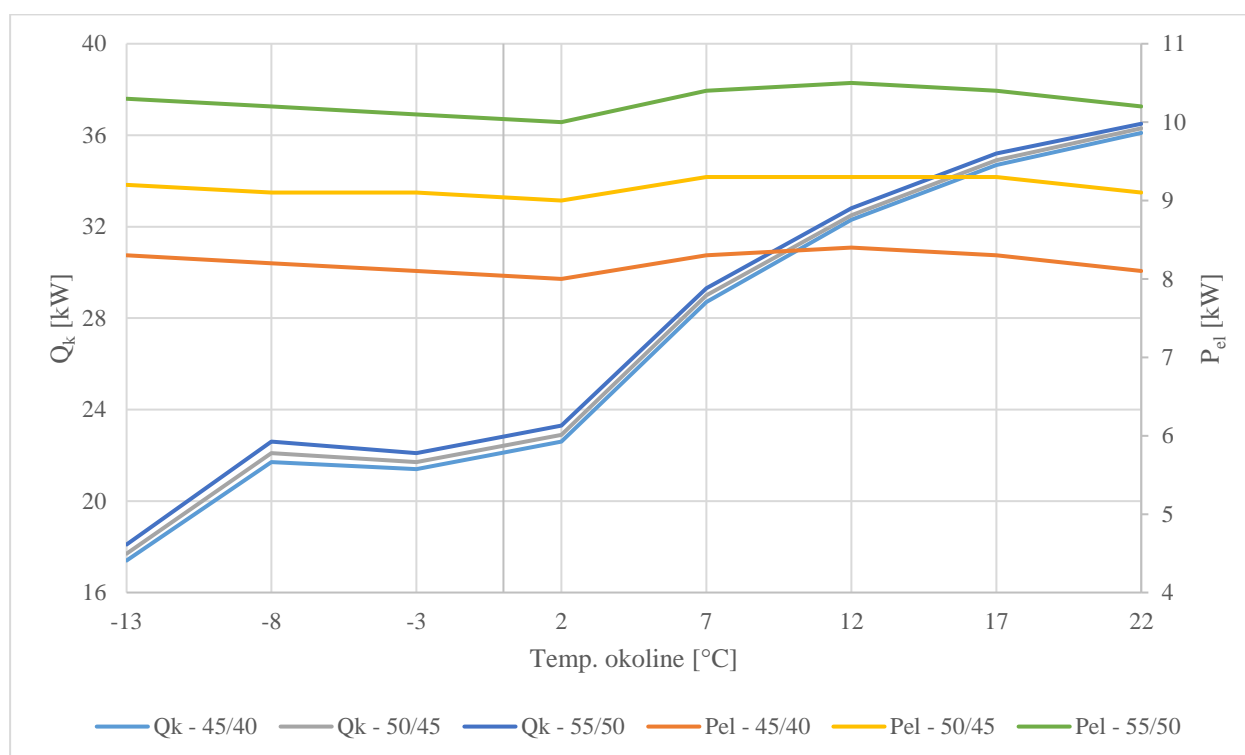
**Slika 7.7: Dijagram klizanja temperaturnog režima 55/50/20 °C**

Tako se pri vanjskoj temperaturi zraka od -8 °C režim prebacuje sa promatranog na 50/45/20 °C, a pri -3 °C na 45/40/20 °C što je ujedno i najniži primijenjen režim grijanja u ovoj izvedbi.

Iz istog programa [8] ispisuju se radne točke uređaja pri određenim uvjetima rada za promatrane režime grijanja (tablica 7.6) iz čega se dalje kreira mapa efikasnosti za promatrani uređaj. Karakteristika dizalice topline je prikazana u dijagramu na slici 7.8.

**Tablica 7.6: Vrijednosti učinaka promatranih radnih točaka za grijanje dizalice topline NRK0100HP1**

TWI (TWO)	40 (45)		45 (50)		50 (55)	
TAI	$Q_k$	$P_{el}$	$Q_k$	$P_{el}$	$Q_k$	$P_{el}$
-13	17,4	8,3	17,7	9,2	18,1	10,3
-8	21,7	8,2	22,1	9,1	22,6	10,2
-3	21,4	8,1	21,7	9,1	22,1	10,1
2	22,6	8	22,9	9	23,3	10
7	28,7	8,3	29	9,3	29,3	10,4
12	32,3	8,4	32,5	9,3	32,8	10,5
17	34,7	8,3	34,9	9,3	35,2	10,4
22	36,1	8,1	36,3	9,1	36,5	10,2



**Slika 7.8: Dijagram karakteristika za dizalicu topline NRK0100HP1**

Dok dizalica topline može samostalno raditi da zagrije vodu u sustavu grijanja, protok pumpe bi trebao biti jako velik, što bi stvaralo šum i dodatno opterećenje u sustavu grijanja te veće nego potrebne troškove struje, a uz to bi vrijeme izvršavanja simulacije bilo znatno duže. Iz tog se razloga ugrađuje akumulacijski spremnik u kojem se voda zagrijana dizalicom topline akumulira

i dalje distribuirana kroz sustav grijanja. Odabran je akumulacijski spremnik TESY V100 -55-ACF-PS [10] čije su specifikacije iduće:

- kapacitet spremnika -  $V_{puf} = 100$  l
- visina spremnika -  $H_{puf} = 1,081$  m
- promjer spremnika -  $D_{puf} = 0,55$  m
- debljina izolacije -  $\delta_{pu} = 0,073$  m
- toplinska vodljivost izolacije poliuretana -  $\lambda_{pu} = 0,022$  W/mK
- visina postolje -  $h_{pos} = 0,155$  m
- visina unutarnjeg dijela spremnika -  $h = 0,78$  m
- unutarnji promjer spremnika -  $d_s = 0,404$  m
- koef. prolaza topline kroz plašt i izolaciju -  $k$

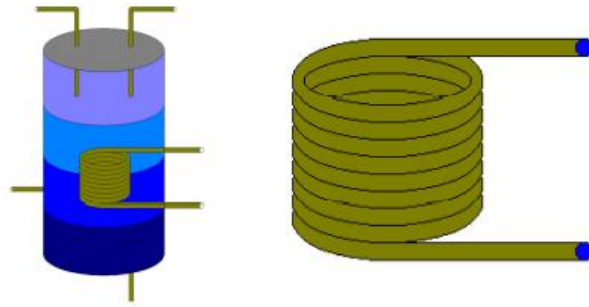
$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_u} + \frac{\delta_{pu}}{\lambda_{pu}} + \frac{\delta_p}{\lambda_p} + \frac{1}{\alpha_v}} = \frac{1}{\frac{1}{100} + \frac{0,073}{0,022} + \frac{0,004}{45} + \frac{1}{5}} = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Kako se plinski kotao mijenja za dizalicu topline, mijenja se i onaj za pripremu PTV-a i postavlja se novi. Odabrana dizalica topline ujedno služi kako bi se grijala voda za PTV.

Novi spremnik PTV-a (slika 7.9) je uzet iz [9] i ima slična obilježja osim što ovaj stvarno ima spiralni izmjenjivač topline (slika 7.10) koji služi kako bi dizalica topline ujedno grijala i PTV.



*Slika 7.9: Odabrani novi spremnik PTV-a*



Slika 7.10: Spiralni izmjenjivač topline u spremniku PTV-a

Karakteristike spremnika:

- visina spremnika -  $H = 1,007$  m
- promjer spremnika -  $D_s = 0,6$  m
- debljina izolacije -  $\delta_i = 0,08$  m
- volumen spremnika -  $V = 160$  l
- Priključak - 3/4"
- Volumen spiralnog (cijevnog) izmjenjivača -  $V_i = 5,8$  l
- Površina cijevnog izmjenjivača -  $A_i = 0,98$  m<sup>2</sup>
- dimenzije spirale (spremnik PTV-a) ():
- priključak - 3/4" -  $d_v/d_u = 26,67/24,1$  mm
- duljina spirale se određuje formulom iz [2]:

$$l = \frac{A}{d_v \cdot \pi} \text{ [m]} \quad (7.2)$$

$$l = \frac{A_i}{d_v \cdot \pi} = \frac{0,98}{0,02667 \cdot \pi} = 11,46 \text{ m}$$

Radi sigurnosti radi se provjera volumena sa formulom [2]

$$V_i = \frac{d_v^2 \cdot \pi}{4} \cdot l \text{ [m}^3\text{]} \quad (7.3)$$

$$V_i = \frac{d_u^2 \cdot \pi}{4} \cdot l = \frac{0,00241^2 \cdot \pi}{4} \cdot 11,46 = 0,00523 \text{ m}^3 = 5,23 \text{ l} \approx 5,8 \text{ l}$$

Preračunavanjem poznatih vrijednosti, potrebni podaci za spremnik iznose:

- visina unutarnjeg dijela spremnika -  $h = 0,847$  m
- unutarnji promjer spremnika -  $d_s = 0,44$  m
- odabrani promjer spirale izmjenjivača -  $D = 0,4$  m

- koef. prolaza topline kroz plašt i izolaciju –  $k$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_u} + \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{\delta_p}{\lambda_p} + \frac{1}{\alpha_v}} = \frac{1}{\frac{1}{100} + \frac{0,08}{0,035} + \frac{0,004}{45} + \frac{1}{5}} = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- Geometrijski faktor prirodne konvekcije –  $GF = 1$

Svojstva vode na srednjoj temperaturi (25 °C)

- gustoća –  $\rho_w = 997 \text{ kg/m}^3$
- Toplinska vodljivost –  $\lambda_w = 0,6066 \text{ W/mK}$
- Viskozitet –  $\eta_w = 0,000899 \text{ kg/ms}$
- Koef. toplinske ekspanzije –  $\alpha_w = 0,0002575 \text{ 1/K}$

Jačina grijača u spremniku određuje se proračunom. Pretpostavlja se da potrošnja vode po satu iznosi  $V_{wps} = 100 \text{ l/h}$  (2 x 50 l tuš) [2]. Sustav PTV-a se projektira za kućni objekt u kojem živi četveročlana obitelj.

- temperatura vode iz vodovoda -  $\vartheta_{vv} = 13,5 \text{ °C}$
- temperatura PTV-a -  $\vartheta_{PTV} = 40 \text{ °C}$

Trenutni učinak iznosi:

$$Q_{tr} = V_{wps} \cdot c_w \cdot (\vartheta_{PTV} - \vartheta_{vv}) \text{ [kW]} \quad (7.4)$$

$$Q_{tr} = V_{wps} \cdot c_w \cdot (\vartheta_{PTV} - \vartheta_{vv}) = \frac{100 \cdot 4,187 \cdot (40 - 13,5)}{3600} = 3,08 \approx 3,1 \text{ kW}$$

Odabrano vrijeme zagrijavanja iznosi  $z_A = 1 \text{ h}$ .

Vrijeme pogona pri vršnoj potrebi (200 l tijekom 2 h) iznosi  $z_B = 2 \text{ h}$ .

Potreban učinak grijača vode u spremniku iznosi:

$$Q_{spr} = Q_{tr} \cdot \frac{z_B}{z_A + z_B} \text{ [kW]} \quad (7.5)$$

$$Q_{spr} = Q_{tr} \cdot \frac{z_B}{z_A + z_B} = 3,1 \cdot \frac{2}{1 + 2} = 2,055 \approx 2,06 \text{ kW}$$

Kako dizalica topline služi da bi grijala objekt i PTV, potrebni učinak grijanja i PTV-a ukupno mora biti 18,2 kW. Suma projektnog učinka grijanja i učinka grijača PTV-a ispada 18,11 kW što

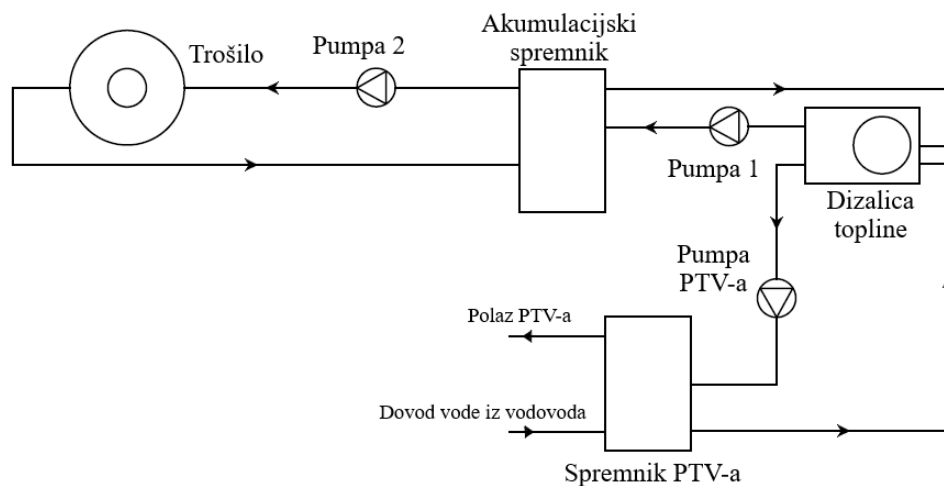
je dovoljno za odabrani uređaj. Vodu iz dizalice topline dobavlja pumpa PTV-a i protok joj se određuje formulom:

$$m = \frac{Q_{spr}}{c_w \cdot \Delta\vartheta} \text{ [kg/h]} \quad (7.6)$$

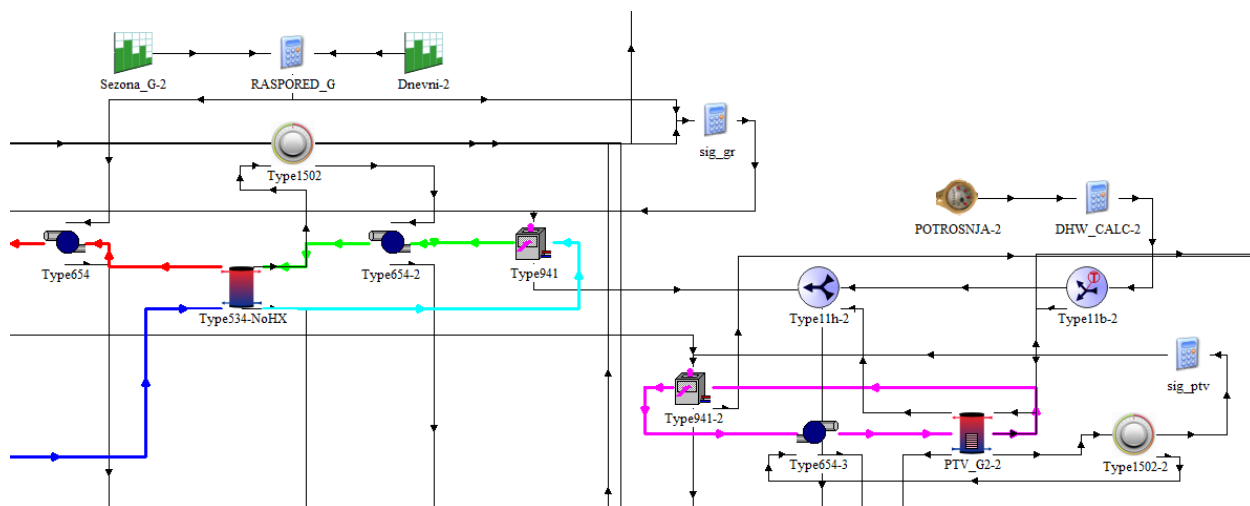
$$m = \frac{Q_{spr}}{c_w \cdot \Delta\vartheta} = \frac{2,06}{4,187 \cdot (55 - 40)} = 0,033 \text{ kg/s} = 117,78 \text{ kg/h}$$

Dakle kako bi se voda u spremniku mogla zagrijati na zadanu temperaturu, potrebno je imati protok pumpe sa minimalnim protokom od 117,78 kg/h. Usvojena vrijednost protoka pume iznosi 120 kg/h.

Da bi voda tekla u sustavu, potrebne su 3 pumpe (iste snage od 100 W) svaka zadužena za zasebni krug. Pumpa 1 cirkulira vodu iz dizalice topline prema akumulacijskom spremniku pretpostavljenim protokom od 1000 kg/h, pumpa 2 cirkulira vodu iz akumulacijskog spremnika prema trošilima (radijatorima) pretpostavljenim protokom od 2000 kg/h, a pumpa PTV-a služi kako bi cirkulirala vodu iz dizalice topline kroz izmjenjivač topline u spremniku PTV-a, protokom od 120 kg/h. Jednostavna shema sustava je prikazana na slici 7.11.



**Slika 7.11: Jednostavna shema monovalentnog sustava grijanja sa dizalicom topline**



**Slika 7.12: Shema monovalentnog sustava grijanja sa dizalicom topline iz sučelja programa Simulation Studio**

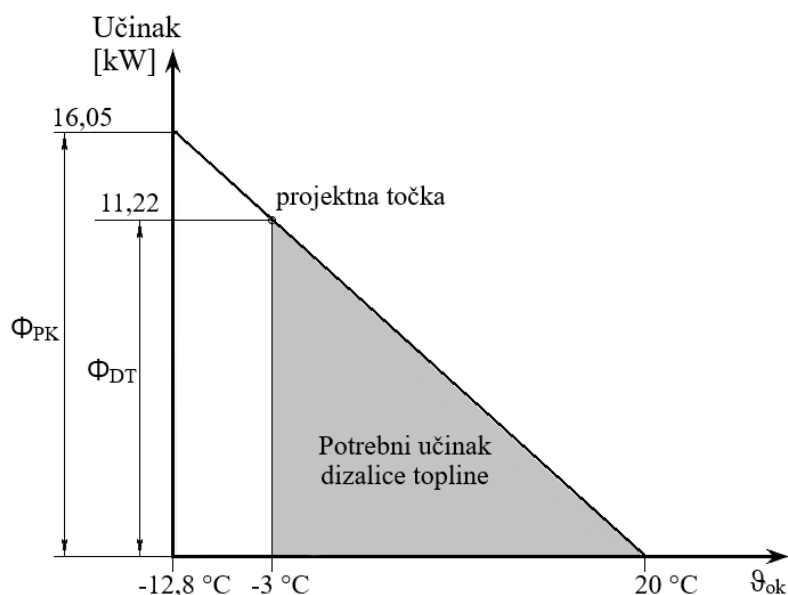
Valja napomenuti da dizalica topline u krugu PTV-a ima iste karakteristike kao uređaj u krugu grijanja (slika 7.12). Uređaj u krugu PTV-a crpi onoliko energije koliko je potrebno kako bi zagrijalo vodu na zadanu temperaturu.



## 7.5. Bivalentni sustav grijanja i pripreme PTV-a preko dizalice topline

Ovaj sustav u odnosu na prethodno navedeni koristi dizalicu topline da samostalno pokriva toplinske zahtjeve do određene vanjske temperature (bivalentna ili projektna točka). Ispod te temperature se uključuje postojeći plinski kotao koji pokriva ostatak. Ovakav rad dizalice topline se zove bivalentni alternativni rad. Dizalica topline u bivalentnom radu je manja u odnosu na dizalicu topline u monovalentnom radu jer ona ne treba pokrivati sve toplinske zahtjeve zgrade tijekom cijele godine, već samo dio. Time još uvijek postoji potrošnja plina za potrebe grijanja, ali je ono znatno manje nego prije. Zato treba utvrditi da li je potrošnja ukupne energije u bivalentnom radu manja u odnosu na monovalentni rad te kakva je razlika u investicijskim troškovima.

Prema podacima iz dijagrama sa slike 7.1, za bivalentnu točku se uzima temperatura  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  te se interpolacijom dobiva potrebni učinak od  $11,22\text{ kW}$ . Pojednostavljeni prikaz grafa prikazan je na slici 7.13.



*Slika 7.13: Graf bivalentnog načina rada dizalice topline*

Postupak određivanja kompatibilnog uređaja sličan je kao u prethodnoj podcjelini samo što je nova zadana projektna vanjska temperatura  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kako su zahtjevi za toplinom koje dizalica topline mora pokriti manji, može ju se postaviti da radi sa nižim režimom grijanja  $50/45/20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Korištenjem programa Magellano [8], odabire se uređaj Aermec ANL081HP.

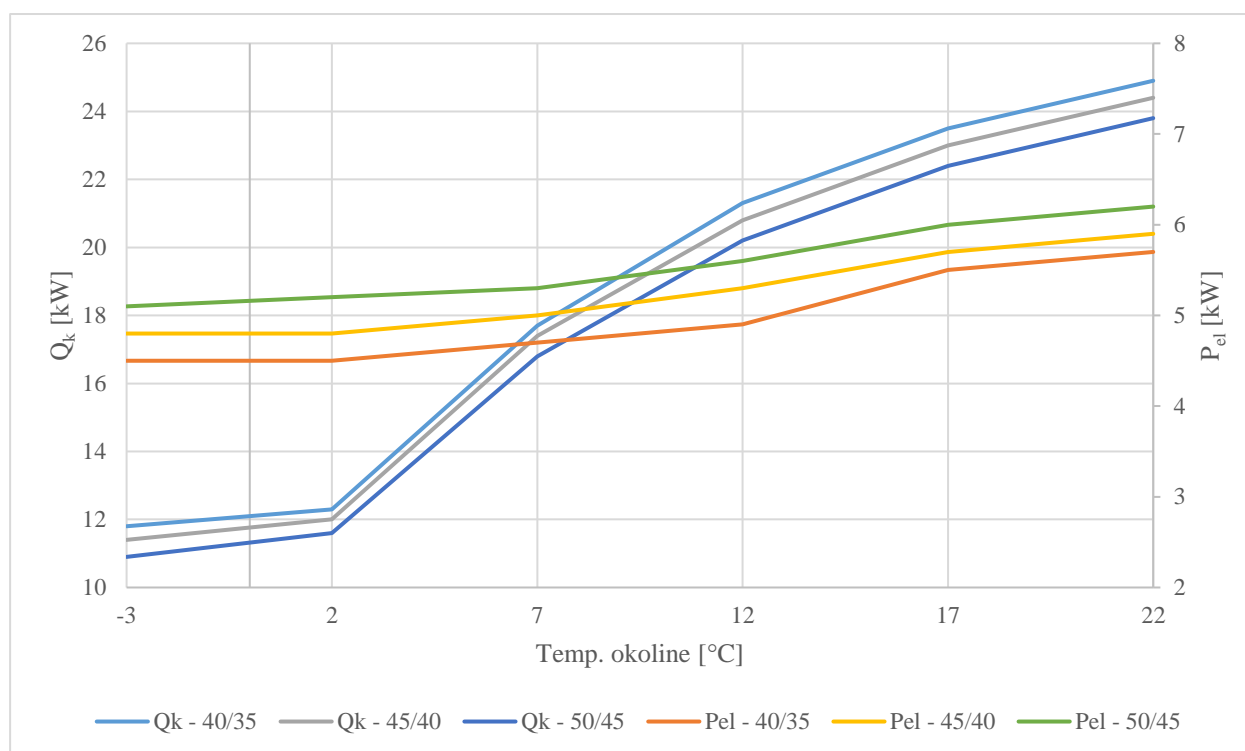
Specifikacije uređaja glase:

- Kapacitet grijanja –  $Q_g = 14,5\text{ kW}$
- Električna snaga za grijanje –  $P_g = 5,9\text{ kW}$

Slično kao u prethodnoj izvedbi, odabrana su tri temperaturna režima od kojih je 40/35/20 °C najniži. Vrijednosti učinaka za promatrane radne točke su prikazane u tablici 7.7 i na slici 7.14 je prikazan dijagram karakteristike dizalice topline.

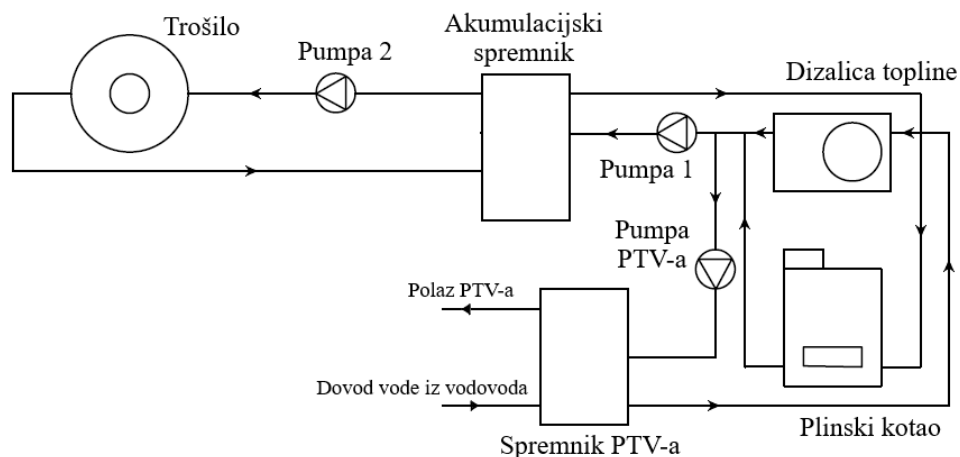
**Tablica 7.7: Vrijednosti učinaka promatranih radnih točaka za grijanje dizalice topline ANL081HP**

TWI (TWO)	35 (40)		40 (45)		45 (50)	
TAI	$Q_k$	$P_{el}$	$Q_k$	$P_{el}$	$Q_k$	$P_{el}$
-3	11,8	4,5	11,4	4,8	10,9	5,1
2	12,3	4,5	12,0	4,8	11,6	5,2
7	17,7	4,7	17,4	5,0	16,8	5,3
12	21,3	4,9	20,8	5,3	20,2	5,6
17	23,5	5,5	23,0	5,7	22,4	6,0
22	24,9	5,7	24,4	5,9	23,8	6,2

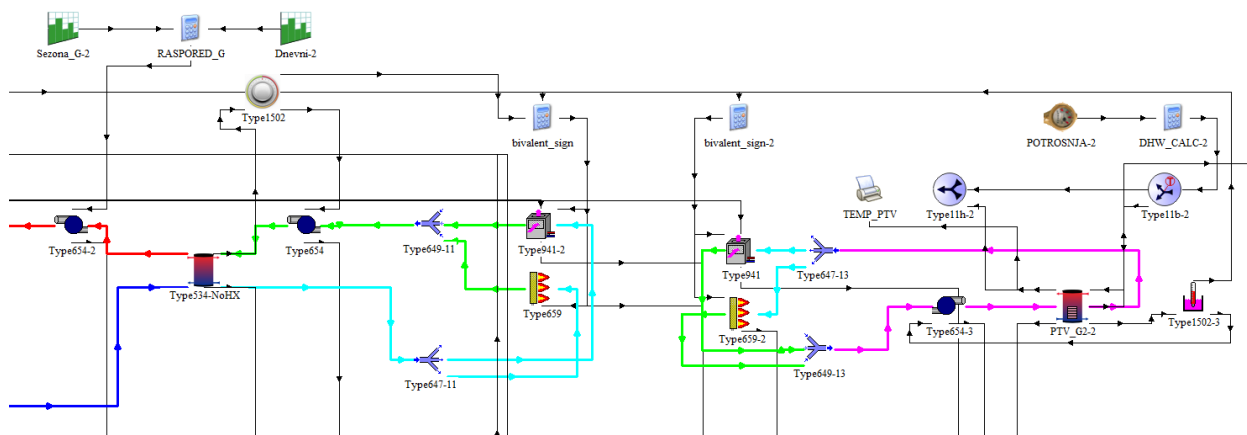


**Slika 7.14: Dijagram karakteristika dizalice topline ANL081HP**

Uz dizalicu topline se paralelno spaja i postojeći plinski kotao. On dalje grije u postojećem režimu 60/40/20 °C koji se pri jednakoj ili višoj temperaturi od -3 °C mijenja na jedan od zadanih režima na dizalici topline. Sustav primjenjuje sve iste ostale elemente kao monovalentni sustav. Iznimku čini pumpa PTV-a koja ima usvojeni protok 360 kg/h.



**Slika 7.15: Jednostavna shema bivalentnog sustava grijanja sa dizalicom topline i plinskim kotao**



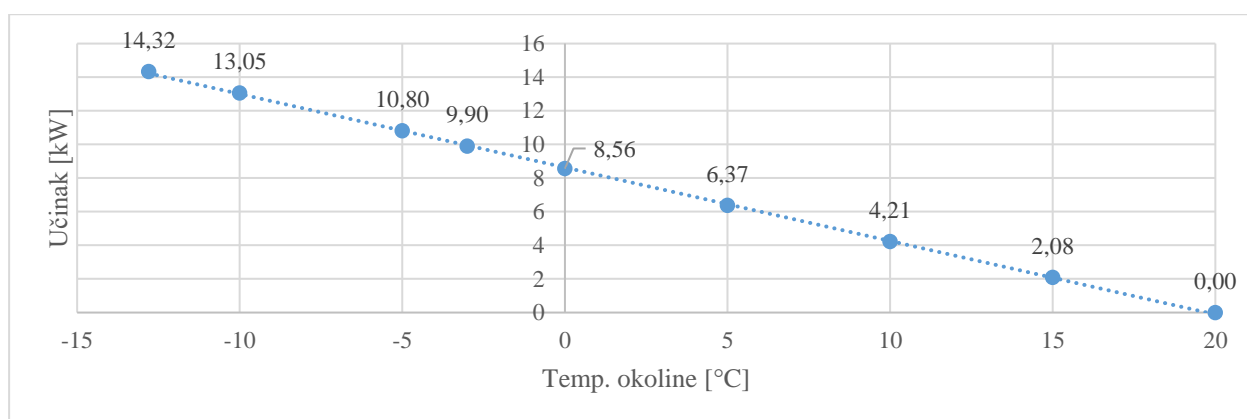
**Slika 7.16: Shema bivalentnog sustava grijanja sa dizalicom topline i plinskim kotao iz sučelja programa Simulation Studio**

Slično kao u prethodnoj izvedbi valja napomenuti da dizalica topline i plinski kotao u krugu PTV-a imaju iste karakteristike kao uređaji u krugu grijanja (slika 7.16) te crpe onoliko energije koliko im je potrebno kako bi zagrijali vodu u spremniku PTV-a na zadanu temperaturu.

## 8. SUSTAVI GRIJANJA I HLAĐENJA SA POBOLJŠANOM IZOLACIJOM VANJSKE OVOJNICE

Razmatra se još zadnja kombinacija navedenih izvedbi, a to je postavljanje debljeg sloja toplinske izolacije na postojeću fasadu uz nove prozirne elemente (sukladno mjeri 3 iz 3. poglavlja) na prethodno navedene sustave grijanja. Kako poboljšanje ovojnice doprinosi manjim gubicima topline, tako se nekim sustavima grijanja može još smanjiti kapacitet i snaga uređaja radi veće uštede na energiji.

Kako su promjenom debljine i sastava fasade toplinski gubici manji, potrebno je odrediti novi projektni učinak grijanja za različite vanjske temperature.



*Slika 8.1: Ovisnost potrebnog učinka o vanjskoj temperaturi za zgradu sa poboljšanom ovojnicom*

Dok postojeći sustav grijanja se ne izmjenjuje sa poboljšanjem ovojnice i prozirnih elemenata, zbog smanjenja toplinskih gubitaka, razlika se učitava u manjoj potrošnji energije za grijanje.

Kako su dizalice topline predimenzionirane za ovaj sastav ovojnice, trebaju se ponovno potražiti novi uređaji. Za monovalentni sustav prema podacima iz dijagrama sa slike 8.1. potrebni učinak je 14,32 kW te je za režim grijanja 45/40/20 °C odabrana Aermec dizalica topline modela ANK150HP koja ujedno grije PTV. Podaci joj glase:

- Kapacitet grijanja –  $Q_g = 17$  kW
- Električna snaga za grijanje –  $P_g = 9,8$  kW

U bivalentnom sustavu, za bivalentnu točku -3 °C, znači da potrebni učinak prema podacima iz dijagrama sa slike 8.1 iznosi 9,9 kW. Za režim grijanja 45/40/20 °C odabrana je Aermec dizalica topline modela ANL071HP koja isto grije PTV. Podaci joj glase:

- Kapacitet grijanja –  $Q_g = 12,3$  kW
- Električna snaga za grijanje –  $P_g = 4,9$  kW

Sa promjenom kvalitete ovojnice zgrade, projektni učinak hlađenja se isto mijenja pa je potrebno odrediti nanovo koliko on iznosi.

**Tablica 8.1: Potrebni rashladni učinak i latentni učinak hlađenja za promatrane zone**

Toplinska zona	Učinak $Q_{osj}$ [kW]	Učinak $Q_{lat}$ [kW]	Učinak hlađenja zone $Q_{hl,zone}$ [kW]
PRIZ_I	1,14	0,45	1,59
<b>PRIZ_Z</b>	<b>1,23</b>	<b>0,55</b>	<b>1,78</b>
1_KAT_I	0,90	0,43	1,33
<b>1_KAT_Z</b>	<b>1,32</b>	<b>0,53</b>	<b>1,87</b>
2_KAT_I	0,99	0,29	1,28
<b>2_KAT_Z</b>	<b>1,48</b>	<b>0,55</b>	<b>2,03</b>
Potrebni učinak hlađenja $Q_{hl,potr}$ [kW]			9,88

Dok novi potrebni učinak za hlađenjem cijele kuće iznosi 9,88 kW, istočne zone se ne hlade, pa ukupni učinak zapravo iznosi 5,68 kW. To je ipak manji učinak od slučaja bez poboljšane ovojnice što znači da se može odabrati slabiji multi split klima uređaj.

Odabrana je vanjska jedinica Clivet Cristallo MU1-Y 61M koja dolazi sa tri iste unutarnje jedinice IM1-XY 27M koje dobavljaju ukupno 6,1 kW rashladnog učinka [11].

Novo definirani sustav hlađenja se primjenjuje kod svih izvedbi sustava grijanja sa poboljšanom kvalitetom ovojnice zgrade.

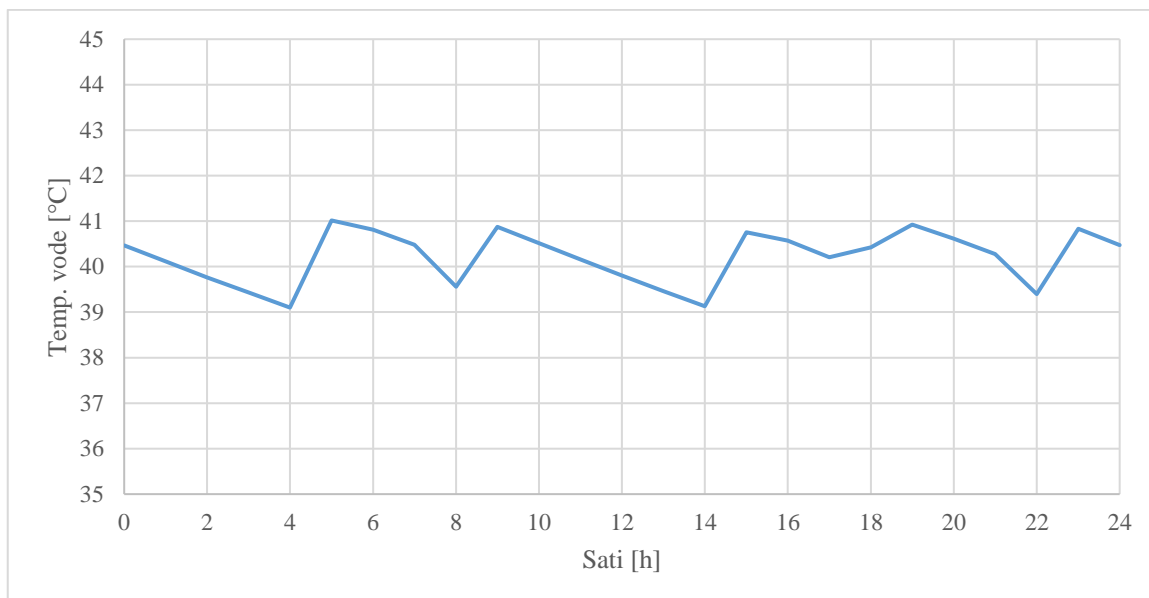
## 9. REZULTATI SIMULACIJA I ANALIZA RJEŠENJA

Sa izrađenim modelima razmatranih kombinacija sustava grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a, te svim unesenim potrebnim podacima, izvršene su sve simulacije. Rezultate čine svi potrebni podatci o potrošenoj energiji glavnih i pomoćnih električnih uređaja, kao i onih drugih koji koriste druge izvore energije (plin), a uz to još i temperature svih toplinskih zona i spremnika PTV-a.

### 9.1. Temperature

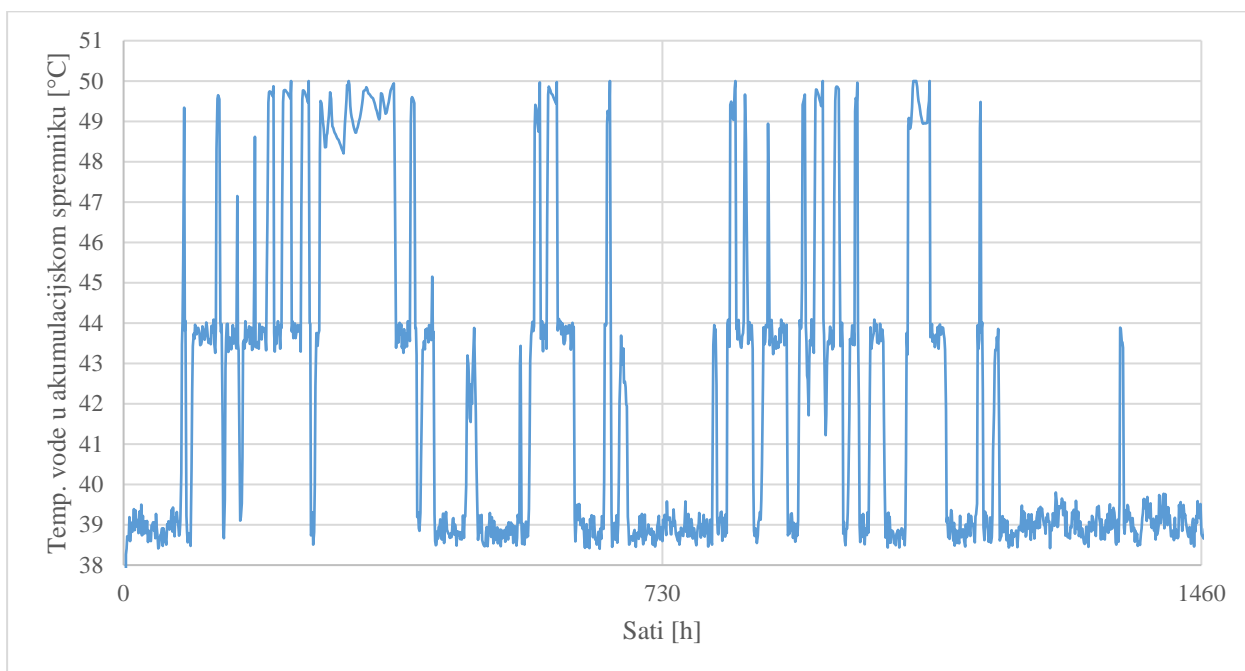
Dok podaci kao što su temperature zona nisu toliko relevantni za daljnji dio analize troškova, važni su iz razloga jer daju uvid u tok simulacije, tj. vraćaju direktnu povratnu informaciju da simulacija dobro radi ili ne.

Neke od drugih temperatura koje su dobre za promatrati su temperature vode na izlazu spremnika PTV-a. Kako se izradio novi sustav pripreme PTV-a, trebalo je promatrati u kojem se rasponu kreću temperature. Zato se u slučaju monovalentnog rada dizalice topline promatrala promjena temperature spremnika unutar 24 sata (slika 9.1). Temperatura u spremniku se kreće u rasponu od 39 do 41 °C, isti raspon kako je postavljen na temperaturnom osjetniku. Također, može se primijetiti da brzina promijene temperature (nagib pravca) u spremniku ovisi o razini potrošnje vode.



*Slika 9.1: Temperatura PTV-a tokom jednog dana u monovalentnom sustavu grijanja sa dizalicom topline*

Osim toga, treba još promatrati temperaturu u akumulacijskom spremniku kako bi se osigurala zadovoljavajuća temperatura u polazu prema radiatorima. Kako akumulacijski spremnik ima ulogu da opskrbljuje vodu u sustavu centralnog grijanja, važno je da temperatura vode bude unutar razumnog raspona, tj. unutar raspona za zadani režim grijanja. U slučaju bivalentnog rada dizalice topline, promatra se razdoblje od 2 mjeseca na početku godine. Kako se režim grijanja mijenja u ovisnosti o vanjskoj temperaturi zraka, temperatura vode u akumulacijskom spremniku će se isto pratiti tu promjenu. Iz dijagrama na slici 9.2 je uočljivo da se temperatura vode (nakon što se stabilizira temp. vanjskog zraka) kreće unutar raspona za zadani režim grijanja.



***Slika 9.2: Temperatura vode u akumulacijskom spremniku tokom prva dva mjeseca u godini u bivalentnom sustavu grijanja sa dizalicom topline***

## 9.2. Potrošnja energije

Od svih rezultata simulacija, oni o potrošnji energije su najvažniji zato jer na temelju toga se može utvrditi koji je sustav bolji u odnosu na ostale. Odnosno, mogu se odrediti kod kojih sustava su manji troškovi energije i time manji financijski troškovi.

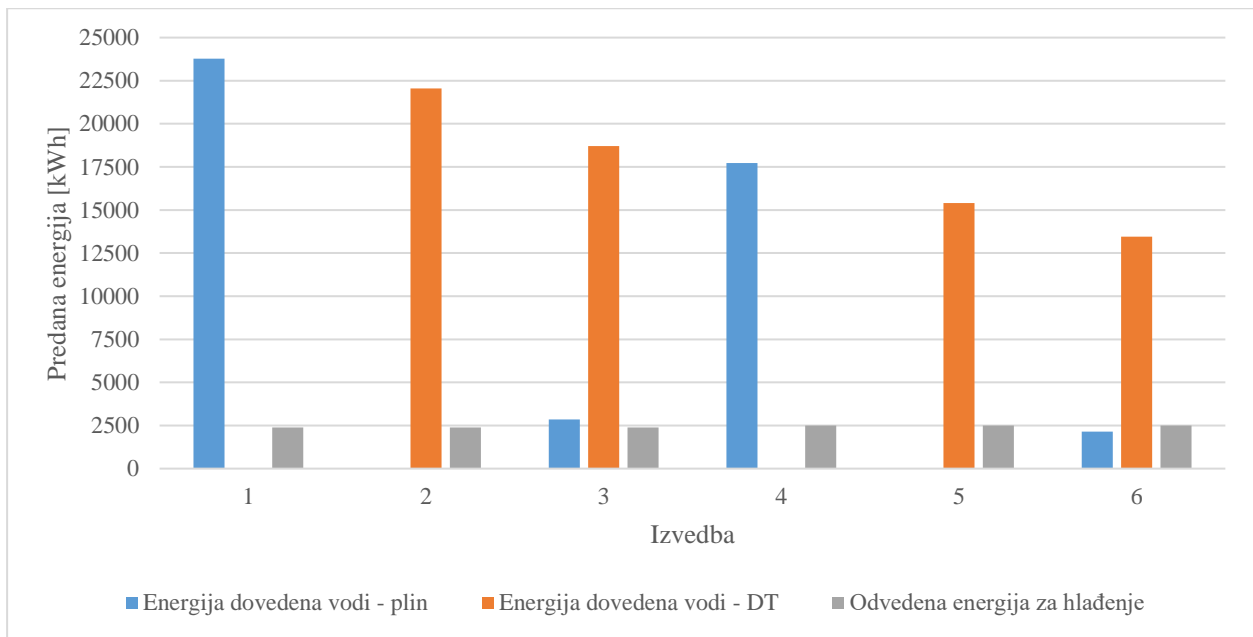
Dovedena energija je sva ona energija koja se prenosi na vodu u sustavu grijanja i PTV-a. Ovisno o tome da li se odnosi na plinski sustav ili sustav sa dizalicom topline ono ima oznaku  $Q_{dov,pl}$  ili  $Q_{dov,dt}$ , a oboje se izražava u kWh. Kako postoje dva različita izvora energije (plin i električna struja) potrošnja energije se svodi na primarnu energiju. Primarna energija je onaj oblik energije koji je uzet iz prirode bez ikakve danje prerade ili transformacije. Kako se ovdje koristio prirodni plin, ono je zapravo energija sadržana u kemijskom potencijalu fosilnog goriva. Ovisno o vrsti energetskog izvora, vrijednost faktora primarne energije  $f_p$  se razlikuje. Tako u ovom slučaju faktor primarne energije za plin iznosi  $f_{p,pl} = 1,149$ , dok za električnu energiju  $f_{p,el} = 1,583$  [16]. Rezultati su ispisani u tablicama 9.1, 9.2 i 9.4, a za lakše praćenje izvedbi sustava navedene su brojem:

- Izvedba 1 – Postojeći sustav grijanja i sustav hlađenja
- Izvedba 2 – Monovalentni sustav grijanja sa dizalicom topline i sustavom hlađenja
- Izvedba 3 – Bivalentni sustav grijanja sa dizalicom topline i sustavom hlađenja
- Izvedba 4 – Postojeći sustav grijanja i sustav hlađenja sa poboljšanom ovojnicom zgrade
- Izvedba 5 – Monovalentni sustav grijanja sa dizalicom topline i sustavom hlađenja sa poboljšanom ovojnicom zgrade
- Izvedba 6 – Bivalentni sustav grijanja sa dizalicom topline i sustavom hlađenja sa poboljšanom ovojnicom zgrade

**Tablica 9.1: Dovedene i odvedene energije**

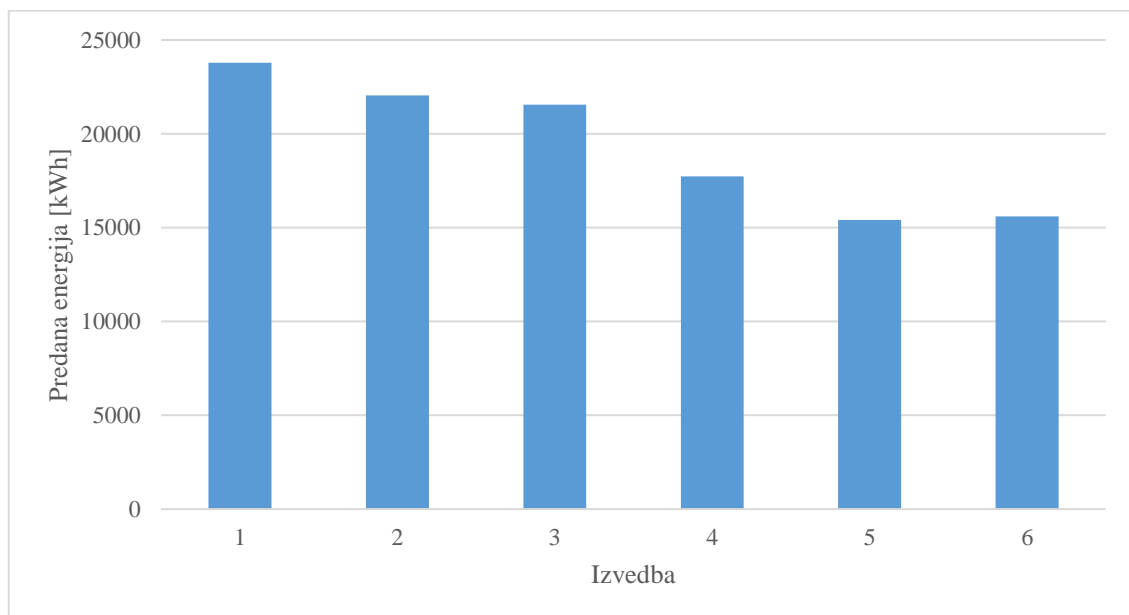
Izvedba	Energija dovedena vodi - plin $Q_{dov,pl}$ [kWh]	Energija dovedena vodi - DT $Q_{dov,dt}$ [kWh]	Odvedena energija za hlađenje $Q_{hl}$ [kWh]
1	23781	-	2383
2	-	22049	2384
3	2846	18703	2384
4	17724	-	2497
5	-	15411	2497
6	2143	13449	2497





**Slika 9.3: Dovedene i odvedene energije u pojedinim izvedbama sustava**

Podaci iz tablice 9.1 te slike 9.3 prikazuju vrijednosti dovedene (predane) energije u navedenim izvedbama koja se razlikuje od uložene. Razlika u energiji predanoj na vodu između sustava sa plinskim kotlom i sustava sa dizalicom topline je posljedica regulacije rada uređaja. Potrebna toplina u izvedbama 1, 2 i 3 je jednaka, kao što je jednaka u izvedbama 4, 5 i 6 sa poboljšanom ovojnicom, tako da razliku čini regulacija. Ta se razlika u energiji predanoj vodi može vidjeti u dijagramu na slici 9.4. Dijagram prikazuje ukupne energije dovedene (predane) vodi, pri čemu se vidi da izvedbe 2 i 3 imaju nešto manje iznose od početnog slučaja, tj. izvedbe 1. Izvedbe 5 i 6 prate sličan trend kao i izvedbe 2 i 3 u odnosu na izvedbu 4.



**Slika 9.4: Ukupna predana energija vodi u sustavu grijanja i pripreme PTV-a**

Uložena energija je važna za određivanje primarne energije tako da nju isto treba razdvojiti na dva dijela; ono što je vezano za plin i ono što je vezano za električnu energiju (tablica 9.3). Pumpe nisu utjecale na dovedenu energiju, ali zato doprinose uloženoj električnoj energiji. Pumpe služe kako bi distribuirale vodu u sustavu te se ta energija  $E_{pump}$  na godišnjoj razini akumulira. Uz pumpe, dizalice topline i klima uređaji isto koriste električnu energiju  $E_{dt}$  i  $E_{kl}$ . Kad se sve zajedno zbroje dobiva se ukupna potrošnja električne energije  $E_{el}$ . Potrošnja plina se označava sa  $E_{pl}$ .

**Tablica 9.2: Potrošnja energije iz navedenih izvedbi**

Izvedba	Potrošnja el. en. za rad pumpi - $E_{pump}$ [kWh]	Potrošnja el. en. za rad DT - $E_{dt}$ [kWh]	Potrošnja el. en. za rad klima uređaja - $E_{kl}$ [kWh]	Uk. potrošnja el. en. - $E_{el}$ [kWh]	Potrošnja plina - $E_{pl}$ [kWh]
1	581	-	282	863	29304
2	962	7551	282	8795	-
3	749	5614	282	6645	3162
4	581	-	257	838	22575
5	934	5833	257	7024	-
6	724	3946	257	4926	2381

Kako dizalice topline i klima uređaji imaju promjenjivi faktor grijanja  $\varepsilon_{GR}$  (COP), odnosno hlađenja  $\varepsilon_{HL}$  (COP<sub>0</sub>), koji ovisi o vanjskoj temperaturi, sa dobivenim rezultatima o predanoj i potrošenoj energiji određuje im se sezonski faktor (tablica 9.3).

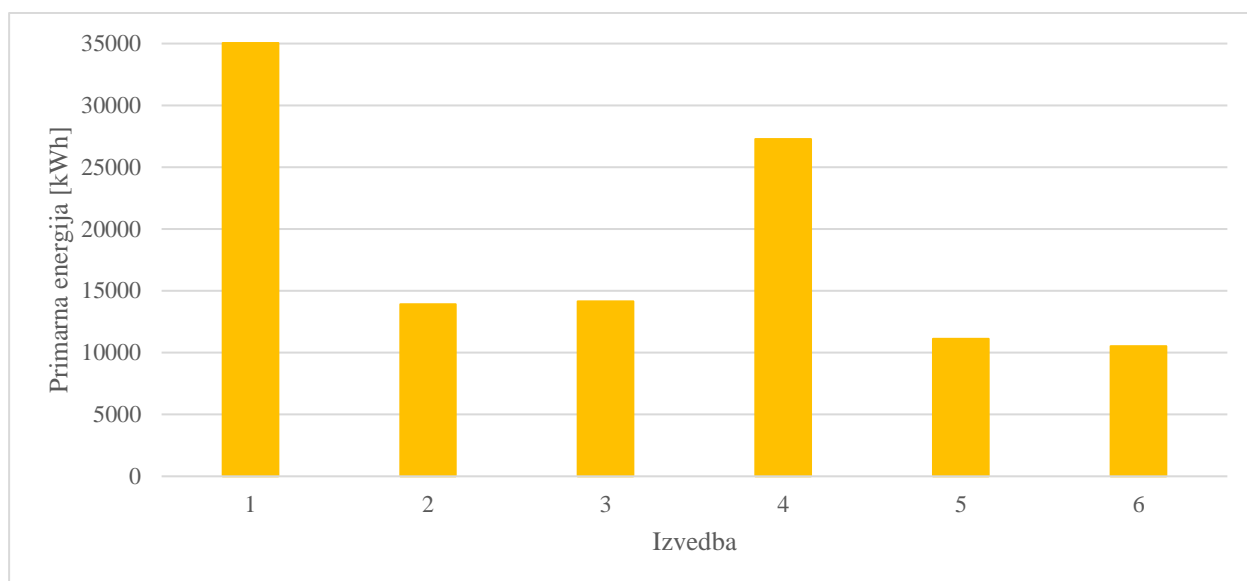
**Tablica 9.3: Sezonski faktor grijanja i hlađenja za navedene izvedbe sustava**

Izvedba	Sezonski faktor grijanja COP	Sezonski faktor hlađenja COP <sub>0</sub>
1	-	8,45
2	2,92	8,45
3	3,33	8,45
4	-	9,72
5	2,64	9,72
6	3,41	9,72

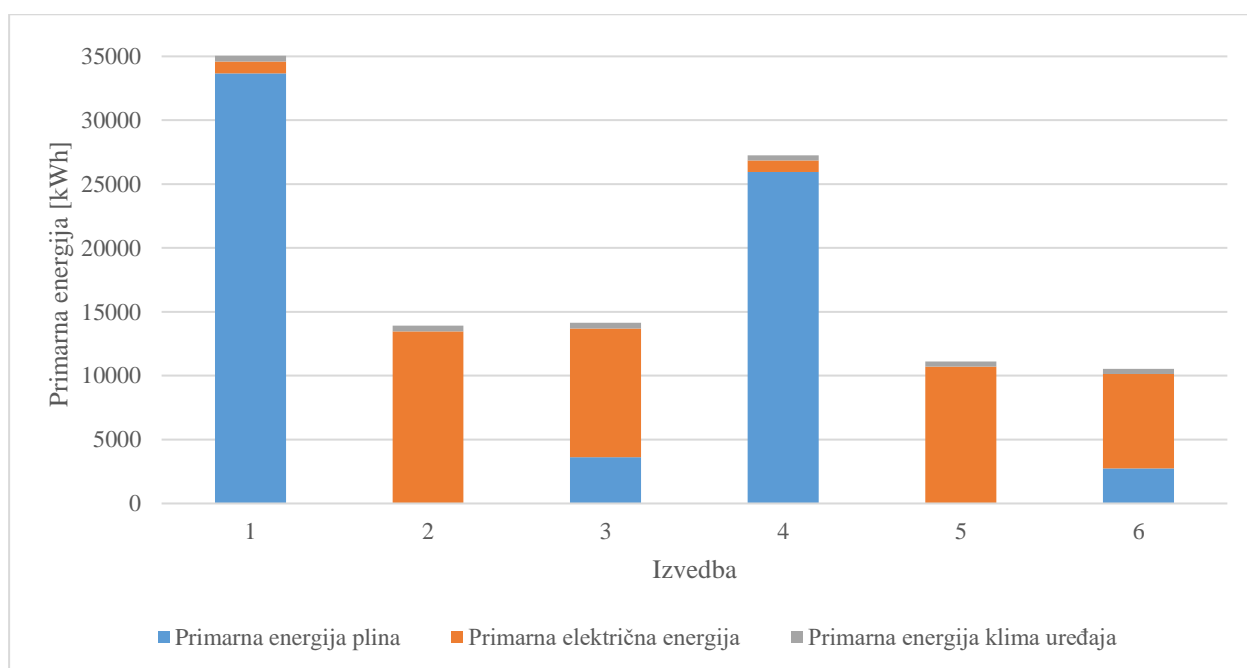
Sa poznatim podacima o uložnim energijama i faktorima primarne energije  $f_s$  mogu se izračunati podaci za primarnu energiju plina  $E_{prim,pl}$  i primarnu električnu energiju  $E_{prim,el}$  iz čega se dobiva ukupni iznos primarnih energija  $E_{prim,uk}$ . Njihovi iznosi su zapisani u tablici 9.4, a grafički prikaz je na slici 9.5 i 9.6.

**Tablica 9.4: Primarne energije**

<b>Izvedba</b>	<b>Primarna energija plina - <math>E_{prim,pl}</math> [kWh]</b>	<b>Primarna električna energija - <math>E_{prim,el}</math> [kWh]</b>	<b>Ukupna primarna energija - <math>E_{prim,uk}</math> [kWh]</b>
1	33671	1366	35037
2	-	13923	13923
3	3633	10519	14153
4	25939	1326	27265
5	-	11120	11120
6	2736	7798	10534



**Slika 9.5: Primarne energije navedenih izvedbi sustava**

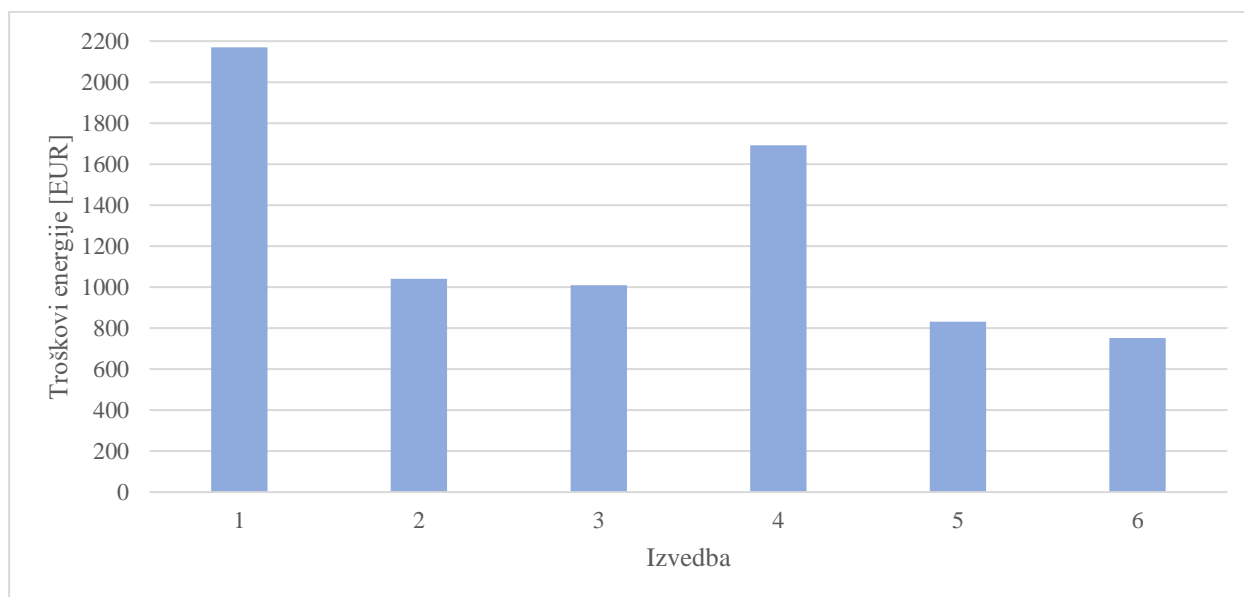


**Slika 9.6: Pojedine primarne energije za izvedbe sustava**

Konačno, iz primarnih energija se mogu izračunati troškovi. Prema podacima od GPZ o potrošnji plina, cijena plina koja se plaća za kućanstvo je 0,0614 EUR/kWh. Za struju se uzima podatak za bijeli tarifni model sa višom tarifom čija je cijena 0,074789 EUR/kWh.  $T_{pl}$  označava troškove plina,  $T_{el}$  troškove električne energije, a  $T_{uk}$  ukupne troškove energije za sve od navedenih izvedbi (tablica 9.5). Troškovi se mogu prikazati i u dijagramu na slici 9.7.

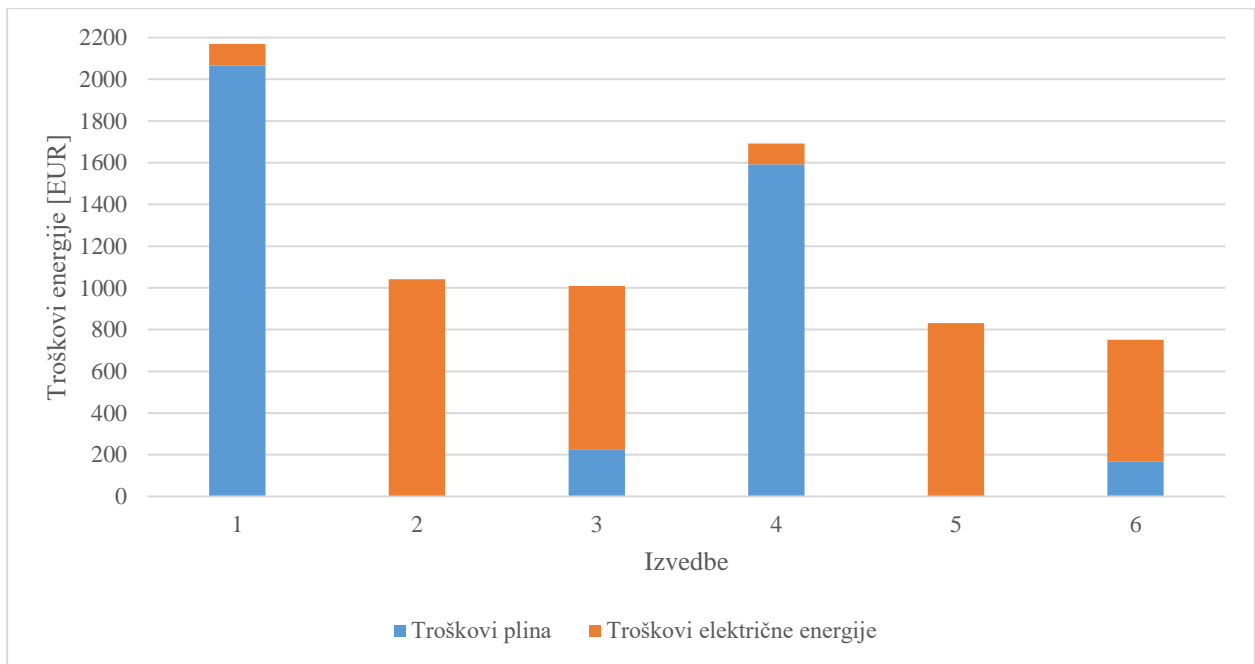
**Tablica 9.5: Godišnji troškovi za grijanje i hlađenje**

Izvedba	Troškovi plina - $T_{pl}$ [EUR]	Troškovi električne energije - $T_{el}$ [EUR]	Ukupni trošak - $T_{uk}$ [kWh]
1	2067	102	2170
2	-	1041	1041
3	223	787	1010
4	1593	99	1692
5	-	832	832
6	168	583	751

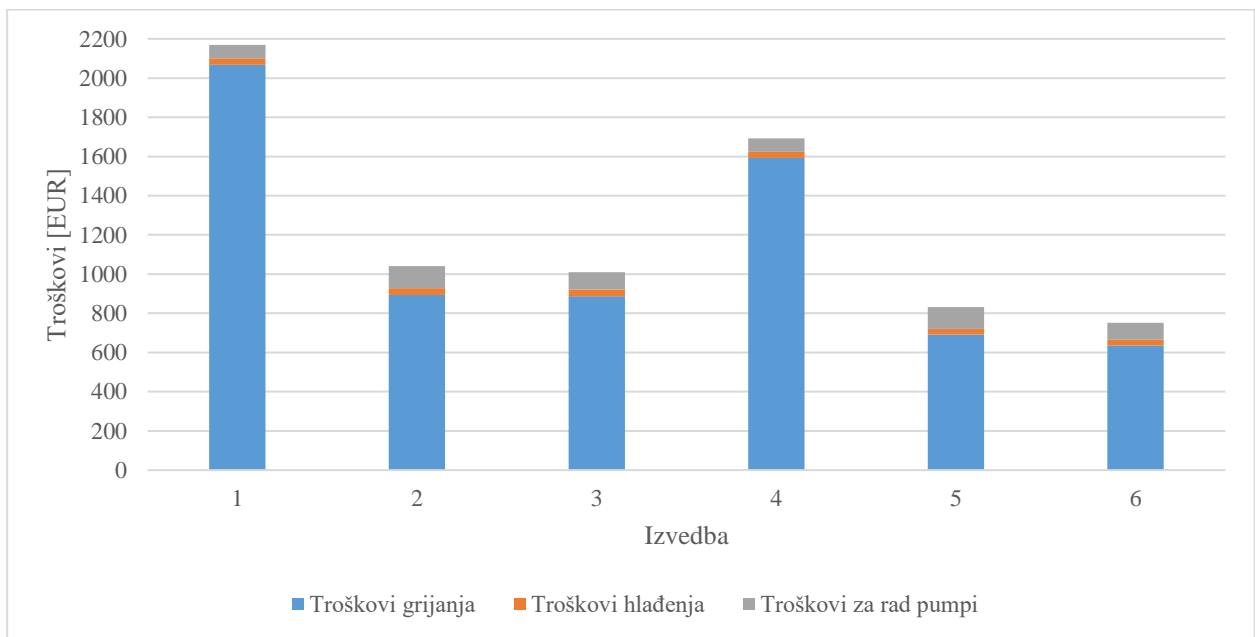


**Slika 9.7: Godišnji troškovi energije**

Troškovi se još mogu izraziti na još dva načina, jedan su samo godišnji troškovi plina i električne energije (slika 9.8), a drugi je prikaz godišnjeg troška energije za grijanje, hlađenje i rad pumpi (slika 9.9).



**Slika 9.8: Godišnji troškovi energije plina i električne energije**



**Slika 9.9: Godišnji troškovi energije na grijanje, hlađenje i rad pumpi**

### 9.3. Investicijski troškovi

Razmatranje troškova ujedno obuhvaća i investicijske troškove opreme korištene u navedenim izvedbama. Pojedini dijelovi sustava su podijeljeni u zasebne cjeline kako bi se izbjeglo višebrojno ponavljanje istih komponenti u svim računima. U sljedećim tablicama su prikazani troškovi opreme i radova svih sustava. Pretpostavljena vrijednost radova i transporta je 25% nabavne cijene, te PDV-a koji isto iznosi 25%. Iznimku čini obnova vanjske ovojnice čiji radovi iznose ukupni iznos materijala (100 %).

*Tablica 9.6: Cijena opreme i ugradnje sustava PTV-a*

Sustav PTV-a		Jed. Cijena [EUR]	Količina	Ukupna cijena [EUR]
Spremnik	TERMA S 160 l, po komadu	508	1	508
Pumpa	ALPHA2 25-60 180, po komadu	363	1	363
Eks. Posuda	Gitral HYB 5 l	26	1	26
Cijevi	bakrena cijev promjera 22mm, po m	9	10	90
Ventili	Zaporni 22mm, po komadu	12	2	24
<b>UKUPNO</b>				<b>1,011</b>
Radovi, 25 %				253
<b>SVEUKUPNO</b>				<b>1,264</b>
PDV, 25%				316
<b>SVEUKUPNO sa PDV</b>				<b>1,580</b>

*Tablica 9.7: Cijena opreme i ugradnje sustava grijanja iz izvedbe 2*

Sustav dizalice topline u monovalentnom radu, izvedba 2		Jed. Cijena [EUR]	Količina	Ukupna cijena [EUR]
Dizalica topline	Aermec NRK0100HP1	10,395	1	10,395
	Pumpa i ekspanzijska posuda 8 l			
	Regulator i upravljački modul			
Akumulacijski spremnik	TESY 100 l - V100 55 ACF PS	593	1	593
Pumpa	MAGNA3 25-100, po komadu	1,184	1	1,184
Cijevi	bakrena cijev promjera 22mm, po m	9	10	91
Ventili	Zaporni 22mm, po komadu	12	2	24
<b>UKUPNO</b>				<b>12,287</b>
Radovi, 25 %				3,072
<b>SVEUKUPNO</b>				<b>15,358</b>
PDV, 25%				3,840
<b>SVEUKUPNO sa PDV</b>				<b>19,198</b>

*Tablica 9.8: Cijena opreme i ugradnje sustava iz izvedbe 3*

Sustav dizalice topline u bivalentnom radu, izvedba 3		Jed. Cijena [EUR]	Količina	Ukupna cijena [EUR]
Dizalica topline	Aermec ANL081HP	6,326	1	6,326
	Pumpa i ekspanzijska posuda 5 l			
	Regulator i upravljački modul			
Akumulacijski spremnik	TESY 100 1 - V100 55 ACF PS	593	1	593
Pumpa	MAGNA3 25-100, po komadu	1,184	1	1,184
Cijevi	bakrena cijev promjera 22mm, po m	9	10	91
Ventili	Zaporni 22mm, po komadu	12	2	24
<b>UKUPNO</b>				<b>8,218</b>
Radovi, 25 %				2,055
<b>SVEUKUPNO</b>				<b>10,273</b>
PDV, 25%				2,568
<b>SVEUKUPNO sa PDV</b>				<b>12,841</b>

*Tablica 9.9: Cijena podebljanja fasade i postavljanja novih prozirnih elemenata vanjske ovojnice*

Obnova vanjske ovojnice kuće i novi prozori	Jed. Cijena [EUR]	Količina	Ukupna cijena [EUR]
Podebljanje fasade - mineralna vuna	23	305	7,015
Cementna žbuka	8	5	40
VC žbuka	16	19	304
Silikatna žbuka	25	9	225
IZO staklo	20	32	646
<b>UKUPNO</b>			<b>8,230</b>
Radovi, 100 %			8,230
<b>SVEUKUPNO</b>			<b>16,460</b>
PDV, 25%			4,115
<b>SVEUKUPNO sa PDV</b>			<b>20,575</b>

*Tablica 9.10: Cijena opreme i ugradnje sustava iz izvedbe 5*

<b>Sustav dizalice topline u monovalentnom radu, izvedba 5</b>		<b>Jed. Cijena [EUR]</b>	<b>Količina</b>	<b>Ukupna cijena [EUR]</b>
Dizalica topline	Aermec ANK150HP	11,428	1	11,428
	Pumpa i ekspanzijska posuda 8 l			
	Regulator i upravljački modul			
Akumulacijski spremnik	TESY 100 1 - V100 55 ACF PS	593	1	593
Pumpa	MAGNA1 32-100, po komadu	1,581	1	1,581
Cijevi	bakrena cijev promjera 22mm, po m	9	10	90
Ventili	Zaporni 22mm, po komadu	12	2	24
<b>UKUPNO</b>				<b>13,717</b>
Radovi, 25 %				3,429
<b>SVEUKUPNO</b>				<b>17,146</b>
PDV, 25%				4,287
<b>SVEUKUPNO sa PDV</b>				<b>21,433</b>

*Tablica 9.11: Cijena opreme i ugradnje sustava iz izvedbe 6*

<b>Sustav dizalice topline u bivalentnom radu, izvedba 6</b>		<b>Jed. Cijena [EUR]</b>	<b>Količina</b>	<b>Ukupna cijena [EUR]</b>
Dizalica topline	Aermec ANL071HP	5,794	1	5,794
	Pumpa i ekspanzijska posuda 5 l			
	Regulator i upravljački modul			
Akumulacijski spremnik	TESY 100 1 - V100 55 ACF PS	593	1	593
Pumpa	MAGNA1 25-100, po komadu	930	1	930
Cijevi	bakrena cijev promjera 22mm, po m	9	10	90
Ventili	Zaporni 22mm, po komadu	12	2	24
<b>UKUPNO</b>				<b>7,432</b>
Radovi, 25 %				1,858
<b>SVEUKUPNO</b>				<b>9,290</b>
PDV, 25%				2,322
<b>SVEUKUPNO sa PDV</b>				<b>11,612</b>



**Tablica 9.12: Cijena multi split klimam uređaja i ugradnja**

Multi split klima uređaj za izvedbe sa postojećim stanjem ovojnice zgrade		Jed. Cijena [EUR]	Količina	Ukupna cijena [EUR]
Klima uređaj	Clivet Cristallo	1,725	1	1,725
	Vanjska jedinica MU1-Y 79M			
	Unutarnja jedinica IM1-XY 27M x3			
<b>UKUPNO</b>				<b>1,725</b>
Radovi, 25 %				431
<b>SVEUKUPNO</b>				<b>2,157</b>
PDV, 25%				539
<b>SVEUKUPNO sa PDV</b>				<b>2,696</b>

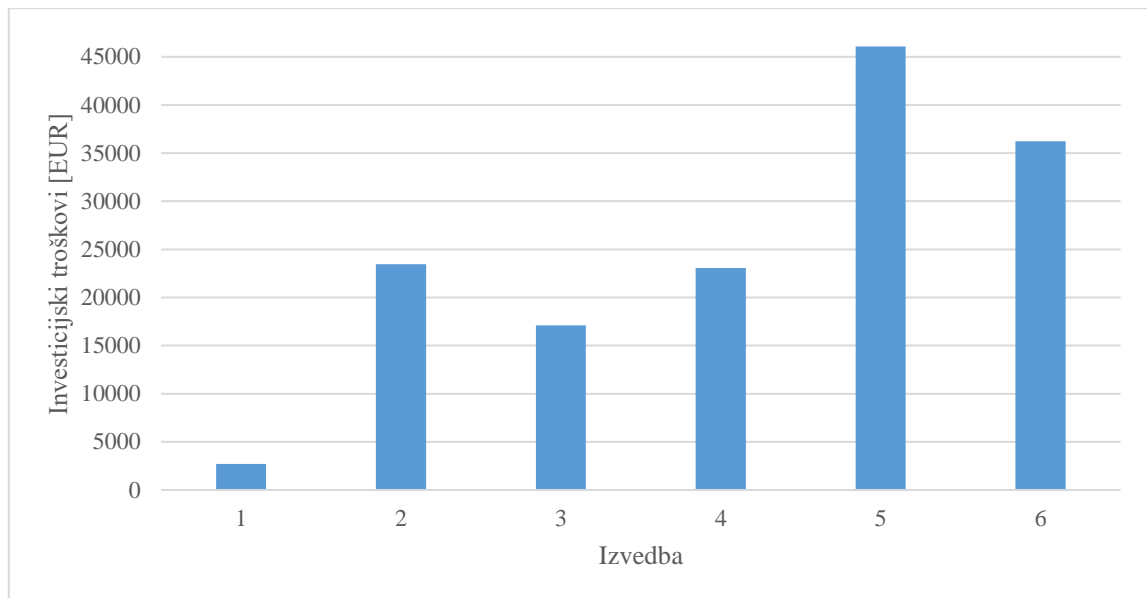
**Tablica 9.13: Cijena multi split klimam uređaja i ugradnja**

Multi split klima uređaj za izvedbe sa poboljšanom kvalitetom ovojnice zgrade		Jed. Cijena [EUR]	Količina	Ukupna cijena [EUR]
Klima uređaj	Clivet Cristallo	1,582	1	1,582
	Vanjska jedinica MU1-Y 61M			
	Unutarnja jedinica IM1-XY 27M x3			
<b>UKUPNO</b>				<b>1,582</b>
Radovi, 25 %				431
<b>SVEUKUPNO</b>				<b>1,978</b>
PDV, 25%				539
<b>SVEUKUPNO sa PDV</b>				<b>2,472</b>

Kada se ukupni troškovi sumiraju za svaku izvedbu, dobiveni rezultati se ispisuju u tablici 9.14 i prikazuju grafički na slici 9.11.

**Tablica 9.14: Ukupni investicijski troškovi pojedinih izvedbi**

Izvedba	PTV [EUR]	Dizalica topline [EUR]	Ovojnica [EUR]	MS klima uređaj [EUR]	Ukupno [EUR]
1	0	0	0	2696	2696
2	1580	19198	0	2696	23475
3	1580	12841	0	2696	17118
4	1580	0	20575	2472	23047
5	1580	21433	20575	2472	46060
6	1580	11612	20575	2472	36239



**Slika 9.10: Investicijski troškovi za pojedine izvedbe**

Ako se zanemare investicije klima uređaja, izvedba 1 nema nikakve investicijske troškove jer ono predstavlja postojeću izvedbu, dok izvedba 3 predstavlja najjeftiniju izvedbu sa stajališta izmjene sustava grijanja.

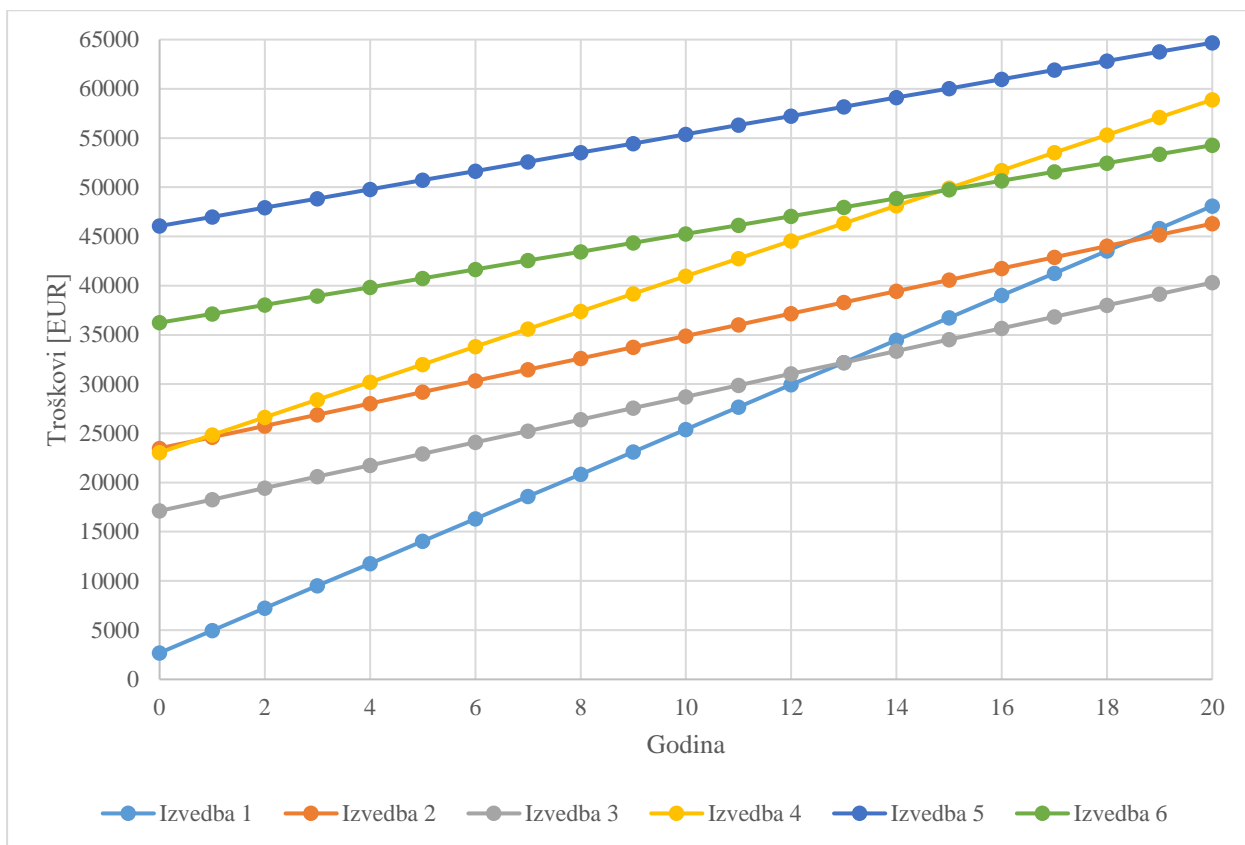
#### **9.4. Troškovi održavanja**

Troškovi održavanja obuhvaćaju troškove upravljanja sustavom, popravke, osiguranje, itd. Uobičajeno je uzeti da održavanje iznosi 3 % investicijskih troškova određenih elemenata izvedbi sustava po godini. Element koji se ne računa u ovaj trošak je poboljšanje vanjske ovojnice zgrade. Međutim, zbog velikih iznosa investicijskih troškova za sustave sa samostalnim plinskim kotlom ili dizalicom topline uzeto je 100 EUR/god, a za sustave sa oba uređaja 150 EUR/god.

#### **9.5. Analiza troškova**

Unošenjem investicijskih troškova te pridodavanjem godišnjih troškova pogona i održavanja za životni vijek sustava (20 godina), dobit će se dijagram na slici 9.14 iz čega se može iščitati nakon koliko godina će se koja izvedba isplatiti.

Ako je izvedba 1 izvedba postojećeg stanja kuće, iz dijagrama je vidljivo da će se izvedba 3 isplatiti u najkraćem roku već nakon 13 godina, te ono predstavlja ekonomski i energetske najisplativije rješenje. Radi se o bivalentnom sustavu grijanja u alternativnom radu sa dizalicom topline, zasebnim sustavom hlađenja i postojećim stanjem ovojnice.



**Slika 9.11: Analiza troškova**

## 10.ZAKLJUČAK

Zadatak ovog rada bio je naći optimalno rješenje sustava grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a obiteljske kuće na području grada Zagreba.

Za početak je trebalo izraditi pojednostavljeni model kuće u računalnom programu SketchUp. Na temelju toga se definirao dinamički model energetskeg sustava u računalnom programu TRNSYS – Simulation Studio gdje su se kreirale izvedbe sustava grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a. Za provjeru mjerodavnosti modela kuće koristili su se podaci o potrošnji plina kako bi se odredili ukupni toplinski gubici objekta koji odgovaraju troškovima. Dalje kako bi se sustav grijanja optimizirao, kreirano je nekoliko izvedbi sustava grijanja i pripreme PTV-a za koje se vrše simulacije i kasnije analiziraju rezultati. Dok objekt nema sustav hlađenja, uz grijanje kreirane su izvedbe sa sustavima hlađenja. Izvedbe se uglavnom razlikuju po izvoru toplinske energije, režimu grijanja, debljini vanjske ovojnice, kvaliteti prozora i sustavu hlađenja.

Postojeći sustav grijanja je definiran kao izvedba 1 i smatra se početnim slučajem za koji se dalje određuje potrebna energija za grijanje, hlađenje i pripremu PTV-a. Za svaku iduću izvedbu se određuje potrošnja energije za potrebe grijanja, pripremu PTV-a i hlađenja, te konačna i primarna energija. Konačno slijede troškovi investicije, pogona i održavanja na temelju kojih se utvrđuje optimalna izvedba.

Optimalno rješenje ispada izvedba 3, što je bivalentni sustav grijanja sa dizalicom topline, zasebnim sustavom hlađenja i postojećom vanjskom ovojnicom objekta. Investicijski trošak navedene izvedbe iznosi 17,118 EUR, ukupni godišnji troškovi pogona iznose 1,010 EUR, a troškovi održavanja 150 EUR/godini. Na mjesečnoj razini, za vrijeme isplate od 13 godina, ukupni mjesečni troškovi iznose 206 EUR.

Uz navedene izvedbe postoje još brojne druge, ali zbog starosti kuće i kompleksnosti postojećih instalacija, nema nikakve isplativost u potpunom remontu sustava ili vanjske ovojnice. Sa unapređenjem tehnologije i mogućim alternativnom metodama prikupa energije u svrhe grijanja i hlađenja, možda će se jednog dana isplatiti.

## 11. LITERATURA

- [1] „Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama“; Narodne novine, 2015.
- [2] Predavanja i vježbe kolegija: Računalno modeliranje sustava u termoenergetici i termotehnici; Tehnički fakultet, 2023.
- [3] Lipovica d.o.o.; „Tehnički katalog“; s interneta: <https://lipovica.hr/hr/katalozi> ; 16.2.2021.
- [4] Gorenje; „Cijevni radijatori“; s interneta: [https://issuu.com/gorenje/docs/katalog\\_cijevni\\_radijatori\\_gorenje](https://issuu.com/gorenje/docs/katalog_cijevni_radijatori_gorenje) ; 22.7.2014.
- [5] Predavanja i vježbe kolegija: Tehnika grijanja; Tehnički fakultet, 2020.
- [6] Predavanja i vježbe kolegija: Tehnika hlađenja; Tehnički fakultet, 2022.
- [7] Galović A.: „Termodinamika I“, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2018
- [8] S interneta: <https://magellano.aermec.com/LogMe.aspx?lang=en> ; 4.12.2023.
- [9] S interneta: [https://www.klimakoncept.hr/hr/dizalice\\_topline-terma\\_s\\_160-spremnik\\_ptv\\_a\\_s\\_jednim\\_izmjenjivacem\\_za\\_dizalice\\_topline\\_zrak\\_voda/2500/202](https://www.klimakoncept.hr/hr/dizalice_topline-terma_s_160-spremnik_ptv_a_s_jednim_izmjenjivacem_za_dizalice_topline_zrak_voda/2500/202) ; 18.12.2023.
- [10] S interneta: <https://frigo-ve.hr/tesy-puffer-1001-t-v100-60-55ac-za-g-h> ; 18.12.2023.
- [11] S interneta: <http://www.clivet.it/wp-content/uploads/2012/03/Multisplit.pdf> ; 10.12.2023.
- [12] S interneta: <https://www.vaillant.hr/downloads/upute-rukovanje/vgh-ruk-155569.pdf> ; 6.8.2023.
- [13] S interneta: <https://www.vaillant.it/downloads/vgoa-vaillant-it-doc/archivio-documentazione-fuori-listino/vk-vks-4-1-xeu-831263-00-1956898.pdf> ; 6.8.2023.
- [14] S interneta: <https://product-selection.grundfos.com/hr/size-page?qcid=2245630554> ; 2.1.2024.
- [15] S interneta: [https://www.fero-term.hr/category/vodovod-i-instalacije/instalacije/bakreni-instalacijski-materijali.html?gad\\_source=1](https://www.fero-term.hr/category/vodovod-i-instalacije/instalacije/bakreni-instalacijski-materijali.html?gad_source=1) ; 2.1.2024.
- [16] S interneta: [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) ; 3.1.2024.
- [17] „Pravilnik o energetsom certificiranju zgrada“; Narodne novine (36/10), 2010.

## 12. POPIS SLIKA

Slika 2.1: Tlocrt podruma.....	2
Slika 2.2: Tlocrt prizemlja.....	3
Slika 2.3: Tlocrt prvog kata.....	4
Slika 2.4: Tlocrt drugog kata.....	5
Slika 2.5: Tlocrt kosog krova .....	6
Slika 2.6: Poprečni presjek kuće .....	7
Slika 2.7: Model kuće sa svim toplinskim zonama .....	10
Slika 2.8: Prikaz sučelja i sheme toplinskog modela u programu Simulation Studio.....	11
Slika 2.9: Mjesečni raspored temperature bočnih zidova .....	19
Slika 3.1: Podaci o mjesečnoj potrošnji plina za razdoblje 1.1.2019. - 31.12.2022. ....	20
Slika 3.2: Usporedba realnih vrijednosti prosječne potrošnje energije za grijanje i rezultata simulacije .....	21
Slika 3.3: Ukupna potreba za toplinom kroz cijelu godinu .....	24
Slika 3.4: Približni faktor oblika za različite tipologije zgrada.....	26
Slika 3.5: Ukupne specifične energije za navedene slučaje iz tablice 3.6 .....	27
Slika 4.1: Učinak grijanja u satima za najhladniji mjesec u godini (siječanj) .....	28
Slika 4.2: Udjeli projektnog toplinskog učinka po zonama .....	29
Slika 4.3: Učinak hlađenja u satima za najtoplije razdoblje u godini (ljetno) .....	30
Slika 5.1: Prikaz sustava grijanja u programu Simulation Studio.....	33
Slika 5.2: Raspored o potrošnji vode .....	36
Slika 5.3: Shema postojećeg sustava PTV-a .....	37
Slika 5.4: Temperature vanjskog zraka i etaža za razdoblje od godinu dana.....	39
Slika 6.1: Mapa efikasnosti za klima uređaj MU1-Y79M .....	41
Slika 6.2: Temperature vanjskog zraka i etaža za početni slučaj (izvedbu 1) sa implementiranim sustavom hlađenja .....	42
Slika 7.1: Ovisnost potrebnog učinka o vanjskoj temperaturi .....	44
Slika 7.2: Ovisnost potrebnog učinka promatrane toplinske zone o vanjskoj temperaturi .....	44
Slika 7.3: Shema sustava dizalice topline iz [5].....	47
Slika 7.4: Dijagram idealnog rada dizalice topline uzeto iz [6] i prepravljeno za promatrani slučaj .....	48
Slika 7.5: Graf monovalentnog načina rada dizalice topline .....	49
Slika 7.6: Radno područje Aermec dizalice topline - model NRK0100HP1 [8] .....	50
Slika 7.7: Dijagram klizanja temperaturnog režima 55/50/20 °C .....	50
Slika 7.8: Dijagram karakteristika za dizalicu topline NRK0100HP1 .....	51
Slika 7.9: Odabrani novi spremnik PTV-a .....	52
Slika 7.10: Spiralni izmjenjivač topline u spremniku PTV-a.....	53
Slika 7.11: Jednostavna shema monovalentnog sustava grijanja sa dizalicom topline.....	55
Slika 7.12: Shema monovalentnog sustava grijanja sa dizalicom topline iz sučelja programa Simulation Studio.....	56
Slika 7.13: Graf bivalentnog načina rada dizalice topline .....	57
Slika 7.14: Dijagram karakteristika dizalice topline ANL081HP.....	58
Slika 7.15: Jednostavna shema bivalentnog sustava grijanja sa dizalicom topline i plinskim kotlom .....	59
Slika 7.16: Shema bivalentnog sustava grijanja sa dizalicom topline i plinskim kotlom iz sučelja programa Simulation Studio.....	59

Slika 8.1: Ovisnost potrebnog učinka o vanjskoj temperaturi za zgradu sa poboljšanom ovojnicom .....	60
Slika 9.1: Temperatura PTV-a tokom jednog dana u monovalentnom sustavu grijanja sa dizalicom topline.....	62
Slika 9.2: Temperatura vode u akumulacijskom spremniku tokom prva dva mjeseca u godini u bivalentnom sustavu grijanja sa dizalicom topline .....	63
Slika 9.3: Dovedene i odvedene energije u pojedinim izvedbama sustava.....	65
Slika 9.4: Ukupna predana energija vodi u sustavu grijanja i pripreme PTV-a.....	65
Slika 9.5: Primarne energije navedenih izvedbi sustava .....	67
Slika 9.6: Pojedine primarne energije za izvedbe sustava .....	67
Slika 9.7: Godišnji troškovi energije.....	68
Slika 9.8: Godišnji troškovi energije plina i električne energije .....	69
Slika 9.9: Godišnji troškovi energije na grijanje, hlađenje i rad pumpi.....	69
Slika 9.10: Investicijski troškovi za pojedine izvedbe .....	74
Slika 9.11: Analiza troškova .....	75

## 13. POPIS TABLICA

Tablica 2.1: Debljina, gustoća, toplinska vodljivost i spec. topl. kapacitet slojeva vanjskih zidova kuće .....	12
Tablica 2.2: Debljina, gustoća, toplinska vodljivost i spec. topl. kapacitet slojeva bočnih zidova kuće .....	12
Tablica 2.3: Debljina, gustoća, toplinska vodljivost i spec. topl. kapacitet slojeva vanjskih zidova podruma.....	12
Tablica 2.4: Debljina, gustoća, toplinska vodljivost i spec. topl. kapacitet slojeva vanjskog zida – krov.....	12
Tablica 2.5: Debljina, gustoća, toplinska vodljivost i spec. topl. kapacitet slojeva unutarnjih zidova .....	13
Tablica 2.6: Debljina, gustoća, toplinska vodljivost i spec. topl. kapacitet slojeva međukatne konstrukcije – 1 .....	13
Tablica 2.7: Debljina, gustoća, toplinska vodljivost i spec. topl. kapacitet slojeva međukatne konstrukcije – 2 .....	13
Tablica 2.8: Debljina, gustoća, topl. vodljivost i spec. topl. kapacitet slojeva međukatne konstrukcije 3 .....	13
Tablica 2.9: Debljina, gustoća, toplinska vodljivost i spec. topl. kapacitet slojeva poda prema okolini.....	14
Tablica 2.10: Debljina, gustoća, toplinska vodljivost i spec. topl. kapacitet slojeva kosog krova.....	14
Tablica 2.11: Debljina, gustoća, toplinska vodljivost i spec. topl. kapacitet slojeva poda prema tlu .....	14
Tablica 2.12: Vrijednosti koeficijenta prolaska topline svih konstrukcijskih elemenata .....	15
Tablica 2.13: Koeficijenti apsorpcije i konvektivnog prijelaza topline za konstruktivne elemente .....	15
Tablica 2.14: Proračunske vrijednosti $n_{50}$ za netestirane zgrade (tablica 1.6 DIN V 18599-2) [2] .....	17
Tablica 2.15: Opis kategorija [2].....	17
Tablica 2.16: Koeficijenti $e_{wind}$ i $f_{wind}$ [2] .....	17
Tablica 3.1: Slučaj sa poboljšanim prozirnim elementima vanjske ovojnice zgrade.....	22
Tablica 3.2: Koeficijenti prolaza topline .....	23
Tablica 3.3: Slučaj sa poboljšanom toplinskom izolacijom vanjske ovojnice zgrade .....	23
Tablica 3.4: Slučaj sa poboljšanom toplinskom izolacijom i prozirnim elementima vanjske ovojnice zgrade .....	23
Tablica 3.5: Ukupne potrebe za toplinom kroz cijelu godinu za sve navedene slučajeve .....	24
Tablica 3.6: Ukupne energije i specifične energije za zgradu.....	27
Tablica 4.1: Toplinski učinak po toplinskim zonama .....	29
Tablica 4.2: Maksimalne vrijednosti projektnog učinka hlađenja (osjetnog i latentnog) po toplinskim zonama .....	30
Tablica 5.1: Broj članaka radijatora po toplinskim zonama.....	31
Tablica 5.2: Učinak cijevnog radijatora po režimu rada .....	32
Tablica 5.3: Toplinski učinak koji ostvaruju radijatori .....	32
Tablica 5.4: Nominalni učinci i protoci radijatora svake toplinske zone za režim grijanja 60/40/20 °C.....	35
Tablica 5.5: Rezultati potrošnje energije za grijanje za početni slučaj (izvedba 1) .....	38
Tablica 6.1: Potrebni rashladni učinak i latentni učinak hlađenja za promatrane zone .....	40
Tablica 6.2: Podaci za mapu efikasnosti uređaja MU1-Y 79M .....	40



Tablica 7.1: Potrebna snaga članka po etažama za vanjsku temperaturu od -12,8 °C .....	45
Tablica 7.2: Učinak po etažama za režim 55/50/20 °C .....	45
Tablica 7.3: Popis režima koji zadovoljavaju potrebe za grijanjem pri zadanoj vanjskoj temperaturi .....	45
Tablica 7.4: Nominalni učinci radijatora svake toplinske zone za promatrane režime grijanja ...	46
Tablica 7.5: Protoci toplinskih zona za promatrane režime grijanja.....	46
Tablica 7.6: Vrijednosti učinaka promatranih radnih točaka za grijanje dizalice topline NRK0100HP1 .....	51
Tablica 7.7: Vrijednosti učinaka promatranih radnih točaka za grijanje dizalice topline ANL081HP .....	58
Tablica 8.1: Potrebni rashladni učinak i latentni učinak hlađenja za promatrane zone .....	61
Tablica 9.1: Dovedene i odvedene energije .....	64
Tablica 9.2: Potrošnja energije iz navedenih izvedbi.....	66
Tablica 9.3: Sezonski faktor grijanja i hlađenja za navedene izvedbe sustava .....	66
Tablica 9.4: Primarne energije .....	67
Tablica 9.5: Godišnji troškovi za grijanje i hlađenje .....	68
Tablica 9.6: Cijena opreme i ugradnje sustava PTV-a.....	70
Tablica 9.7: Cijena opreme i ugradnje sustava grijanja iz izvedbe 2 .....	70
Tablica 9.8: Cijena opreme i ugradnje sustava iz izvedbe 3 .....	71
Tablica 9.9: Cijena podebljanja fasade i postavljanja novih prozirnih elemenata vanjske ovojnice .....	71
Tablica 9.10: Cijena opreme i ugradnje sustava iz izvedbe 5 .....	72
Tablica 9.11: Cijena opreme i ugradnje sustava iz izvedbe 6 .....	72
Tablica 9.12: Cijena multi split klimam uređaja i ugradnja .....	73
Tablica 9.13: Cijena multi split klimam uređaja i ugradnja .....	73
Tablica 9.14: Ukupni investicijski troškovi pojedinih izvedbi .....	73

## 14. POPIS OZNAKA I KRATICA

R. Br.	Oznaka	Opis	Mjerna jedinica
1	$d$	Debljina	m
2	$\rho$	Gustoća	kg/m <sup>3</sup>
3	$\lambda$	Koef. toplinske vodljivosti	W/mK
4	$c$	Spec. toplinski kapacitet	J/kgK
5	$U$	Koef. prolaska topline	W/m <sup>2</sup> K
6	$\varepsilon$	Apsorpcijski koef. sunčevog zračenja	-
7	$\alpha$	Koef. konvektivnog prijelaza topline	kJ/hm <sup>2</sup> K
8	$n_{inf}$	Broj izmjene zraka uslijed infiltracije	h <sup>-1</sup>
9	$n_{req}$	Broj izmjena vanjskog zraka za sustave s konst. protokom zraka (bez regulacije protoka)	h <sup>-1</sup>
10	$e_{wind}$	Faktor zaštićenosti zgrade od vjetra	-
11	$n_{50}$	Broj izmjene zraka pri nametnutoj razlici tlaka od 50 Pa	h <sup>-1</sup>
12	$Q_{gr,potr}$	Toplinski zahtjevi grijanog prostora	kWh-
13	$f_0$	Faktor oblika	-
14	$A_o$	Oplošje grijanog dijela zgrade	m <sup>2</sup>
15	$V_g$	Volumen grijanog dijela zgrade	m <sup>3</sup>
16	$A_e$	Kvadratna površina prostora	m <sup>2</sup>
17	$A_{e,I}$	Kvadratna površina istočne zone	m <sup>2</sup>
18	$A_{e,Z}$	Kvadratna površina zapadne zone	m <sup>2</sup>
19	$\theta_{mm}$	Srednja temp. najhladnijeg mjeseca u godini	°C
20	$Q''_{H,nd}$	Spec. korisna energija	kWh/m <sup>2</sup>
21	$\vartheta$	Temperatura	°C ili K
22	$Q_{proj,gr}$	Projektni učinak grijanja	kW
23	$Q_{osj}$	Osjetni učinak hlađenja	kW
24	$Q_{lat}$	Latentni učinak hlađenja	kW
25	$Q_{hl,zone}$	Projektni učinak hlađenja zone	kW
26	$Q_{hl,max}$	Najveći projektni učinak hlađenja	kW
27	$Q_{hl,potr}$	Potrebni učinak hlađenja	kW
28	$Q_{rad}$	Toplinski učinak radijatora	kW
29	$n_{\check{c}l}$	Broj članaka radijatora	-
30	$q_{\check{c}l}$	Toplinski učinak jednog članka radijatora	kW
31	$Q_{gr,potr}$	Potrebni učinak grijanja	kW
32	$Q_{gr,stv}$	Stvarni učinak grijanja	kW
33	$Q_{gr}$	Toplinski učinak grijanja	kW
34	$m$	Maseni protok vode	kg/s
35	$c_w$	Spec. toplinski kapacitet vode	kJ/kgK
36	$\Delta\vartheta$	Temperaturna razlika polaza i povrata	°C ili K
37	$n_{tu}$	EkspONENT toplinskog učinka	-
38	$d_r$	Unutarnji promjer vodne cijevi u radijatoru	m
39	$Q_w$	Topl. energija potrebna za pripremu PTV-a u promatranom periodu	kWh
40	$Q_{w,A,a}$	Spec. topl. energija potrebna za pripremu PTV-a	kWh/m <sup>2</sup> a
41	$A_k$	Korisna površina zgrade	m <sup>2</sup>

42	$V_W$	Dnevna potrošnja vode	m <sup>3</sup> /danu ili l/danu
43	$\vartheta_{out}$	Temperatura vode na izlazu iz kotla PTV-a	°C
44	$\vartheta_{in}$	Temperatura vode na ulazu u kotao PTV-a	°C
45	$h$	Visina unutarnjeg dijela spremnika	m
46	$V$	Volumen spremnika PTV-a	m <sup>3</sup> ili l
47	$k$	Koeficijent prolaza topline kroz plašt i izolaciju	W/m <sup>2</sup> K
48	$\delta_i$	Debljina stijenke izolacije	m
49	$\lambda_i$	Toplinska vodljivost izolacije	W/mK
50	$\lambda_p$	Toplinska vodljivost plašta	W/mK
51	$\alpha_v$	Koeficijent konvekcije sa vanjske strane spremnika	m <sup>2</sup> K/W
52	$\alpha_u$	Koeficijent konvekcije sa unutarnje strane spremnika	m <sup>2</sup> K/W
53	$\rho_w$	Gustoća vode	kg/m <sup>3</sup>
54	$\lambda_w$	Toplinska vodljivost vode	W/mK
55	$\eta_w$	Viskozitet vode	kg/ms
56	$\alpha_w$	Koef. Toplinske ekspanzije vode	1/K
57	$D$	Promjer spirale izmjenjivača	m
58	$d_v$	Vanjski promjer cijevi	m
59	$d_u$	Unutarnji promjer cijevi	m
60	$L$	Duljina spirale izmjenjivača	m
61	$V_i$	Volumen spirale izmjenjivača	m <sup>3</sup>
62	$\Delta T$	Temperaturni gradijent	°C ili K
63	$Q_{pl,gr}$	Potrošnja plina za grijanje	kWh
64	$Q_{dov,gr}$	Dovedena (predana) energija sustavu grijanja	kWh
65	$Q_{pl,PTV}$	Potrošnja plina za PTV	kWh
66	$Q_{dov,PTV}$	Dovedena (predana) energija PTV-u	kWh
67	$Q_s$	Stvarni toplinski učinak	kW
68	$Q_n$	Normni toplinski učinak	kW
69	$n$	Pretvorbeni eksponent	-
70	$\vartheta_{v,s}$	Stvarna temperatura polaza	°C
71	$\vartheta_{r,s}$	Stvarna temperatura povrata	°C
72	$\vartheta_{z,s}$	Stvarna temperatura zraka u prostoriji	°C
73	$\vartheta_{v,n}$	Normna temperatura polaza	°C
74	$\vartheta_{r,n}$	Normna temperatura povrata	°C
75	$\vartheta_{z,n}$	Normna temperatura zraka u prostoriji	°C
76	$\varepsilon_{GR}$	Faktor grijanja (COP)	-
78	$Q_{DT}$	Toplinski učinak dizalice topline	kW
79	$P_K$	Snaga kompresora	kW
80	$h_{1'}$	Entalpija radne tvari na ulazu u kompresor	kJ/kg
81	$h_{2'}$	Entalpija radne tvari na izlazu iz kompresora i ulazu u kondenzator	kJ/kg
82	$h_{3'}$	Entalpija radne tvari na izlazu iz kondenzatora	kJ/kg
83	$T$	Temperatura na kondenzatoru	K
84	$T_0$	Temperatura na isparivaču	K
85	$Q_g$	Kapacitet grijanja	kW
86	$P_g$	Električna snaga za grijanje	kW
87	$TWI$	Ulazna temperature vode	°C

88	$TWO$	Izlazna temperature vode	°C
89	$TAI$	Ulazna temperature zraka	°C
90	$Q_k$	Toplinski kapacitet	kW
91	$P_{el}$	Električna snaga kompresora	kW
92	$V_{puf}$	Kapacitet pufera	m <sup>3</sup> ili l
93	$H_{puf}$	Visina spremnika pufera	m
94	$D_{puf}$	Promjer spremnika pufera	m
95	$\delta_{pu}$	Debljina izolacije	m
96	$\lambda_{pu}$	Toplinska vodljivost izolacije poliuretana	W/mK
97	$h_{pos}$	Visina postolja	m
98	$d_s$	Unutarnji promjer spremnika	m
99	$H$	Visina spremnika PTV-a	m
100	$D_s$	Promjer spremnika PTV-a	m
101	$V_i$	Volumen spiralnog (cijevnog) izmjenjivača	m <sup>3</sup>
102	$A_i$	Površina cijevnog izmjenjivača	m <sup>2</sup>
103	$l$	Duljina cijevi (spirale)	m
104	$d_s$	Unutarnji promjer spremnika PTV-a	m
105	$V_{wps}$	Potrošnja vode po satu	l/h
106	$\vartheta_{vv}$	Temperatura vode iz vodovoda	°C
107	$\vartheta_{PTV}$	Temperatura vode na izlazu iz spremnika PTV-a	°C
108	$Q_{tr}$	Trenutni učinak	kW
109	$z_A$	Vrijeme zagrijavanja vode	h
110	$z_B$	Vrijeme pogona pri vršnoj potrošnji	h
111	$Q_{spr}$	Potreban učinak grijača vode u spremniku	kW
112	$T_{ok}$	Temperatura okoline	°C
113	$T_{set}$	Zadana temperatura u bivalentnoj točki	°C
114	$T_{s,puf}$	Izlazni signal termostata sa pufera	0 ili 1
115	$P_d$	Snaga kompresora klima uređaja	kW
116	$EER$	Faktor hlađenja (COP <sub>0</sub> ili $\epsilon_{HL}$ )	-
117	$T_h$	Temperatura hlađenja	°C
118	$P_h$	Rashladni učinak	kJ/h
119	$\varphi_h$	Relativna vlažnost zraka	%
120	$Q_{dov,pl}$	Dovedena energija vodi sa plinskog kotla	kWh
121	$Q_{dov,dt}$	Dovedena energija vodi sa dizalice topline	kWh
122	$Q_{hl}$	Odvedena toplina klima uređaja	kWh
123	$E_{pump}$	Potrošnja električne energije za rad pumpi	kWh
124	$E_{dt}$	Potrošnja električne energije za rad dizalice topline	kWh
125	$E_{el}$	Potrošnja električne energije	kWh
126	$E_{pl}$	Potrošnja plina	kWh
127	$E_{kl}$	Potrošnja električne energije za rad klima uređaja	kWh
128	$E_{prim,pl}$	Primarna energija plina	kWh
129	$E_{prim,el}$	Primarna električna energija	kWh
130	$E_{prim,uk}$	Ukupna primarna energija	kWh
131	$T_{pl}$	Trošak plina	EUR
132	$T_{el}$	Trošak električne energije	EUR
133	$T_{uk}$	Ukupni trošak	EUR
134	$T_{odr}$	Trošak održavanja	EUR

## 15. SAŽETAK

U diplomskom radu „Utjecaj koncepta termotehničkog sustava na energetske i ekonomske pokazatelje“ se izvršio proces određivanja najpovoljnijeg rješenje od predloženih sustava grijanja, pripreme PTV-a i hlađenja za obiteljsku kuću na području Zagreba.

Izvodila se analiza potrošnje energije postojeće obiteljske kuće za koju su se, korištenjem dinamičkih matematičkih modela, provele cjelogodišnje simulacije unutar programa TRNSYS – Simulation Studio. Simulacije su provedene u realnim uvjetima temeljem meteoroloških podataka za područje Zagreba - Maksimir. Određivanje optimalne izvedbe sustava se postiže pravilnim odabirom potrebnih elemenata i opreme, te njihovom korektnom implementacijom u sustavu.

Kreirano je nekoliko izvedbi sustava za koje su provedene simulacije i dobiveni rezultati o potrošnji energije. Ti rezultati su provedeni kroz proračun godišnje potrošnje energije za grijanje, pripremu PTV-a i hlađenje od čega su određeni godišnji troškovi pogona. Uz to su određeni i investicijski troškovi te troškovi održavanja. Iz rezultata ukupnih troškova za navedene izvedbe, izvedba 3 se pokazala kao optimalno rješenje čije je vrijeme isplate 13 godina.

**Ključne riječi:** termotehnički sustav, energetska i ekonomska analiza, grijanje, priprema PTV-a, hlađenje, TRNSYS, troškovi, optimizacija

## 16. ABSTRACT

In the master's thesis "The impact of the HVAC system concept on energy and economic indicators" was carried out to determine the most favorable solution from the proposed heating systems, preparation of DHW and cooling for a family house in the Zagreb area.

An analysis of energy consumption of the existing family house was performed, for which year-round simulations were conducted using dynamic mathematical models within the TRNSYS – Simulation Studio program. The simulations were conducted in real conditions based on meteorological data for the Zagreb area. Determining the optimal performance of the system is achieved by proper selection of the necessary elements and equipment, and their correct implementation in the system.

Several versions of the system were created, for which simulations were conducted, and results on energy consumption were obtained. These results were carried out through the calculation of annual energy consumption for heating, DHW preparation and cooling, from which the annual operating costs were determined. In addition, investment costs and maintenance costs are also determined. From the results of the total costs for the mentioned versions, version 3 proved to be the optimal solution with a payback period of 13 years.

**Keywords:** thermotechnical system, energy and economic analysis, heating, PTV preparation, cooling, TRNSYS, costs, optimization