

# Energetska obnova termotehničkog sustava obiteljske kuće namijenjene za stanovanje i turizam

---

**Brlečić, Noel**

**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:190:870123>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI

**TEHNIČKI FAKULTET**

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**Energetska obnova termotehničkog sustava obiteljske kuće  
namijenjene za stanovanje i turizam**

Rijeka, svibanj 2024.

Noel Brletić

0069083400

SVEUČILIŠTE U RIJECI

**TEHNIČKI FAKULTET**

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**Energetska obnova termotehničkog sustava obiteljske kuće  
namijenjene za stanovanje i turizam**

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

Komentor: Prof. dr. sc. Branimir Pavković

Rijeka, svibanj 2024.

Noel Brletić

0069083400

## Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Izrada modela kuće.....	2
2.1. Unos geometrije.....	2
2.2. Toplinski model zgrade.....	5
2.3. Građevni elementi.....	6
2.4. Odabir prozora.....	10
2.5. Zasjenjenje.....	11
2.6. Infiltracija zraka.....	11
2.7. Toplinski dobici .....	13
2.8. Temperatura tla .....	13
3. Analiza trenutnog stanja i poboljšanje vanjske ovojnice .....	14
3.1. Grijanje, hlađenje i PTV .....	14
3.2. Usporedba.....	15
3.3. Obnova vanjske ovojnice.....	18
3.4. Faktor oblika.....	20
3.5. Projektni učinci.....	22
4. Tehnički sustavi grijanja, hlađenja i pripreme potrošne tople vode .....	24
4.1. Sustav pripreme potrošne tople vode.....	25
4.2. Dizalica topline.....	29
4.2.1. Podjela dizalica topline s obzirom na toplinski izvor .....	31
4.2.2. Odabir dizalice topline .....	32
4.3. Ventilatorski konvektori .....	34
4.4. Termostat grijanja .....	36
4.5. Termostat hlađenja.....	36
4.6. Razdjelnik cjevovoda .....	37
4.7. Sabirnik cjevovoda .....	38
4.8. Cjevovod.....	38

4.9. Cirkulacijska pumpa .....	39
4.10. Bazen .....	41
4.11. Solarni kolektori .....	44
4.12. Izmjenjivač topline bazena .....	49
5. Analiza rezultata provedenih simulacija .....	54
5.1. Podaci energije.....	54
5.2. Ekonomski pokazatelji .....	60
5.2.1. Pogonski troškovi.....	60
5.2.2. Investicijski troškovi.....	60
6. Analiza rezultata i zaključak .....	65
7. Literatura .....	66
8. Popis simbola .....	68
9. Popis slika .....	72
10. Popis tablica .....	73
11. Sažetak i ključne riječi .....	75
12. Abstract and key words .....	76
13. Prilozi .....	77

## Izjava o samostalnoj izradi rada

Sukladno Članku 9. Pravilnika o diplomskom radu, diplomskom ispitu i završetku sveučilišnih diplomskih studija Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad pomoću znanja stečenog na Tehničkom fakultetu, mentora izv. prof. dr. sc. Borisa Delača i sumentora prof. dr. sc. Branimira Pavkovića i primjenom navedene literature.

Rijeka, ožujak 2024.

---

Noel Brletić

## **ZAHVALA**

Ovom prilikom bi se zahvalio svima koji su me podržali i bili uz mene tijekom mog studijskog obrazovanja. Posebno bi se želio zahvaliti svojoj obitelji koja je vjerovala u mene i bila mi poticaj u svim dobrim i lošim trenucima. Također hvala izv. prof. dr. sc. Borisu Delaču kao mentoru i prof. dr.sc. Branimiru Pavkoviću kao komentoru koji me je usmjeravali prilikom pisanja ovog rada.

## 1. Uvod

U ovom radu je provedena analiza termotehničkog sustava postojeće obiteljske kuće na području sjevernog Jadrana i utvrditi opravdanost njezine energetske obnove. Radi se o obiteljskoj kući čiji je osnovni dio napravljen sredinom 20. stoljeća i do danas imala dvije različite nadogradnje i jednu adaptaciju. Ovakve kuće su rađene prije ikakvih strogih energetskih normi stoga imaju vrlo loše karakteristike vanjske ovojnice i zastarjeli način grijanja i hlađenja. Potrebno je projektirati optimalni koncept termodinamičkog sustava koji će omogućiti nisku potrošnju primarne energije koja po potrebi zadovoljava kriterije definirane na nacionalnoj razini uz prihvatljiv period povrata investicije. Na početku će se kalibrirati model u simulaciji prema stvarnoj kući te se kasnije navedeni model koristiti u projektiranju sustava.

Predviđene analize se mogu provesti alatima (KI expert, Encert i sl.) i metodama definiranim na nacionalnoj razini ali one sa sobom donose nedostatke u predefiniranju sustava i točnosti izlaznih podataka. U ovoj analizi će se analizirati nekonvencionalne varijante tehničkog sustava stoga se odabrala metoda numeričke dinamičke simulacije.

S obzirom da kuća lošeg energetskog razreda u prvom djelu rada je napravljen složen model kuće kojega će se kalibrirati pomoću dinamičke simulacije jer trebamo pouzdanu analizu. Provjeriti će se opravdanost nadogradnje vanjske ovojnice, pri čemu se nije razmišljalo o sustavima grijanja i hlađenja. Topline koje su dovedene tokom zime odnosno odvedene tokom ljeta određene su kao korisna energija za grijanje i hlađenje.

U drugom djelu rada će se odabrati termotehnički sustav koji je rađen po propisima i s ciljem smanjenja troškova za grijanje i hlađenje i dobije što veći udio iz obnovljivih izvora. Uz sve nadogradnje predviđeti će se i ugradnja bazena pošto je kuća namijenjena i za turizam. Van turističke sezone kuća je namijenjena kao smještaj za radnike koji rade na obližnjim gradilištima stoga se sustav projektira kao da je kuća na punom kapacitetu tokom cijele godine.

Na kraju će biti uspoređeni rezultati sustava i odrediti koji su potrebni zahvati kako bi se našao balans između uloženog i dobivenog. Kriteriji ove analize će biti potrošnja primarne energije, utrošak pogona i investicijsko ulaganje. Pomoću ovih kriterija može se dobiti vrlo dobar uvid opravdanost odabranog sustava.



## **2. Izrada modela kuće**

Kuća je jednoobiteljska, višestambena i građena je u četiri razine. Ima sveukupno pet stambenih prostora na četiri etaže. Ovi prostori su grijani prostori no uz njih postoje i druge pomoćne negrijane prostorije poput konobe i kotlovnice.

Kao što je u uvodu spomenuto, u ovom radu će se koristiti program za dinamičke simulacije Trnsys u kojemu je moguće vršiti simulacije prilikom izrade projekata adaptacije ili gradnje kuća, zgrada i drugih građevinskih objekata. Služi za prikazivanje potrošnje primarne energije, mijenjanje toplinskih svojstava objekta tijekom godine ili traženja optimalnog sustava pri kojem bi objekt mogao biti pogodan za život ili drugu funkciju kojoj je namijenjen. Osim za vršenje simulacija prilikom izrade projekata gradnje ili adaptacije građevinskih objekata, moguće je izvršiti simulacije procesnih postrojenja. U ovome programu je također moguće provjeriti svojstva raznih komponenti zasebno, neovisno o objektu u koji se ugrađuje. Kao što su učinci grijanja i hlađenja dizalice topline, izmjena topline u akumulacijskom spremniku i drugi.

Geometrija je unesena u programu Google Sketchup uz ekstenziju Trnsys3D kako bi se izrađeni model spremio u obliku koji je kompatibilan uz program Trnsys s kojim će se definirati rubni uvjeti i računati kroz provedene simulacije. Prije izrade modela treba isplanirati kako podijeliti toplinske zone i na koliko dijelova ako se radi o povećoj prostoriji.

### **2.1. Unos geometrije**

Tokom modeliranja kuća je podijeljena u jedanaest toplinskih zona.

Grijane zone:

- Suteran 1
- Suteran 2
- Apartman
- Garsonijera
- Kat i Kat-kuhinja
- Potkrovlje i Potkrovlje-kuhinja

Negrijane zone:

- Ljetna kuhinja
- Konoba
- Kotlovnica

Razlog odvajanja dviju toplinskih zona, kat i potkrovlje, u dva individualna djela jest što svaka ploha koja omeđuje volumen zone mora imati pogled na svaku točku u zoni. Pošto su ove dvije zone nepravilnog oblika koji se teško može modelirati od jednog djela, a da se zadrže proporcije, odlučeno je podijeliti ju na dva pravilna djela i staviti graničnu plohu između njih bez toplinskih otpora.

Zone Ljetna kuhinja i Konoba nalaze se u suterenu. Jedna strana ovih prostorija je ukopana u zemlju pošto je cijeli teren na kojem je kuća sagrađena pod velikim nagibom. Namjena Ljetne kuhinje je, kao što i ime implicira, priprema obroka tokom ljetnih mjeseci te za odmor u sjeni. Konoba služi kao spremište alata i duboko zamrznute hrane u zamrzivaču. Kotlovnica se nalazi u prizemlju i u njoj se nalazi peć na drva za centralno grijanje i dva spremnika za PTV.

Svaka toplinska zona je određena volumenom zraka u prostoru, što znači da se crta prema unutarnjim dimenzijama prostorije. Uz toplinske zone mogu se postaviti elementi zasjenjenja poput balkona, vanjskog stubišta i ispupčeni rubovi krova.

Potrebno je uz samo crtanje modela definirati i površine obraćajući pozornost ako površina jedne toplinske zone graniči s drugom toplinskom zonom (pregradni zid), s tlom ili s okolnim zrakom. Drugim riječima, treba odrediti rubne uvjete. Ovim površinama se dodjeljuje određeni konstrukcijski element što će poslije pomoći oko definiranja konstrukcije površina. Površine koje imaju istu funkciju i karakteristike se grupiraju u iste skupine. Te skupine se dijele na vanjske elemente koje graniče s okolinom (Vanjski zidovi, krov i pod prema tlu) i unutarnje koji graniče s drugim toplinskim zonama (međukatna konstrukcija, pregradni zid). Kuća je izgrađena u 3 iteracije uz jednu adaptaciju dvaju prostora stoga ima različite sastave vanjskih zidova i međukatne konstrukcije preko cijele dužine i širine kuće. Za potrebe ovog modela korišteno je 16 različitih elemenata:

Vanjski zidovi:

- SUTEREN\_105 (deblji zid u suterenu)
- SUTEREN\_60 (tanji zid u suterenu)
- VZ\_KONOBA (vanjski zid konobe)
- VZ\_LJ.K (vanjski zid ljetne kuhinje)
- VZ\_APARTMAN (vanjski zid apartmana)
- VZ\_KAT (vanjski zid kata)
- VZ\_POTKROVLJE (vanjski zid potkrovlja)

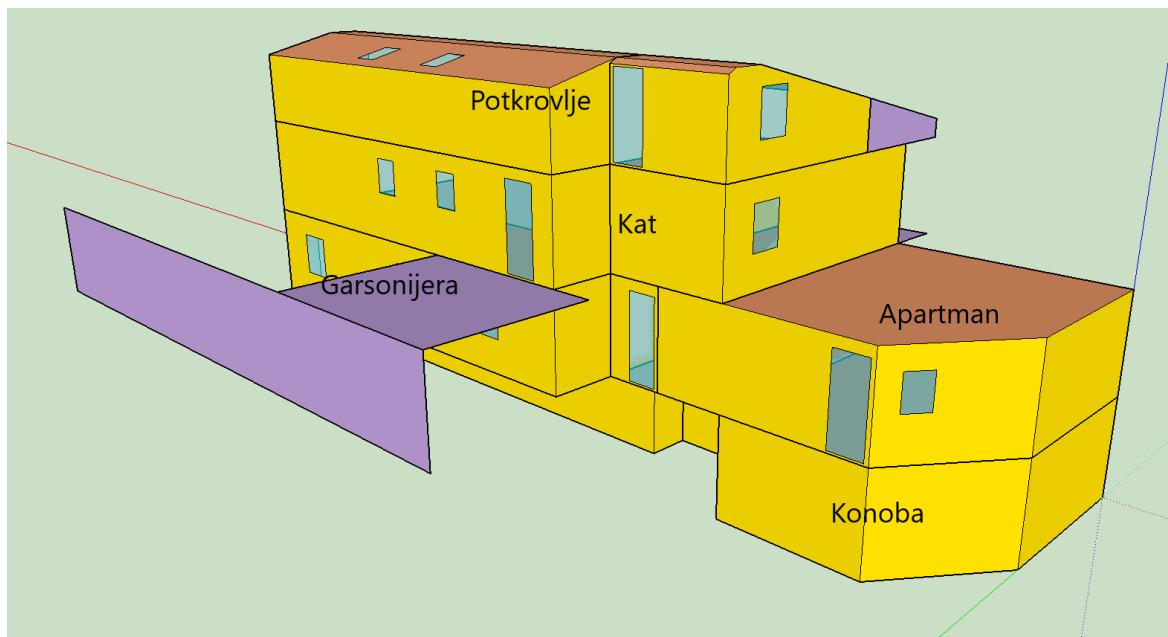
Međukatne konstrukcije:

- SUTEREN1\_SUTEREN2 (pod/strop između dvije etaže u suterenu)
- SUTEREN\_KAT (strop između gornje etaže suterena i kata)
- LJ.K\_AP (strop između ljetne kuhinje i apartmana)
- KONOBA\_AP (strop između konobe i apartmana)
- KAT\_POTKROVLJE (strop između kata i potkrovlja)

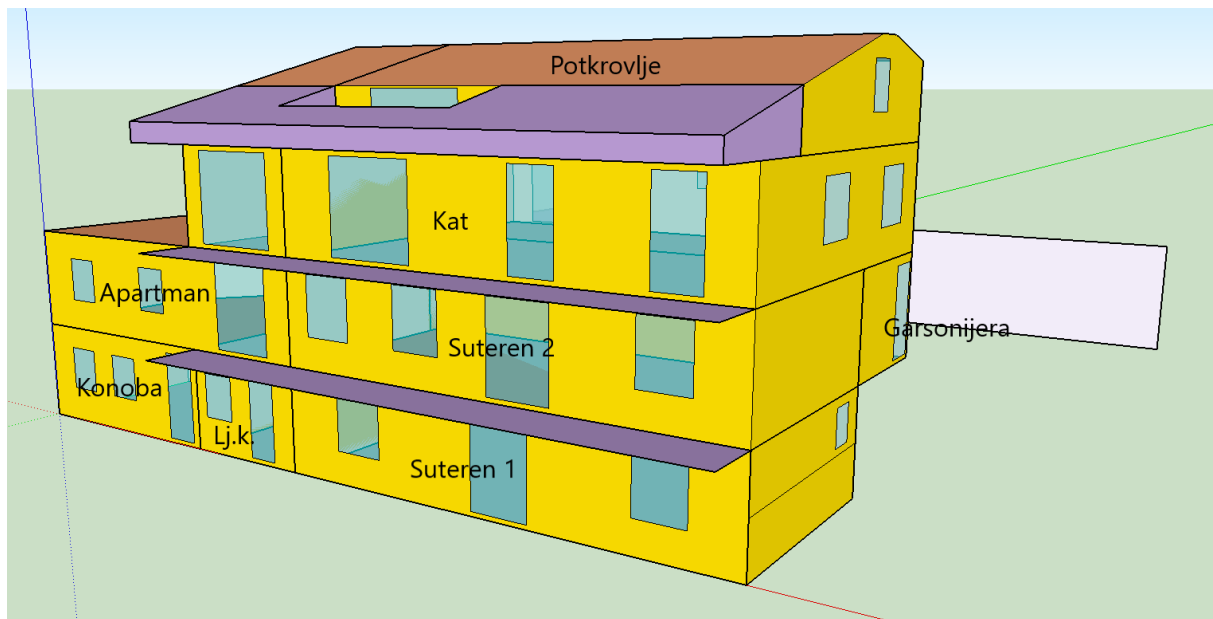
Podovi prema tlu:

- TEMELJ\_STARI
- TEMELJ\_NOVI

I jedan element za krov (KROV) i jedan unutarnji zid između kotlovnice i apartmana (AP\_KOT). Osim određivanja rubnih uvjeta potrebno je ucrtati prozore i vrata. Prozori su svrstani u konstrukcijsku grupu VANJSKI\_PROZORI, a vrata u VRATA radi kasnije lakšeg orijentiranja u programu.



*Slika 2.1. Pogled sa sjevera*



*Slika 2.2. Pogled s juga*

## 2.2. Toplinski model zgrade

Geometrija kuće spremljena u .idf datoteci se učitava u program Simulation Studio stvarajući novi projekt i tip navedenog projekta. U ovom slučaju je to „3D Building Project (multizone)“ koji ima već pripremljenu podlogu za višezonski model. Kod učitavanja je potrebno upisati kut otklona kuće naspram sjevera, u ovom slučaju ona gleda u smjeru sjeveroistoka (Slika 2.3.) stoga se upisuje 45°. Također su potrebni i meteorološki podaci za mjesto na kojem se nalazi kuća.



*Slika 2.3. Orijentacija kuće - Google Earth*

U toplinskom modelu postoje već pripremljeni elementi (Slika 2.4.):

- Building: model zgrade (Type56)
- Azimuth data: položaj kuće u odnosu na azimut
- Radiation: kalkulator sunčevog zračenja
- Weather data: meteorološki podaci



Tablica 2.2. SUTEREN\_60

	Materijal	$d$ [cm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	$c$ [J/kgK]
1.	Vapneno-cementna žbuka	2	1800	1	1000
2.	Kamen-beton	60	2000	1,5	1000
3.	Vapneno-cementna žbuka	2	1800	1	1000

Tablica 2.3. VZ\_KONOBA

	Materijal	$d$ [cm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	$c$ [J/kgK]
1.	Šuplja opeka	30	1100	0,48	900
2.	Vapneno-cementna žbuka	2	1800	1	1000

Tablica 2.4. LJ.K

	Materijal	$d$ [cm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	$c$ [J/kgK]
1.	Kamen-beton	30	2000	1,5	1000
2.	Vapneno-cementna žbuka	2	1800	1	1000

Tablica 2.5. VZ\_APARTMAN

	Materijal	$d$ [cm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	$c$ [J/kgK]
1.	Vapneno-cementna žbuka	2	1800	1	1000
2.	Šuplja opeka	30	1100	0,48	900
3.	Vapneno-cementna žbuka	2	1800	1	1000

Tablica 2.6. VZ\_KAT

	Materijal	$d$ [cm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	$c$ [J/kgK]
1.	Vapneno-cementna žbuka	2	1800	1	1000
2.	Šuplja opeka	30	1100	0,48	900
3.	Vapneno-cementna žbuka	2	1800	1	1000

Tablica 2.7. VZ\_POTKROVLJE

	Materijal	$d$ [cm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	$c$ [J/kgK]
1.	Vapneno-cementna žbuka	2	1800	1	1000
2.	Šuplja opeka	30	1100	0,48	900
3.	Ekspandirani polistiren	5	30	0,04	1260
4.	Vapneno-cementna žbuka	2	1800	1	1000

Tablica 2.8. AP\_KOT

	Materijal	$d$ [cm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	$c$ [J/kgK]
1.	Vapneno-cementna žbuka	2	1800	1	1000
2.	Šuplja opeka	25	1100	0,48	900
3.	Vapneno-cementna žbuka	2	1800	1	1000

Tablica 2.9. SUTEREN1\_SUTEREN2

	Materijal	$d$ [cm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	$c$ [J/kgK]
1.	Drvo	15	700	0,18	1600

Tablica 2.10. SUTEREN\_KAT

	Materijal	$d$ [cm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	$c$ [J/kgK]
1.	Vapneno-cementna žbuka	2	1800	1	1000
2.	Šuplja opeka	14	1100	0,48	900
3.	Armirani beton	6	2500	2,6	1000
4.	Staklena vuna	5	40	0,04	1000
5.	Cementni estrih	2	2000	1,6	1100
6.	Drvo (parket)	1	700	0,18	1600

Tablica 2.11. LJ.K\_AP

	Materijal	$d$ [cm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	$c$ [J/kgK]
1.	Kamen-beton	20	2000	1,5	1000
2.	Drvo (parket)	1	700	0,18	1600

Tablica 2.12. KONOBA\_AP

	Materijal	$d$ [cm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	$c$ [J/kgK]
1.	Šuplja opeka	14	1100	0,48	900
2.	Armirani beton	6	2500	2,6	1000
3.	Staklena vuna	3	40	0,04	1000
4.	Cementni estrih	2	2000	1,6	1100
5.	Drvo (parket)	1	700	0,18	1600

Tablica 2.13. KAT\_POTKROVLJE

	Materijal	$d$ [cm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	$c$ [J/kgK]
1.	Vapneno-cementna žbuka	2	1800	1	1000
2.	Šuplja opeka	14	1100	0,48	900
3.	Armirani beton	6	2500	2,6	1000
4.	Staklena vuna	3	40	0,04	1000
5.	Cementni estrih	2	2000	1,6	1100
6.	Drvo (parket)	1	700	0,18	1600

Tablica 2.14. TEMELJ\_STARI

	Materijal	$d$ [cm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	$c$ [J/kgK]
1.	Drvo (parket)	1	700	0,18	1600
2.	Kamen-beton	30	2000	1,5	1000
3.	Pijesak	20	1700	0,81	1000

Tablica 2.15. TEMELJ\_NOVI

	Materijal	$d$ [cm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	$c$ [J/kgK]
1.	Drvo (parket)	1	700	0,18	1600
2.	Cementni estrih	6	2000	1,6	1100
3.	Armirani beton	20	2500	2,6	1000
4.	Pijesak	20	1700	0,81	1000



Tablica 2.16. KROV

	Materijal	$d$ [cm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	$c$ [J/kgK]
1.	Vapneno-cementna žbuka	2	1800	1	1000
2.	Drvo	20	700	0,18	1600
3.	Staklena vuna	1,5	40	0,04	1000
4.	Crijep	2	2300	1,3	840

Uz navedene sastave konstrukcijskih elemenata potrebno je i definirati koeficijente apsorpcije zračenja sunca i konvektivnog prijelaza topline prikazanih u tablici 2.17.:

Tablica 2.17. Koeficijenti apsorpcije zračenja sunca i konvektivnog prijelaza topline

	Element	Koeficijent apsorpcije sunčevog zračenja $\epsilon$ [-]		Koeficijent prijelaza topline $\alpha$ [W/m <sup>2</sup> K]	
		Unutarnja strana	Vanjska strana	Unutarnja strana	Vanjska strana
1.	Vanjski zidovi	0,25	0,3	3,06	17,78
2.	Međukatne konstrukcije	0,25	0,4	3,06	3,06
3.	Pod na tlu	0,4	0,6	3,06	0
4.	Krov	0,4	0,6	3,06	17,78

## 2.4. Odabir prozora

Na cijeloj kući je postavljeno više vrsta stolarije. Popis i opis stolarije će biti prikazan po dijelovima kuće u tablici 2.18. Svi prozori na kući su pravokutnog oblika.

Tablica 2.18. Popis stolarije

Toplinska zona	Tip ostakljenja	Ostakljenje	Tip okvira	Koef. prolaza topline $U$ [W/m <sup>2</sup> K]	Faktor propuštanja sunčevog zračenja $g$ [-]	Vrata
Suteren	Jednostruko	80%	Drvo	5.68	0.855	Drvena
Ljetna kuhinja	Jednostruko	85%	Drvo	5.68	0.855	Aluminij
Konoba	Dvostruko	85%	PVC	2.83	0.755	Drvena
Apartman	Dvostruko	80%	PVC	2.83	0.755	PVC
Garsonijera	Dvostruko	80%	PVC	2.83	0.755	PVC
Kat	Dvostruko	80%	Drvo	2.83	0.755	PVC
Potkrovlje	Dvostruko	80%	PVC	2.83	0.755	PVC

## 2.5. Zasjenjenje

Prozori imaju postavljeno i aktivno zasjenjenje koje propušta ili ne propušta sunčevo zračenje u prostor. Postoje dvije vrste zasjenjenja, vanjsko i unutarnje. Na cijeloj kući, osim u zonama Potkrovlje i Apartman, postoje obje vrste zasjenjenja. Vanjsko obliku grilja i unutarnje u obliku tankih zavjesa. U ostale dvije zone postoji samo unutarnje zasjenjenje u obliku zavjesa. Navike korisnika su da tokom hladnih dana propuštaju sunčevo zračenje u prostorije, dakle zasjenjenje je isključeno, a tokom toplih dana zatvore žaluzine i zavjese kako bi izbjegli dodatno zagrijavanje prostorija. Stoga u zimskom periodu nije uključeno zasjenjenje jer se što više energije dobiva iz sunca za grijanje, dok je u ljetnom periodu aktivno kako bi se spriječilo dodatno zagrijavanje unutarnjih prostora uslijed djelovanja sunca. Aktivno zasjenjenje se aktivira kad je intenzitet sunčevog zračenja veći od 140 W/m<sup>2</sup> i prestaje kad intenzitet zračenja padne ispod 120 W/m<sup>2</sup>. Faktor nepropusnosti zasjenjenja na sunčevo zračenje za vanjsko zasjenjenje iznosi 0,7 a za unutarnje 0,15 koje je konstantno aktivno. Faktor zasjenjenja prikazuje udio zračenja koji se zaustavlja na zasjenjenju i ne odaje toplinu u prostoriji.

## 2.6. Infiltracija zraka

Infiltracija zraka je aktivna i konstantna za sve toplinske zone. Ona se određuje prema algoritmu za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje zgrade prema HRN EN ISO 13790 i definira se kao broj izmjena zraka u jednom satu. [3]

Broj izmjena zraka uslijed infiltracije ako nema mehaničke infiltracije:

$$n_{inf} = e_{wind} \cdot n_{50} \quad (2.1.)$$

Gdje je,

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

$e_{wind}$  – faktor zaštićenosti zgrade od vjetra (Tablica 2.20.)

$n_{50}$  – broj izmjena zraka pri razlici tlaka od 50 Pa (Tablica 2.19.)

Tablica 2.19. Proračunske vrijednosti  $n_{50}$  za netestirane zgrade [3]

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

Ova kuća spada u I kategoriju pod slovom b.

Tablica 2.20. Koeficijent  $e_{wind}$  i  $f_{wind}$  [3]

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

Kuća je smještena u predgrađu i okružena je drugim obiteljskim kućama te je izloženo više fasada uzimaju se vrijednosti iz drugog reda i prvog stupca.

Prema izrazu (2.1.) broj izmjena zraka:

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

Potrebno je odabrati minimalni protok zraka koji je određen Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama ili prema projektnom zadatku. Usvaja se vrijednost prostorije za boravak s vrijednošću  $n_{req} = 0,5 \text{ h}^{-1}$ .

Prema sljedećoj formuli usvaja se vrijednost promjena zraka u prostorijama:

$$n_{inf} + n_{req} = \max[n_{inf} + n_{req}; n_{min}] \quad (2.2)$$

$$\max[n_{inf} + n_{req}; n_{min}] = \max[0,5 + 0,07; 0,5] = 0,57 \text{ h}^{-1}$$

## 2.7. Toplinski dobici

Toplinski dobici jesu dobici uslijed djelovanja rasvjete, elektronskih uređaja i druge opreme ali i ljudi. Pošto je ovo vrlo kompliciran proces postavljanja svih režima paljenja i gašenja svjetala, broj osoba u prostoriji u određenom trenutku dana i svih ostalih dobitaka što ujedno i produljuje vrijeme simuliranja, sve ovo će se pokriti jednim jednostavnim dobitkom od  $5 \text{ W/m}^2$  koje je određeno prema [3], poglavlje 1.3.3.1 Unutarnji toplinski dobici, za stambene prostore.

## 2.8. Temperatura tla

Dio kuće se nalazi pod zemljom zbog nagiba terena stoga temperatura tla utječe na zone pod zemljom. Kako nakon neke dubine temperatura tla gotovo konstantna, usvojena temperatura tla će biti  $12^\circ\text{C}$  tokom cijele godine.

### 3. Analiza trenutnog stanja i poboljšanje vanjske ovojnice

#### 3.1. Grijanje, hlađenje i PTV

Dio kuće se grije na centralno grijanje kotlom na kruto gorivo (drvo). Uz grijanje prostorija kotao se koristi za zagrijavanje spremnika PTV-a. Režim rada je 80/60/20 °C, što znači da je polazna temperatura vode 80°C, povrat vode je temperature 60°C i prostorije u kući se griju na 20°C. Ogrjevnna tijela su člankasti aluminijski radijatori nepoznatog proizvođača i različitih dimenzija. Vrijednosti učinka svakog članka, zbog sličnosti konstrukcije i dimenzija, će se uzeti iz kataloga proizvođača Global Vox.[4]

Instalirani učinak radijatora se dobiva sljedećom formulom:

$$Q_{rad} = n_{\check{c}l} \cdot q_{\check{c}l} \quad (3.1.)$$

Gdje je,

$Q_{rad}$  – toplinski učinak radijatora [W]

$n_{\check{c}l}$  – broj članaka radijatora

$q_{\check{c}l}$  – učinak jednog članka radijatora [W/članku]

Rezultati su prikazani u tablici 3.1. za zone grijane na centralno grijanje:

Tablica 3.1. Toplinski učinak radijatora

Zona	Visina članka [mm]	Broj članka	Učinak članka [W]	Ukupni učinak [kW]
Kat	800	57	181	10,3
	600	19	146	2,8
Apartman	800	6	181	1,1
	700	5	164	0,8
	600	12	146	1,8

Grijanje i hlađenje kuće je prikazano u tablici 3.2.:

Tablica 3.2. Učinci grijanja i hlađenja u cijeloj kući

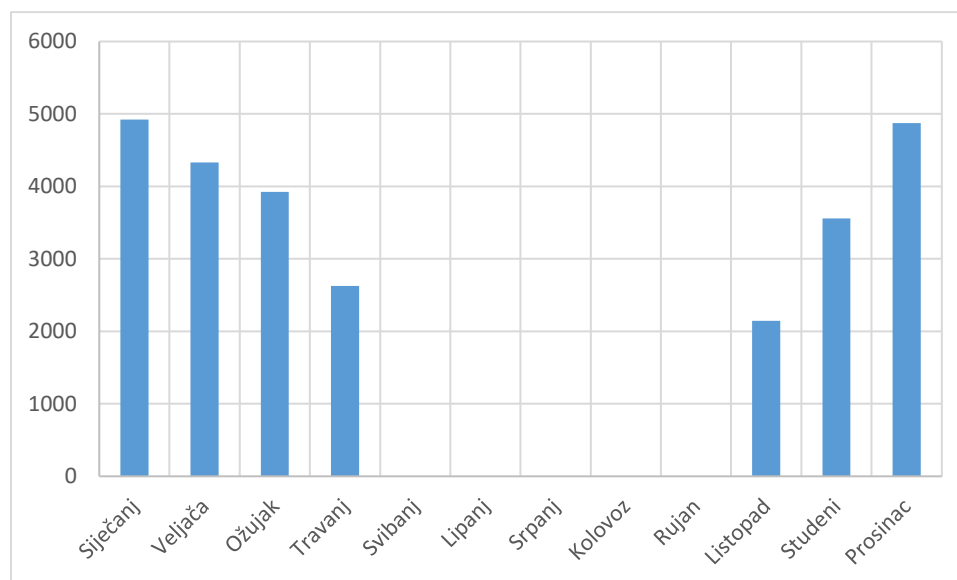
Zona	Grijanje	Instalirani učinak	Hlađenje	Instalirani učinak
Suteren 1	2 x el. radijatora	2,6 kW	/	/
Suteren 2	/	/	/	/
Apartman	Centralno	3,7 kW	Mono-split uređaj	3,5 kW
Garsonijera	1 x el. radijator	1,3 kW	Prijenosni klima uređaj	1,5 kW
Kat	Centralno	13,1 kW	Mono-split uređaj	3,5 kW
Potkrovlje	Mono-split uređaj	3,8 kW	Mono-split uređaj	3,5 kW

U cijeloj kući se nalaze 3 različita akumulacijska spremnika PTV-a. Dva se nalaze u kotlovnici i oba su volumena 100 L. Jedan od njih se grije na centralno grijanje dok drugi je isključivo grijan elektrootpornim grijačem. Voda se iz njih dovodi kroz cijelu kuću osim u sutereu. Ondje se nalazi treći spremnik volumena 80 L grijan elektrootpornim grijačem.

### 3.2. Usporedba

Nakon odrađene simulacije dobiveni su sljedeći rezultati kroz cijelu godinu. Dobiveni su rezultati samo za grijanje i hlađenje zona te grijanje potrošne tople vode.

Ukupno potrošena energija u toplovodnom kotlu je  $Q_k = 9,5 \cdot 10^7$  kJ, potrošnja tokom godine je prikazan na dijagramu 3.1.



Slika 3.1. Godišnja potrošnja toplinske energije kotla

Vlasnik kuće prije svake sezone grijanja naruči  $10 \text{ m}^3$  drva za potpalu centralnog grijanja. Uz prosječnu gustoću drva od  $\rho = 700 \text{ kg/m}^3$ , rastresitost tereta  $r = 15 \%$  i prosječnu donju ogrijevnu moć drva  $H_d = 15000 \text{ kJ/kg}$  dolazi se do rezultata:

$$Q_d = V_{dr} \cdot (1 - r) \cdot \rho \cdot H_d \quad (3.2.)$$

$$Q_d = 10 \cdot (1 - 0,15) \cdot 700 \cdot 15000 = 8,925 \cdot 10^7 \text{ kJ}$$

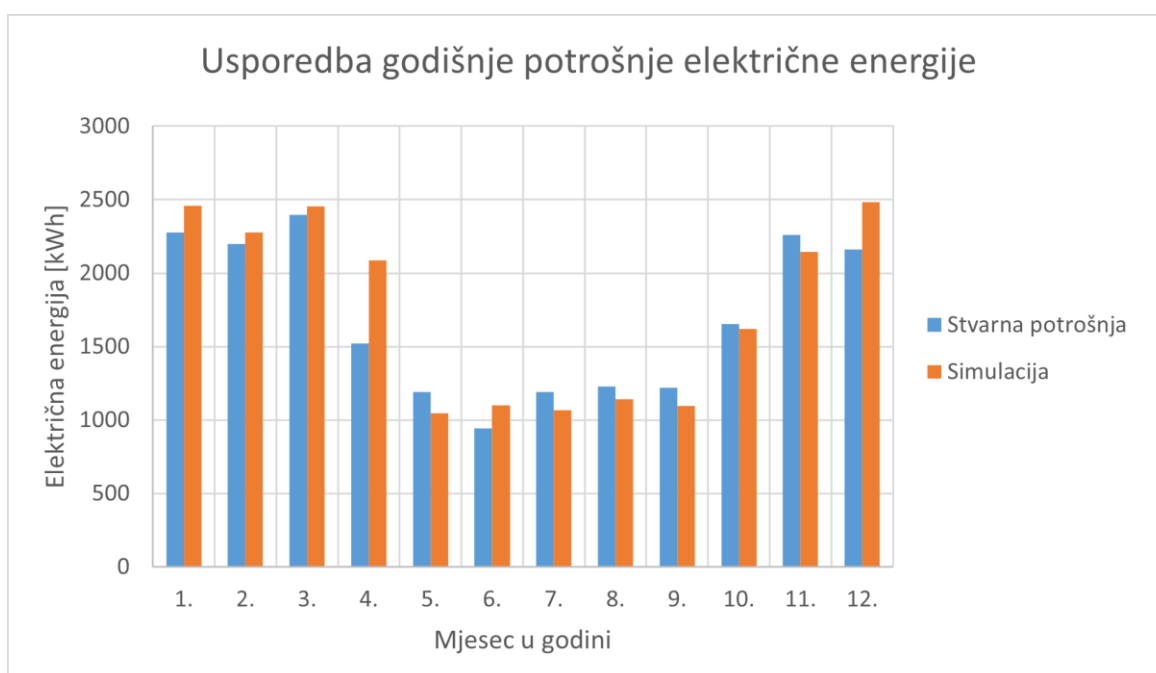
U usporedbi s dobivenim vrijednostima iz simulacije razlika je za 6,4 % u korist rezultata simulacije, no kako navodi vlasnik kuće pred kraj sezone grijanja dogodi se da ponestane drva što može značiti da je računica pogođena.

Ukupno utrošena električna energija u termotehničkom sustavu je  $E_{el} = 16073,93 \text{ kWh}$ .

Što se tiče električne energije godišnje se troši oko 20 200 kWh i izgleda kao velika razlika naspram rezultata iz simulacije. No u simulaciji nisu uzeti u obzir ostali potrošači. U obzir su uzete prosječne potrošnje uređaja i navike njihovih korisnika prema [5,6]. U nastavku su navedeni svi dodatni potrošači:

- Perilica suđa – jedna je prisutna u cijeloj kući, potrošnja 251 kWh
- Perilica rublja – četiri sveukupno u kući, jedna se koristi gotovo svakodnevno (snage  $P = 1100 \text{ W}$ ), ostale su manje i koriste se jednom do dva puta tjedno, ukupna potrošnja 1498 kWh
- Televizori – četiri u kući, svi se koriste podjednako i svi su istoga tipa i veličine, potrošnja 1364 kWh
- Hladnjak – četiri u kući, potrošnja 2628 kWh

Zbroji li se sve ovo na potrošnju iz simulacije dobiti će se ukupna godišnja potrošnja električne energije  $E_{el,uk} = 20971,94 \text{ kWh}$ . Razlika ukupnih zahtjeva električne energije je 3,5% što je zadovoljavajuće, no bolje je prikazati potrošnju kroz cijelu godinu:



Slika 3.2. Usporedba godišnje potrošnje električne energije

Na dijagramu na slici 3.2. prikazana je ukupna potrošnja električne energije za radijatore, grijanje PTV-a i ostalih kućanskih uređaja po mjesecima. Nema prevelikih oscilacija između stvarne potrošnje i one simulirane. Velike razlike su prisutne tijekom ljetnih mjeseci pretpostavljajući zbog pretjeranog korištenja rashladnih uređaja turista tokom boravljenja u kući (povećana potrošnja za 25 – 30%). Druga veća greška je u travnju gdje je simulirana potrošnja puno veća, ali vlasnik kuće navodi da tada nisu imali podstanare cijelo vrijeme pa je bila smanjena potrošnja za grijanje. U nastavku je tablično prikazana usporedba relativnog odstupanja potrošnje električne energije u svakom mjesecu.

*Tablica 3.3. Prikaz mjesečne potrošnje električne energije*

Mjesec	Stvarna potrošnja [kWh]	Potrošnja energije prema simulaciji [kWh]	Relativno odstupanje [%]
Siječanj	2275	2459	7,52
Veljača	2200	2276	3,35
Ožujak	2398	2453	2,26
Travanj	1522	2089	27
Svibanj	1190	1045	-13,9
Lipanj	945	1102	14,25
Srpanj	1189	1065	-11,6
Kolovoz	1227	1141	-7,52
Rujan	1219	1096	-11,25
Listopad	1652	1621	-1,96
Studen	2260	2143	-5,47
Prosinac	2160	2482	12,98
Σ	20236	20971,94	3,5

Dijagram pokazuje da nema prevelikih oscilacija između stvarne potrošnje i one simulirane. Velike razlike su prisutne tijekom ljetnih mjeseci pretpostavljajući zbog pretjeranog korištenja rashladnih uređaja turista tokom boravljenja u kući (povećana potrošnja za 25 – 30%). Druga veća greška je u travnju gdje je simulirana potrošnja puno veća, ali vlasnik kuće navodi da tada nisu imali podstanare cijelo vrijeme pa je bila smanjena potrošnja za grijanje.



### 3.3. Obnova vanjske ovojnice

Obnova će se raditi prema smjernicama tehničkog propisa ministarstva graditeljstva i prostornog uređenja [2]. Navedene vrijednosti će biti smjernice u računanju potrebne debljine izolacije na svakoj vrsti građevnog djela koji je moguće izmijeniti. No prvo je potrebno postaviti formulu po kojoj će se potrebna debljina izračunati. Jednadžba za koeficijent prolaska topline kroz ravnu stijenku glasi:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_v} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_u}} \quad (3.3.)$$

Gdje je,

$U$  – koeficijent prolaza topline kroz krutu stijenku [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]

$\alpha_v$  – koeficijent prijelaza topline s vanjske strane stijenke [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]

$\alpha_u$  – koeficijent prijelaza topline s unutarnje strane stijenke [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]

$\delta_i$  – debljina  $i$ -tog sloja ravne stijenke [m]

$\lambda_i$  – toplinska vodljivost  $i$ -tog sloja ravne stijenke [ $\text{W}/\text{mK}$ ]

Slučajevi koji će se razmatrati:

1. Zamjena ostakljenih elemenata (vrata i prozori) i poboljšanje izolacije u temeljima i vanjskim zidovima (8 cm)
2. Zamjena prozorskih elemenata i poboljšanje izolacije u vanjskim zidovima (8 cm)
3. Zamjena prozorskih elemenata i poboljšanje izolacije u vanjskim zidovima (10 cm)

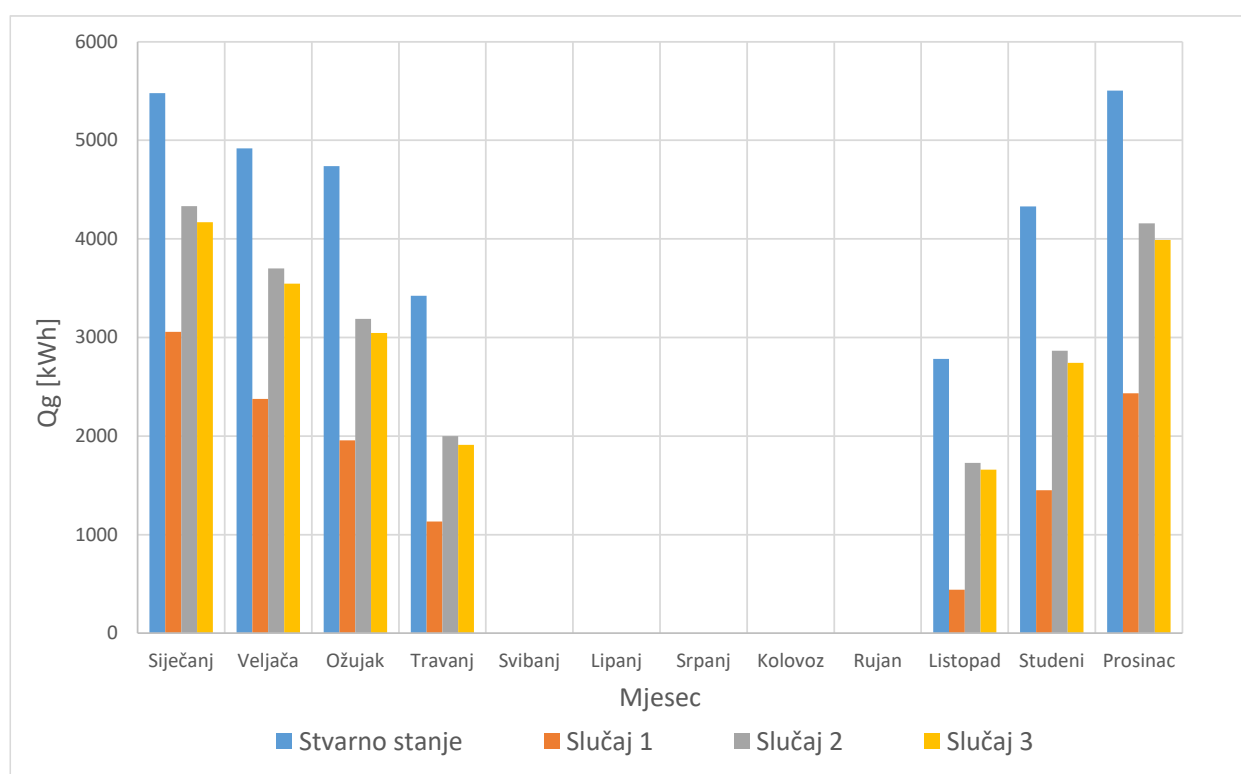
Simulacija se provodi za idealno grijanje tokom cijele godine (8760 h) s vremenskim korakom od jednog sata.

Svi prozori i vrata su zamijenjeni na tip 2001 (dvostruko staklo punjeni argonom) u programu i njihov koeficijent prolaska topline je  $U = 1,4 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$  što zadovoljava [2]. U vanjske zidove i temelje dodao se još jedan sloj površine, a kao izolaciju se stavio ekspanzirani polistiren (EPS) prosječnih vrijednosti:

- Gustoća:  $\rho = 25 \text{ kg}/\text{m}^3$
- Toplinska vodljivost:  $\lambda = 0,038 \text{ W}/\text{mK}$
- Specifični toplinski kapacitet:  $c = 1260 \text{ J}/\text{kgK}$

Tablica 3.4. Ukupne potrebe za toplinom kroz cijelu godinu za sve slučajeve

Mjesec	Stvarno stanje [kW]	Slučaj 1 [kW]	Slučaj 2 [kW]	Slučaj 3 [kW]
Siječanj	5480	3057	4331,5	4168,5
Veljača	4919,1	2375,8	3701,3	3545,3
Ožujak	4738,5	1957,4	3188,7	3046,8
Travanj	3422,5	1133,9	2000,5	1912,16
Svibanj	0	0	0	0
Lipanj	0	0	0	0
Srpanj	0	0	0	0
Kolovoz	0	0	0	0
Rujan	0	0	0	0
Listopad	2781,5	442,7	1728,1	1659,3
Studeni	4329,4	1450,3	2741,4	2741,4
Prosinac	5505,3	2432,8	3988,1	3988,1
$\Sigma$	31176,2	12849,9	21972,9	21061,5



Slika 3.3. Ukupna potreba za toplinom kroz cijelu godinu

Prema rezultatima iz tablice 3.4. vodljivo je da u svakom slučaju se značajno smanjuje potrošnja toplinske energije za grijanje prostorija. Uspoređujući slučajeve najbolji utjecaj ima dodavanje izolacije u temeljima, skoro 40% na razini cijele godine. Problem je što se kuća radila u vremenima kada nije bilo čvrstih smjernica oko gradnje kuća pa se tada nije mislilo na izoliranje

temelja. Danas se mogu nadograditi temelji i dodati im neku vrstu izolacije ali pitanje je investicije. Iz tog razloga u daljnjem radu se neće razmatrati slučaj s izoliranim temeljom.

### 3.4. Faktor oblika

Oblik zgrade je važan jer o njemu ovise energetske, termotehničke i konstrukcijske zahtjevi. Kako bi se to obilježje moglo prikazati, definiran je faktor oblika zgrade  $f_0$  što je zapravo omjer vanjskog oplošja korisnog dijela zgrade  $A_0$  ( $m^2$ ) i volumena korisnog dijela zgrade  $V_g$  ( $m^3$ ).

$$f_0 = \frac{A_0}{V_g} \quad (3.4.)$$

Faktor oblika utječe na ukupnu potrošnju energije u zgradi. Za isti volumen, povećanje oplošja daje veću vrijednost faktora oblika što ujedno povećava i transmisijske gubitke zbog povećanja površine izmjene topline. 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 biti potrebna bolja toplinska zaštita 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 [2]. Grijani dio zgrade čine šest toplinskih zona na četiri etaže. Kvadrature etaža će se izmjeriti po površini poda, a kako je svaka zona gotovo svoga oblika posebno će se trebati računati za svaku zonu. Volumeni se računaju množenjem kvadrature s visinom stropa koji je u cijeloj kući jednak, osim u potkrovlju gdje će se uzeti prosječna visina stropa. Rezultati su prikazani u tablici 3.3. Oplošje grijanog djela će se izmjeriti pomoću izrađenog modela pošto je geometrija jako komplicirana da se pojednostavi proces. Ukupno oplošje grijanih prostorija je  $A_0 = 496,8 m^2$ .

Tablica 3.5. Volumen grijanih prostorija

Zona	Površina [ $m^2$ ]	Visina [m]	Volumen [ $m^3$ ]
Suteren 1	52	2,3	119,6
Suteren 2	52	2,3	119,6
Apartman	50	2,3	115
Garsonijera	31	2,3	71,3
Kat	102	2,3	234,6
Potkrovlje	81	1,8	145,8
$\Sigma$			805,9

Uvrštavanjem u formulu (3.4.):

$$f_0 = \frac{A_0}{V_g} = \frac{496,8}{805,9} = 0,616 \text{ m}^{-1}$$

Prema tablici 9 iz [2] potrebno je izračunati maksimalnu potrebu za toplinskom energijom za obiteljske kuće u primorskoj Hrvatskoj:

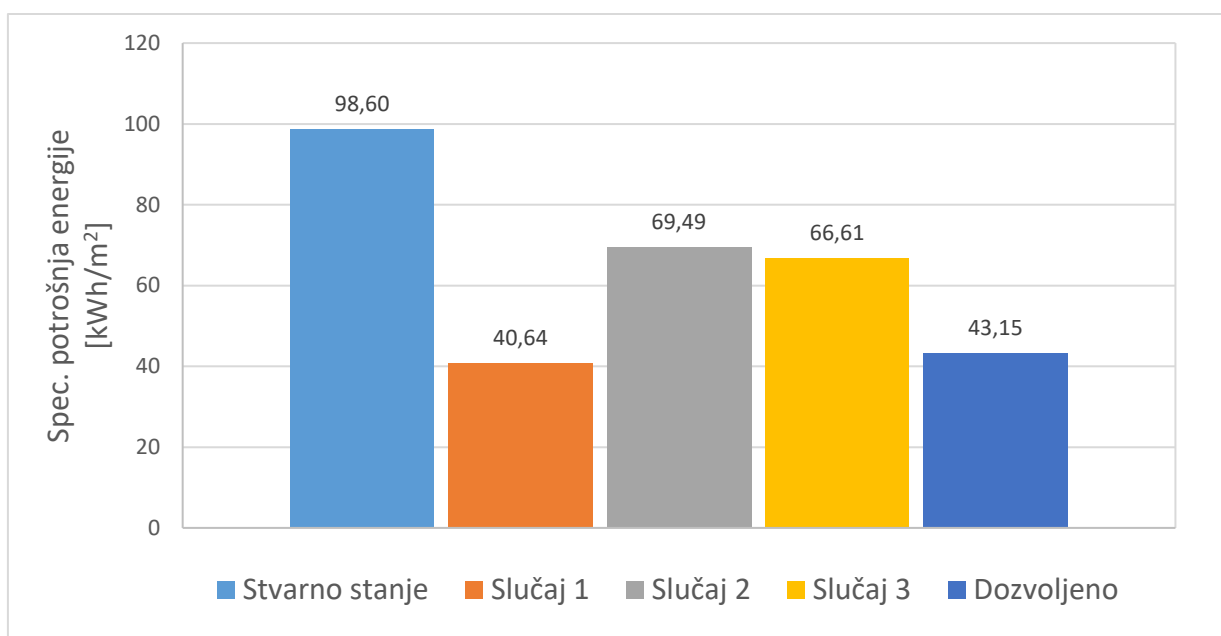
Najveća dopuštena vrijednost za specifičnu korisnu energiju  $Q''_{H,nd}$  kod postojeće zgrade ( $0,2 < f_0 < 1,05$ ):

$$Q''_{H,nd} = 19,24 + 38,82 \cdot f_0 \text{ [kWh/m}^2\text{]} \quad (3.5.)$$

$$Q''_{H,nd} = 19,24 + 38,82 \cdot 0,616 = 43,15 \text{ kWh/m}^2$$

Tablica 3.6. Ukupne energije i specifične energije

Slučaj	Stvarno stanje [kW]	Slučaj 1 [kW]	Slučaj 2 [kW]	Slučaj 3 [kW]
$Q_{gr}$ [kW]	31176,2	12849,9	21972,9	21061,5
$Q_{gr}/A_{uk}$ [kW/m <sup>2</sup> ]	98,6	40,6	69,5	66,6
$Q''_{H,nd}$ [kW/m <sup>2</sup> ]	43,15			



Slika 3.4. Ukupne specifične energije za slučajeve iz tablice 3.6.

Iz dijagrama sa slike 3.4. je vidljivo da jedini slučaj koji zadovoljava uvjete propisa je slučaj s izoliranim temeljima, no ranije je rečeno kako se taj slučaj neće razmatrati radi pitanja investicijskih troškova. Ostali dva slučaja su veliki iskorak naspram trenutnog stanja po potrošnji energije za grijanje, trećinu manje nego trenutno stanje. Stoga će se dalje razmatrati slučaj s obnovom vanjske ovojnice u slučaju 3, s vanjskom izolacijom od 10 cm.

### 3.5. Projektni učinci

U ovom poglavlju će biti određeni projektni učinci za grijanje i hlađenje u svakoj prostoriji pri najnepovoljnijim vanjskim uvjetima u režimu grijanja i hlađenja. Za svaki režim treba prilagoditi simulaciju tako da se ponavlja periodički najnepovoljniji dan u godini. Za grijanje je to:

- Konstantna temperatura vanjskog zraka postavljena na vanjsku projektnu temperaturu
- Konstantna temperatura tla
- Sunčevo zračenje nije prisutno
- Nisu prisutni unutarnji dobici

Najnepovoljniji dan u godini za hlađenje je:

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

Iz tablice s meteorološkim parametrima s vrijednostima za projektiranje prema Tehničkom propisu bitne su tri parametra vanjskog zraka: [7]

- Zimska projektna temperatura:  $\theta_{\min ym} = -7,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Ljetna projektna temperatura:  $\theta_{\max ym} = -7,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Projektna relativna vlažnost tokom ljeta:  $\varphi_{p0,4} = 97\%$

Sad je potrebno samo prilagoditi simulaciju i izvući sve potrebne učinke za svaku zonu:

*Tablica 3.7. Projektni učini po zonama*

Zona	Trenutno stanje		Slučaj 1		Slučaj 3	
	Grijanje [kW]	Hlađenje [kW]	Grijanje [kW]	Hlađenje [kW]	Grijanje [kW]	Hlađenje [kW]
Suteren 1	3,4	1,25	1,67	1,5	2,07	1,28
Suteren 2	2,58	1,88	1,46	1,75	1,5	1,63
Apartman	3,34	1,66	2,44	1,64	2,34	1,44
Garsonijera	2,5	1,46	1,46	1,32	2,44	1,54
Kat	5,13	4,22	3,5	3,96	3,42	3,92
Potkrovlje	2,35	2,36	2,3	2,46	2,3	2,46
$\Sigma$	19,3	12,83	12,83	12,63	14,07	12,27

#### 4. Tehnički sustavi grijanja, hlađenja i pripreme potrošne tople vode

U ovom poglavlju analizirati će se svi elementi novog tehničkog sustava prema tehničkim normama. Kuća će se analizirati u varijanti sa samo obnovljenom ovojnicom, bez nadogradnje izolacije u temeljima, jer će investicijski troškovi inače biti preveliki i dobiti će biti neprimjetni.

Stari termotehnički sustav je zastario i manjka mu načina regulacije tako da će se gotovo cijeli sustav revidirati krećući od izvora do elemenata predaje te uz proširenje sustava na vanjski bazen.

Režimi temperatura polazne i povratne vode će biti 45/40°C za grijanje i 7/12°C za hlađenje.

Složiti će se tri različita slučaja sustava:

Slučaj	Sustav grijanja	Sustav hlađenja	Priprema PTV	Grijanje bazena
S1	Ventilacijski konvektori Dizalica topline zrak-voda	Ventilacijski konvektori Dizalica topline zrak-voda	Spremnik 500 L Dizalica topline zrak-voda	Dizalica topline zrak-voda
S2	Ventilacijski konvektori Dizalica topline zrak-voda	Ventilacijski konvektori Dizalica topline zrak-voda	Spremnik 500 L Dizalica topline zrak-voda + Solarni kolektori	Dizalica topline zrak-voda
S3	Ventilacijski konvektori Dizalica topline zrak-voda	Ventilacijski konvektori Dizalica topline zrak-voda	Spremnik 500 L Dizalica topline zrak-voda + Solarni kolektori	Solarni kolektori

U svakom slučaju će se ugraditi će se dvije dizalice topline koje će tokom zime obije grijati kuću i potrošnu toplu vodu, a tokom ljeta jedna će se koristiti za hlađenje kuće i druga za grijanje potrošne tople vode i bazenske vode.

Nakon što su napravljene analize potrebne topline za grijanje i hlađenje promatrane zgrade, moguće je složiti sustav grijanja i hlađenja kuće i pripreme potrošne tople vode, analizirati podatke i investicijske troškove te pronaći rješenje koje najbolje zadovoljava potrebama i omogućuje manju potrošnju energije. Simulacija će se sastojati od sljedećih elemenata:

- Spremnik potrošne tople vode
- Dizalica topline
- Ventilacijski konvektori
- Termostati grijanja i hlađenja
- Razdjelnik

- Sabirnik
- Cjevovod
- Cirkulacijska pumpa
- Bazen
- Solarni kolektori
- Izmjenjivač topline

#### 4.1. Sustav pripreme potrošne tople vode

Kod projektiranja sustava za zagrijavanje potrošne tople vode važno je poznavati ukupnu dnevnu potrošnju i dinamiku potrošnje. U planu je ugraditi bivalentni spremnik jer će se ugraditi i solarni paneli za grijanje PTV-a. Stoga niži spiralni izmjenjivač topline je spojen na solarne panele, a viši je spojen na sustav centralnog grijanja.

Započinje se izračunom potrebne toplinske energije za zagrijavanje vode i ono se može odrediti po normativu HRN EN 15316-3-1:2008:

- Stambene zgrade:

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

Gdje je,

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

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

$Q_W$  – toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a u promatranom periodu [kWh]

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

- $Q_{W,A,a} = 12,5$  kWh/ $m^2$ a za zgrade do 3 stambene jedinice
- $Q_{W,A,a} = 16$  kWh/ $m^2$ a za zgrade s više od 3 stambene jedinice

Za ovaj slučaj formula za potrebnu toplinsku energiju u jednodnevnom periodu glasi:

$$Q_W = \frac{16}{365} \cdot 368,16 \cdot 1 = 16,14 \text{ kWh}$$

Prema ovome dnevna potrošnja vode:

$$V_d = \frac{Q_W}{c_w \cdot \Delta\vartheta} = \frac{16,14}{1,163 \cdot (40 - 13,5)} = 524 \text{ l dnevno}$$

Gdje je,

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

$\Delta\vartheta$  – razlika temperatura vode na ulazu i izlazu iz izmjenjivača [K]



Sljedeće je potrebno odrediti volumen spremnika za potrebe cijelog kućanstva. Kuća ima 5 stambenih jedinica i svaka je opremljena s tuš kabinom. Može se pretpostaviti da se u jednom trenutku koristi svih 5 tuševa što daje ukupnu vršnu potrošnju od 250 l vode na sat. Trenutačni učinak potreban za grijanje te količine vode:

$$Q_g = 250 \cdot \frac{\Delta\vartheta \cdot c_w}{3600} \quad (4.2.)$$

$$Q_g = 250 \cdot \frac{(40 - 13,5) \cdot 4,19}{3600} = 7,71 \text{ kW}$$

Izračunati učinak za grijanje tople vode je velik i voda se neće zagrijavati samo kada je ona potrebna jer se sustav ne projektira s protočnim bojlerom ili izmjenjivačem topline, nego s akumulacijskim spremnikom. U tom slučaju treba uzeti u obzir vrijeme zagrijavanja vode i vrijeme pogona (vršne potrebe). Na taj način će se smanjiti trenutni potrebni učinak zagrijavanja na niži učinak:

$$Q_{g,PTV} = \frac{Q_g \cdot z_b}{z_a + z_b} \quad (4.3.)$$

$$Q_{g,PTV} = \frac{7,71 \cdot 2}{2 + 2} = 3,855 \text{ kW} \approx 3,9 \text{ kW}$$

Gdje je,

$Q_{g,PTV}$  – trenutni učinak

$z_a = 2 \text{ h}$  - vrijeme zagrijavanja

$z_b = 2 \text{ h}$  - vrijeme pogona

Preostaje izračunati samo kapacitet akumulacijskog spremnika:

- Kapacitet:

$$C = z_a \cdot Q_{g,PTV} \quad (4.4.)$$

$$C = 2 \cdot 3,855 = 7,71 \text{ kWh}$$

- Volumen spremnika:

$$V_s = \frac{C \cdot b}{c \cdot \Delta\vartheta} \quad (4.5.)$$

$$V_s = \frac{7,71 \cdot 1,1}{1,163 \cdot (40 - 25)} = 0,486 \text{ m}^3$$

Minimalni volumen spremnika treba biti 486 litara, a sljedeći veći standardni volumen je 500 litara. Odabran je spremnik proizvođača Viessmann Vitocell 300-B, tip EVBA-A. Dimenzije i karakteristike spremnika [8]:

- Volumen:  $V_s = 500 \text{ L}$
- Masa praznog spremnika:  $m = 123 \text{ kg}$

- Vanjski promjer s izolacijom:  $d_v = 1022 \text{ mm}$
- Visina spremnika:  $v = 1852 \text{ mm}$
- Priklučci: 1 R (vanjski navoj)
- Volumen ogrjevnog vode u izmjenjivačima: gornji  $V = 10 \text{ L}$ ; donji  $V = 12,9 \text{ L}$
- Površina cijevnog izmjenjivača: gornji  $A = 1,3 \text{ m}^2$ ; donji  $A = 1,7 \text{ m}^2$
- Maksimalni radni tlak:  $p = 10 \text{ bar}$

Kako bi odabrani spremnik bio ispravno modeliran u simulaciji potrebno je odrediti geometrijske karakteristike cijevnih izmjenjivača topline. Ovi podaci će se trebati pretpostaviti ili izračunati te usporediti rezultate iz simulacije s dostupnim podacima proizvođača, a to su ulazna i izlazna temperatura tople vode i ulaznom temperaturom ogrjevnog vode te njihovi maseni protoci. Jedna od potrebnih vrijednosti za model spremnika jest dužina cijevi u spirali i njezin promjer.

Priključak svih cijevi je čelična cijev veličine 1" sljedećih karakteristika:

- Vanjski promjer:  $d_v = 33,7 \text{ mm}$
- Debljina stijenke:  $s = 1 \text{ mm}$
- Unutarnji promjer:  $d_u = 31,7 \text{ mm}$

Duljina cijevi izmjenjivača topline:

$$l = \frac{A}{d_v \cdot \pi} \quad (4.6.)$$

$$l = \frac{1,3}{0,0337 \cdot \pi} = 12,28 \text{ m}$$

$$l = \frac{1,7}{0,0337 \cdot \pi} = 16,06 \text{ m}$$

Provjera volumena:

$$V = \frac{d_u^2 \cdot \pi}{4} \cdot l \quad (4.7.)$$

$$V = \frac{0,0317^2 \cdot \pi}{4} \cdot 12,28 = 0,0097 = 9,7 \text{ L}$$

$$V = \frac{0,0317^2 \cdot \pi}{4} \cdot 16,06 = 0,0127 = 12,7 \text{ L}$$

Iz dodatnih podataka je poznato da je promjer spremnika bez izolacije  $d_{u,spr} = 715 \text{ mm}$  što olakšava pretpostavku promjera spirala u spremniku.

Prema proporcijama na skicama spiralni izmjenjivači se nalaze blizu stijenki spremnika pa se usvaja promjer spirale:  $d_{izm} = 530 \text{ mm}$

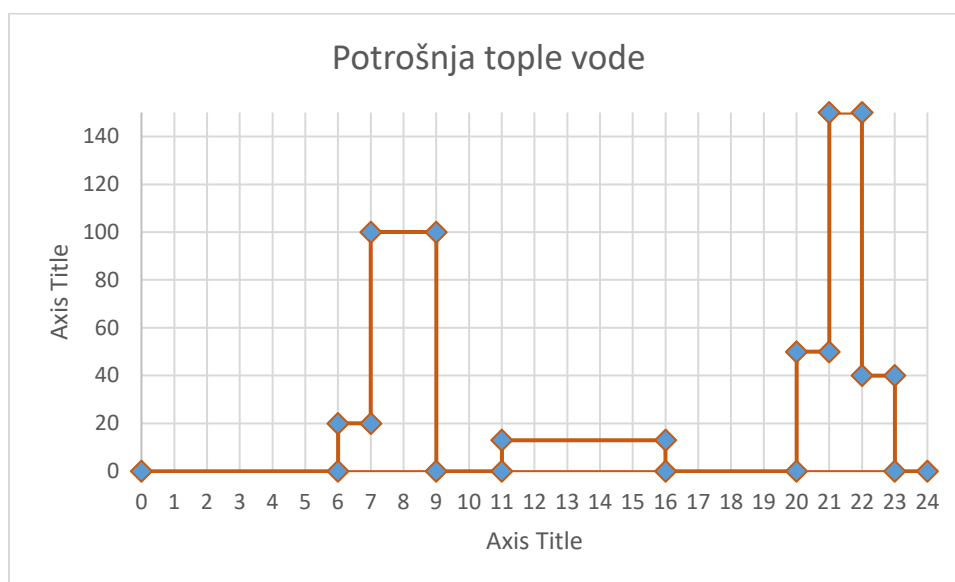
Broj zavoja spirale:

$$n_{sp} = \frac{l}{d_{izmj} \cdot \pi} \quad (4.8.)$$

$$n_{sp} = \frac{9,7}{0,53 \cdot \pi} = 6$$

$$n_{sp} = \frac{12,7}{0,53 \cdot \pi} = 8$$

Prema skicama proizvođača u gornjem izmjenjivaču ima 7 punih zavoja dok u donjem izmjenjivaču ima 9 punih zavoja što su mala odstupanja zbog manjih vrijednosti volumena u cijevima, no dodatno potvrđuje proračun. Model u simulaciji je kalibriran prema stvarnim podacima iz brošure proizvođača. Profil potrošnje vode ukupne vrijednosti od 525 litara dnevno prikazan je u nastavku. (Slika 4.1.)

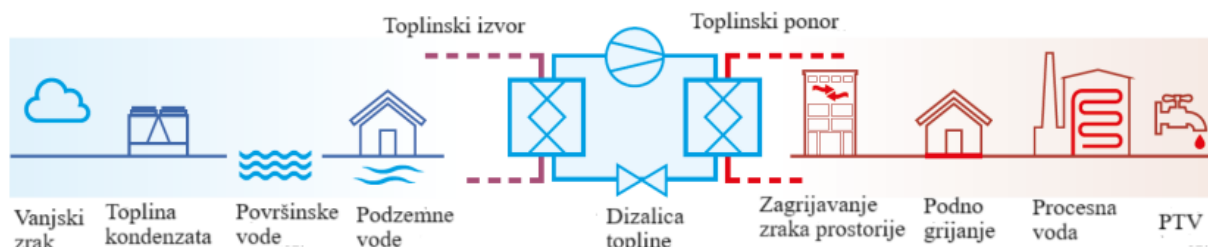


Slika 4.1. Profil potrošnje tople vode u danu

Za simulaciju akumulacijskog spremnika tople vode koristiti će se model Type 534: Vertical Cylindrical Storage Tank With Immersed Heat Exchanger iz TESS-ove biblioteke [9]. Riječ je o cilindričnom vertikalnom spremniku s uronjenim spiralnim izmjenjivačem topline. Model je modeliran tako da je spremnik podijeljen u čvorove što omogućava stratifikaciju tople vode u spremniku. Svaki čvor ima konstantni volumen i jednako raspodijeljenu temperaturu. Svaki čvor je u dodiru sa susjednim čvorovima i međusobno djeluju putem izmjene topline provođenjem ili prijenosom mase. Voda u spremniku će se grijati pomoću dva izmjenjivača topline, niži pomoću solarnih kolektora i viši pomoću centralnog grijanja (dizalica topline).

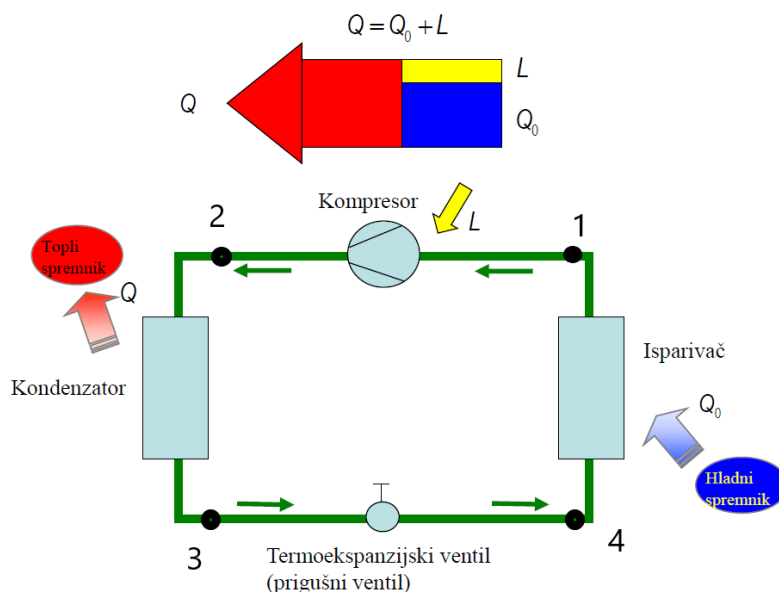
## 4.2. Dizalica topline

Dizalica topline je svaki uređaj koji podiže toplinu s niže na višu energetska razinu, temperaturu, uz uloženi mehanički rad s ciljem korištenja topline više razine. [10,11] Cilj dizalice topline jest korištenje topline izmijenjene u visokotemperaturnom izmjenjivaču (kondenzatoru), primjerice za grijanje. Rashladni uređaj s druge strane koristi toplinu izmijenjenu u niskotemperaturnom izmjenjivaču (isparivaču). Toplinski spremnici različitih temperaturnih razina pritom su toplinski izvor i toplinski ponor. Toplinski izvor je medij niže temperaturne razine kojem se odvodi toplina, a toplinski ponor medij više temperaturne razine kojem se dovodi toplina. Izvor topline za dizalicu topline može biti zrak, tlo, voda, ili kao kod kaskadnih sustava, toplina od nekog drugog rashladnog sustava ili bilo koja raspoloživa otpadna toplina. Primjer za toplinske izvore i ponore prikazan je na slici 4.2.



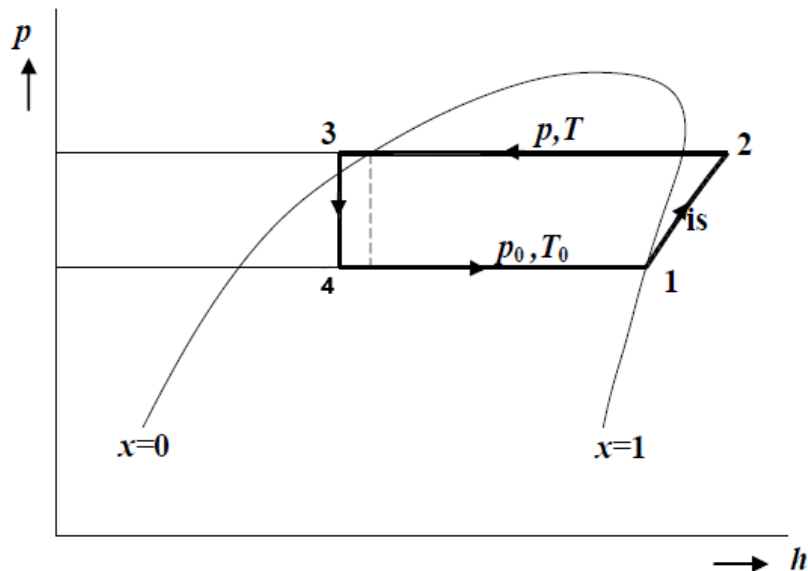
Slika 4.2. Prikaz toplinskih izvora (plavo) i ponora (crveno) za dizalicu topline [10]

Osnovni dijelovi dizalice topline su kondenzator, isparivač, kompresor, prigušni ventil i radna tvar. Na slici 4.3. je prikazan pojednostavljeni crtež dizalice topline.



Slika 4.3. Shema dizalice topline [11]

Na slici 4.4. prikazan je h-p dijagram radnog procesa dizalice topline.



Slika 4.4. *p-h* dijagram kružnog procesa dizalice topline [11]

Dizalica topline ima 4 specifične točke u svom kružnom procesu:

1-2 – pregrijana para radne tvari izlazi iz isparivača i ulazi u kompresor gdje se komprimira na tlak kondenzacije, a samim time energija (toplina) i temperatura koja je viša od okoliša

2-3 – radna tvar, i dalje u parovitom prolazi kroz kondenzator pri konstantnim tlakom i predaje toplinu toplom spremniku, zraku u prostoriji koja se grije. Radna tvar se tokom ovog procesa pretvara u tekućinu i poželjno je da se pothlađuje par stupnjeva Celzijusa.

3-4 – radna tvar prolazi kroz prigušni ventil gdje se prigušuje s višeg na niži tlak. Ovim procesom joj pada i temperatura.

4-1 – radna tvar prolazi kroz isparivač gdje na sebe preuzima  $q$  u iz hladnog spremnika, vanjski zrak. U ovom slučaju temperatura radna tvar pada ispod temperature medija od koje preuzima energiju, zato je moguće izvlačiti toplinu iz hladnog zimskog zraka. Ovim procesom se radna tvar u zasićenom području zagrijava i isparava.

Za rad dizalice topline potrebna je električna energija. Bitno je isto tako da dizalica topline proizvedenu energiju ima značajno veću nego primarnu energiju koja je bila potrebna za rad samoga uređaja, računa se prema izrazu (4.6.).

$$SCOP = \frac{\dot{Q}}{P_{el}} \quad (4.9.)$$

Gdje je:

$SCOP$  – sezonski faktor grijanja

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

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

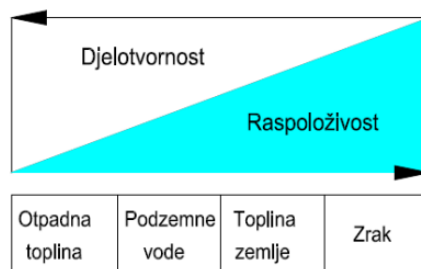
Dizalica topline kako bi bila ekonomična potrebno je zadovoljiti iduće uvjete [10]:

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

Potrebno je imati i na raspolaganju izvore topline za dizalice topline [10]:

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

Na slici 4.5. prikazana je raspoloživost izvora, ali i njihova djelotvornost.



Slika 4.5. Izvori topline za dizalice topline[10]

Uvjeti koji moraju biti zadovoljeni toplinski izvori su [10]:

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

#### 4.2.1. Podjela dizalica topline s obzirom na toplinski izvor

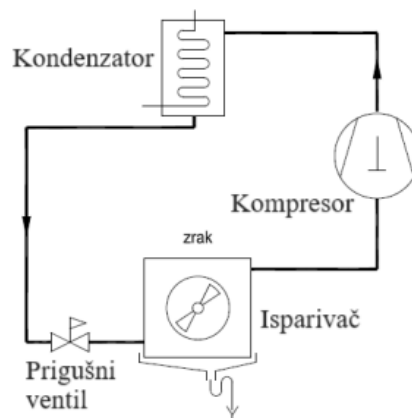
Dizalice topline dijele se u tri skupine s obzirom na toplinski izvor [10]:

- dizalice topline tlo – voda -kao toplinski izvor koriste se slojevi tla

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

Jedina dizalica topline koja će se promatrati je zrak-voda jer je zrak najpristupačniji izvor i radi se o primorskoj klimi gdje su zime umjerene.

Zrak kao medij je najveći i najpristupačniji spremnik topline za dizalice topline. Jedan od problema je što pri nižim temperaturama je kritično područje zraka zbog udjela vlage i dolazi do zamrzavanja isparivača, iako u današnje vrijeme novije dizalice temperature mogu raditi do vrlo niskih temperatura vanjskog zraka (od -25 °C). Drugi problem, kako je medij zrak, da pri radu dizalice topline se stvara buka, za to je potrebno napraviti zvučnu izolaciju ili ju postaviti na mjesto gdje buka neće ometati okolinu. Potrebno je pri dimenzioniranju ne postaviti dizalicu topline na puno opterećenje, odnosno najnepovoljniju radnu točku. Također loša strana zraka kao izvora je da su varijacije njegove temperature, gdje utječe na faktor grijanja dizalice topline. Primjer jedne dizalice topline zrak – voda prikazano je na slici 4.6.[10]



Slika 4.6. Dizalica topline zrak – voda

#### 4.2.2. Odabir dizalice topline

Mora se odabrati dizalica topline koja može podnijeti maksimalne projektne učine za cijelu kuću, čije su vrijednosti učinka grijanja  $Q_{gr} = 14,07$  kW i hlađenja  $Q_{hl} = 12,27$  kW. Također je potrebno uračunati i učinak grijača PTV-a koji iznosi  $Q_{g,PTV} = 3,9$  kW što znači da ukupna potrebni učinak grijanja je  $Q_{gr,uk} = 17,97$  kW. Temperaturni režim grijanja je 45/40/22°C što znači temperatura polazne vode je 45°C, a povratne 40°C dok se zone griju na 22°C. Temperaturni režim hlađenja je 7/12/26°C što znači temperatura polazne vode je 7°C, a povratne 12°C dok se zone hlade na 26°C.

Odabiru se dvije dizalice topline ANKI 40 proizvođača Aermec. Razlog zašto se odabiru dvije iste je ako se uzme jedna dizalica biti će potrebno spojiti kuću na trofaznu struju što nije isplativo. Ovo su reverzibilne dizalice topline zrak-voda što znači da mogu raditi u režimu grijanja i hlađenja. Pojam zrak-voda znači da tokom režima grijanja uzima toplinu iz okolnog zraka i predaje ju ogrjevnoj vodi, a tokom režima hlađenja se događa obrnuta situacija. Punjene su radnom tvari R410A. Maksimalna polazna temperatura vode je 60°C. Prikazani učinci na ulazima u kondenzator i isparivač su prikazani za razliku temperatura  $\Delta\vartheta = 5^\circ\text{C}$  Sve karakteristike uređaja su dane u nastavku:

Tablica 4.1. Karakteristike dizalice topline u režimu grijanja

Temp. vanjskog zraka [°C]	Temperatura vode na ulazu u kondenzator [°C]								
	30			40			50		
	Q <sub>h</sub> [kW]	COP	P <sub>el</sub> [kW]	Q <sub>h</sub> [kW]	COP	P <sub>el</sub> [kW]	Q <sub>h</sub> [kW]	COP	P <sub>el</sub> [kW]
-15	4	1,8	2,2	2,8	1,1	2,6	3,7	1,2	3
-10	5,1	2,2	2,3	4,8	1,7	2,8	4,7	1,5	3,2
-5	6	2,5	2,4	5,7	2	2,9	5,5	1,7	3,3
0	6,7	2,8	2,4	6,4	2,2	2,9	3,0	0,8	3,4
5	8,4	3,4	2,5	8	2,7	3	7,7	2,2	3,5
10	10,8	4,2	2,6	10,3	3,3	3,1	9,9	2,75	3,6
15	12,1	4,5	2,7	11,5	3,6	3,2	11,1	3	3,7
20	12,9	4,8	2,7	12,3	3,7	3,3	11,9	3,1	3,8

Tablica 4.2. Karakteristike dizalice topline u režimu hlađenja

Temp. vanjskog zraka [°C]	Temperatura vode na ulazu u isparivač [°C]											
	10			12			16			20		
	Q <sub>c</sub> [kW]	EER	P <sub>el</sub> [kW]	Q <sub>c</sub> [kW]	EER	P <sub>el</sub> [kW]	Q <sub>c</sub> [kW]	EER	P <sub>el</sub> [kW]	Q <sub>c</sub> [kW]	EER	P <sub>el</sub> [kW]
20	10,2	3,9	2,6	11	4,2	2,6	12,6	4,7	2,7	14,2	5,1	2,8
25	9,6	3,6	2,7	10,4	3,7	2,8	11,9	4,1	2,9	13,4	4,6	2,9
30	9,1	3,1	2,9	9,8	3,4	2,9	11,2	3,7	3	12,6	4,1	3,1
35	8,5	2,7	3,1	9,2	3	3,1	10,5	3,3	3,2	11,9	3,6	3,3
40	7,9	2,5	3,2	8,6	2,6	3,3	9,8	3	3,3	11,1	3,3	3,4

Dizalica topline je simulirana modelom Type 941: Air-to-Water Heat Pump iz TESS biblioteke [6]. Model se bazira na mapi efikasnosti učinka i električne snage. Mape efikasnosti su spremljene kao dvije tekstualne datoteke za režim grijanja i hlađenja posebno. Vrijednosti učinka



i snage se prikazuju kao relevantne vrijednosti u odnosu na odabranu projektну точку. Na taj način se snage i učinci određuju u odnosu na projektne uvjete.

### 4.3. Ventilatorski konvektori

Prema tablici projektnih učina iz četvrtog poglavlja potrebno je odrediti količinu i snagu ventilokonvektora za svaku stambenu jedinicu. Odabrani su Aermec Omnia slim ventilokonvektori zbog svojih malih dimenzija i relativno malih učina po jedinici. Potrebno je odrediti za svaki prostor količinu i vrstu ventilokonvektora. Koristiti će se tri različita tipa ventilokonvektora prikazanim u tablici 4.3.

Tablica 4.3. Svojstva ventilokonvektora

Karakteristike konvektora		Grijanje		Hlađenje		
Tip konvektora	$m_z$ [m <sup>3</sup> /h]	$Q_g$ [W]	$m_w$ [m <sup>3</sup> /h]	$Q_{h,uk}$ [W]	$Q_{h,osj}$ [W]	$m_w$ [m <sup>3</sup> /h]
ULS10	47	206	0,016	226	167	0,043
	86	398	0,03	437	327	0,083
	115	563	0,043	618	474	0,118
ULS20	87	392	0,03	430	317	0,082
	158	752	0,057	826	618	0,157
	210	1056	0,08	1159	889	0,221
ULS30	111	505	0,04	554	409	0,105
	203	977	0,074	1073	802	0,204
	270	1373	0,104	1507	1156	0,287

Snage su računane s temperaturama 45/40/22 °C u režimu grijanja i 7/12/26 °C u režimu hlađenja, te za svaku od tri dostupne brzine vrtnje ventilatora. Za potrebe računanja koristiti će se srednja brzina vrtnje ventilatora. Iz podataka o potrebnom učinku za grijanje i učinku jednog ventilokonvektora izračunava se potreban broj ventilokonvektora za zonu grijanja po formuli:

$$n_{i,VK} = \frac{\dot{Q}_z}{\dot{Q}_{i,ven}} \quad (4.10.)$$

Gdje je,

$n_{i,VK}$  – broj ventilokonvektora

$\dot{Q}_z$  – projektni učinak grijanja zone [W]

$\dot{Q}_{i,ven}$  – učinak grijanja/hlađenja ventilokonvektora [W]

Potreban broj ventilokonvektora za svaku grijanu zonu:

Tablica 4.4. Raspored ventilokonvektora po zonama

Zona	Broj prostorija	Tip konvektora	Potreban učinak grijanje/hlađenje [W]	Broj konvektora	Instalirani učinak [W]
Suteren 1	3	ULS20	2070/1280	2	2112/2318
Suteren 2	3	ULS20	1500/1630	2	2112/2318
Garsonijera	3	ULS30	2440/1540	2	4119/3014
Apartman	4	ULS10	2340/1440	5	2815/3090
Kat	6	ULS10	3420/3920	10	5630/6180
Potkrovlje	4	ULS20	2300/2460	3	3168/3477

U zonama Suteren 1 i 2 će biti usvojeno po dva uređaja tipa ULS20 koji će bez problema pokriti potrebno grijanje. U Garsonijeri će biti usvojeno dva uređaja tipa ULS30 zbog velike potražnje za učinkom ali i malim prostorom. U zone Apartman i Kat će se ugraditi najmanji ventilokonvektori tipa ULS10 iz razloga što su zone imaju više manjih prostorija, stoga je usvojeno 5 uređaja za Apartman i 10 uređaja za Kat. Ukupno instalirani učinak će zbog toga biti veći nego potreban ali je potrebno zbog bolje raspodjele grijanja toplinskih zona. U zadnjoj zoni Potkrovlje će se ugraditi tri uređaja tipa ULS20 zbog njezine izdužene izvedbe kako bi opet bila zadovoljena pravilna temperaturna ravnoteža u zoni.

### Protok kroz cijevi za razvod vode

Za izračunati ukupni protok potrebno je znati projektni učinak i režim rada sustava. Protoci će se računati za projektne učinke grijanja i hlađenja kako bi se izbjeglo predimenzioniranje cirkulacijske pumpe. Specifična toplina vode se uzima kao  $c_w = 4,187 \text{ kJ/kgK}$ . Protoci prema zonama se usvajaju prema formuli:

$$\dot{m}_i = \frac{\dot{Q}_i}{c_w \cdot \Delta\theta} \quad (4.11.)$$

Gdje je,

$\dot{m}_i$  – maseni protoci [kg/s]

$\dot{Q}_i$  – projektni učinci [kW]

$\Delta\theta$  – razlika temperatura [K]

Tablica 4.5. Protoci po zonama za grijanje i hlađenje

Zona	Protok grijanja [kg/h]	Protok hlađenja [kg/h]
Suteren 1	356	220
Suteren 2	258	280
Garsonijera	420	265
Apartman	402	248
Kat	588	674
Potkrovlje	396	423
$\Sigma$	2420	2110

#### 4.4. Termostat grijanja

U simulaciji je korišten termostat Type 1502: Simple heating thermostat [12] iz TESS biblioteke modela. Termostat radi u dva stupnja, uključeno i isključeno. U ulaznim parametrima se definira željena polazna temperatura ogrjevnice vode koju termostat održava. Radi na principu uključivanja i isključivanja ventilokonvektora na načina da temperatura oscilira oko zadane vrijednosti. Prostorije će se grijati na  $\vartheta_{zr} = 22^{\circ}\text{C}$  i vrijednost intervala je  $\Delta\vartheta = 2^{\circ}\text{C}$ . Prema tome kada temperatura prostorije padne ispod  $21^{\circ}\text{C}$  kontrolni signal je 1, a kad temperatura dostigne gornju granicu od  $23^{\circ}\text{C}$  kontrolni signal prelazi u 0. Jedan termostat se stavlja i na polazni vod ogrjevnice vode koji održava temperaturu vode na ulazu  $\vartheta_w = 45^{\circ}\text{C}$ . Također postoji kontrolni signal kada će se koristiti termostat, a to je tokom zimskog režima rada, od listopada do svibnja.

#### 4.5. Termostat hlađenja

U simulaciji je korišten termostat Type 1503: Simple cooling thermostat [12] iz TESS biblioteke modela i sličan je onome za grijanje. Termostat radi u dva stupnja, uključeno i isključeno. U ulaznim parametrima se definira željena polazna temperatura ogrjevnice vode koju termostat održava. Radi na principu uključivanja i isključivanja ventilokonvektora na načina da temperatura oscilira oko zadane vrijednosti. Prostorije će se hladiti na  $\vartheta_{zr} = 26^{\circ}\text{C}$  i vrijednost intervala je  $\Delta\vartheta = 2^{\circ}\text{C}$ . Prema tome kada temperatura prostorije padne ispod  $25^{\circ}\text{C}$  kontrolni signal je 0, a kad temperatura dostigne gornju granicu od  $27^{\circ}\text{C}$  kontrolni signal prelazi u 1. Jedan termostat se stavlja i na polazni vod ogrjevnice vode koji održava temperaturu vode na ulazu  $\vartheta_w = 7^{\circ}\text{C}$ . Također postoji kontrolni signal kada će se koristiti termostat, a to je tokom ljetnog režima rada, od svibnja do listopada.

#### 4.6. Razdjelnik cjevovoda

Razdjelnik služi propuštanju protoka ogrjevnice vode prema ogrjevnim elementima koji griju ili hlade prostorije. Protok se kontrolira termostatom koji šalje signal prema razdjelniku. U simulaciji je korišten model Type 647: Flow Diverte iz TESS-ove biblioteke. [13] Ovo je razdjelni ventil koji može imati do 100 izlaznih tokova fluida. Za njegov ispravan rad potrebno je odraditi ulazni maseni protok i omjere za svaki izlaz. Od ostalih ulaznih podataka potrebna je još ulazna temperatura vode kojoj su sve izlazne temperature jednake.

Maseni protoci na svakom izlazu se računaju kao:

$$\dot{m}_i = \dot{m}_{ul} \cdot f_i \quad (4.12.)$$

Gdje je,

$\dot{m}_i$  – maseni protok na i-tom izlazu [kg/s]

$\dot{m}_{ul}$  – maseni protok na ulazu [kg/s]

$f_i$  – udio protoka na i-tom izlazu

$i$  – indeks izlaznog priključka,  $i \in [1 \dots 100]$

Za potrebu regulacije protoka treba izračunati udjele protoka svake prostorije od ukupnog protoka. Ti udjeli se mogu računati kao omjeri potrebnih učinaka i ukupnog učinka:

$$f_i = \frac{\dot{Q}_i}{\dot{Q}_{uk}} \quad (4.13.)$$

Gdje je,

$\dot{Q}_i$  – toplinski učinak prostorije [kW]

$\dot{Q}_{uk}$  – ukupni toplinski učinak [kW]

$f_i$  – udio protoka na i-tom izlazu

$i$  – indeks izlaznog priključka,  $i \in [1 \dots 100]$

Udjeli po prostorijama od ukupnog protoka:

Tablica 4.6. Udjeli cirkulacijske vode po zonama

Zona	Udio tokom grijanja	Udio tokom hlađenja
Suteren 1	0,115	0,104
Suteren 2	0,084	0,133
Garsonijera	0,136	0,126
Apartman	0,13	0,117
Kat	0,19	0,32
Potkrovlje	0,128	0,2
Bojler	0,217	/

Udjeli protoka su prikazani za toplinske zone Suteran 1 ( $f_{S1}$ ), Suteran 2 ( $f_{S2}$ ), Garsonijera ( $f_{GAR}$ ), Apartman ( $f_{AP}$ ), Kat ( $f_{KAT}$ ), Potkrovlje ( $f_{POT}$ ) i akumulacijski spremnik tople vode ( $f_B$ ). Udjeli se zatim množe sa signalom iz termostata i ako nije potrebno grijanje u toplinskoj zoni onda se voda vraća u sabirnik preko povratnog voda. Povratni vod je ovdje kao osmi izlaz:

$$f_{povr} = 1 - f_{S1} - f_{S2} - f_{GAR} - f_{AP} - f_{KAT} - f_{POT} - f_B \quad (4.14.)$$

#### 4.7. Sabirnik cjevovoda

Funkcija sabirnika je da skuplja i miješa povratnu vodu iz toplinskih zona i akumulacijskog spremnika. Potrebni ulazni podaci su temperatura i protok od svake ulazne struje. Model koji je korišten za simuliranje sabirnika jest Type 649: Flow Mixer iz TESS-ove biblioteke. [13] Model računa protok i temperaturu na izlazu sabirnika preko bilance topline:

$$\dot{m}_{izl} \cdot c_{p,iz} \cdot (T_{izl} - T_{mix}) = \dot{m}_1 \cdot c_{p,1} \cdot (T_1 - T_{mix}) + \dot{m}_2 \cdot c_{p,2} \cdot (T_2 - T_{mix}) + \dots + \dot{m}_i \cdot c_{p,i} \cdot (T_i - T_{mix}) + \dots + \dot{m}_n \cdot c_{p,n} \cdot (T_n - T_{mix}) \quad (4.15.)$$

Gdje je,

$\dot{m}_{izl}$  – maseni protok na izlazu [kg/s]

$\dot{m}_i$  – maseni protok na i-tom ulazu [kg/s]

$i$  – indeks ulaznog priključka,  $i \in [1 \dots 100]$

$n$  – broj ulaza,  $n \in [1 \dots 100]$

$c_p$  – specifični toplinski kapacitet fluida [kJ/kgK]

$T_i$  – temperatura fluida na i-tom ulazu [°C]

$T_{izl}$  – temperatura fluida na izlazu

$T_{mix}$  – temperatura fluida u mješalištu

S obzirom da su temperature mješališta i izlazna temperatura jednake ( $T_{izl} = T_{mix}$ ), vrijede isti specifični toplinski kapaciteti ( $c_{p,1} = c_{p,2} = \dots = c_{p,i}$ ) i suma svakog pojedinačnog masenog protoka daje ukupni maseni protok ( $\dot{m}_{izl} = \sum_{i=1}^n \dot{m}_i$ ) formula za bilancu se može pojednostaviti:

$$T_{izl} = \frac{\sum_{i=1}^n (\dot{m}_i \cdot T_i)}{\dot{m}_{izl}} \quad (4.16.)$$

#### 4.8. Cjevovod

Cjevovod će biti provučen kroz cijelu kuću kroz unutarnje zidove do svih ventilokonvektora i potrebno je odrediti njihovu duljinu i dimenzije cijevi. Smjernice će biti što manji pad tlaka i prihvatljiva brzina vode u cijevima kako bi se izbjegnulo šum cijevi i samim time i zvučnu

nelagodu ukućana. Radi se o dvocijevnom sustavu koji će biti nadograđen na već postojeći cjevovod u zonama Kat i Potkrovlje.

Duljine cijevi po toplinskim zonama su određene prema nacrtima kuće. Pad tlaka i brzina su se računale pomoću ConSoft MultiCalc kalkulatora koji uzima u obzir sve potrebne vrijednosti za izračun željenih vrijednosti. [14]

Tablica 4.7. Dimenzije i duljine cijevi sustava grijanja i hlađenja

Zona	Duljina cijevi [m]	Dimenzije cijevi	Brzina vode [m/s]	Pad tlaka [kPa]
Suteren 1	28	DN12	0,38	5,314
Suteren 2	28	DN12	0,38	5,314
Garsonijera	28	DN15	0,41	6,06
Apartman	38	DN12	0,48	8,07
Kat	58	DN15	0,38	12,55
Potkrovlje	37	DN15	0,36	4,84
Bojler	6	DN25	0,38	0,5
Vertikalni vod	16	DN32	0,34	1,037
$\Sigma$				43,183

Cijevi su napravljene od bakra čija je toplinska vodljivost  $\lambda_c = 370$  W/mK. Sve cijevi su izolirane izolacijom debljine  $s_{iz} = 9$  mm i toplinske vodljivosti  $\lambda_{iz} = 0,035$  W/mK.

#### 4.9. Cirkulacijska pumpa

U simulaciji cirkulacijske pumpe korišten je model Type 654: Constant Speed Pump iz TESS-ove biblioteke. [13] Riječ je o centrifugalnoj pumpi s jednom brzinom koja održava konstantan protok fluida. Model pumpe ne uzima u obzir karakteristike i pad tlaka pri pokretanju i zaustavljanju. Tokom rada pumpa radi na nominalnom protoku trošeći nominalnu snagu. Upravlja se pomoću kontrolnog signala, ako je on veći od 0,5 pumpa je uključena, a ako je manji pumpa je isključena. Izračunati pad tlaka je  $\Delta p = 43,183$  kPa i maseni protok:

$$\dot{m}_{uk} = \frac{\dot{Q}_{uk}}{c_w \cdot \Delta T} \quad (4.17.)$$

$$\dot{m}_{uk} = \frac{17,97}{4,187 \cdot 5} = 0,86 \text{ kg/s} = 3096,8 \text{ kg/h}$$

Odabrana je pumpa proizvođača Grundfos MAGNA3 32-60F za zadane uvjete i njezine su karakteristike:

- Protok:  $\dot{m}_p = 0,86$  kg/s
- Nazivna snaga pumpe:  $P_{nom} = 69$  W
- Ukupna efikasnost:  $\eta_p = 0,546$
- Efikasnost motora:  $\eta_m = 0,87$

Nazivna snaga je ukupna dovedena električna energija u jedinici vremena i s tim podacima se mogu izračunati sve ostale potrebne veličine. Ukupna efikasnost i efikasnost motora su potrebne za izračun efikasnosti pumpanja:

$$\eta_{pump} = \frac{\eta_p}{\eta_m} \quad (4.18.)$$

Gdje je,

$\eta_{pump}$  – efikasnost pumpanja fluida

Potrebna snaga na vratilu pumpe:

$$P_{vratilo} = P_{nom} \cdot \eta_m \quad (4.19.)$$

Gdje je,

$P_{vratilo}$  – potrebna snaga na vratilu pumpe [W]

$P_{nom}$  – nazivna snaga pumpe [W]

$\eta_m$  – efikasnost motora

Toplina predana fluidu:

$$\dot{Q}_{fluid} = P_{vratilo} \cdot (1 - \eta_{pump}) + (P_{nom} - P_{vratilo}) \cdot f_{motorloss} \quad (4.20.)$$

Gdje je,

$\dot{Q}_{fluid}$  – energija predana fluidu [W]

$f_{motorloss}$  – faktor gubitaka motora [-]

Faktor gubitaka motora prikazuje energiju gubitaka motora koja se predaje fluidu i podiže njegovu temperaturu. Faktor može poprimiti vrijednosti između 0 i 1, ovisno gdje se nalazi motor u odnosu na kućište pumpe. Ako se motor nalazi izvan kućišta onda vrijednost faktora iznosi 0 i svi gubici se predaju okolnom zraku, u suprotnom svi gubici prelaze na fluid.

Toplina predana okolnom zraku:

$$\dot{Q}_{ambient} = P_{nom} \cdot (1 - f_{motorloss}) \quad (4.21.)$$

Gdje je,

$\dot{Q}_{ambient}$  – toplina predana okolini [W]

$P_{nom}$  – nazivna snaga pumpe [W]

#### 4.10. Bazen

Za simulaciju bazena korišten je model Type 344: Indoor or outdoor swimming pool [15]. Pomoću njega se može modelirati vanjski i unutarnji bazen. U ovom projektu je predviđen mali vanjski bazen dimenzija 5x3 metra i 2 metra dubine. U modelu je pretpostavljeno da je voda idealno promiješana i nije kompresibilna pa se prvi zakon termodinamike može zapisati kao:

$$\rho_w \cdot c_p \cdot V_w \cdot \frac{dT}{dt} = \sum (\dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{out}) \quad (4.22.)$$

Gdje je,

$\rho_w$  – gustoća vode u bazenu [kg/m<sup>3</sup>]

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

$V_w$  – volumen vode u bazenu [m<sup>3</sup>]

$dT$  – promjena temperature vode u jedinici vremena [K]

$dt$  – vremenski korak [s]

$\dot{Q}_{in}$  – toplinski tok na ulazu u bazen [kW]

$\dot{Q}_{out}$  – toplinski tok na izlazu iz bazena [kW]

Za potrebe grijanja bazena potrebno je izračunati sve gubitke koje ima prema okolini kako bi se odredila snaga izmjenjivača za zagrijavanje vode.

#### Gubici topline ishlapljivanjem

Hlapanje vode se otprilike može izračunati prema formuli () pod uvjetom da je površina mirna:

$$\dot{m}_{ish} = \sigma \cdot A \cdot (x_g \cdot x) \quad (4.23.)$$

Gdje je,

$\dot{m}_{ish}$  – ishlapljena količina vode [g/h]

$\sigma$  – ishlapljivanje vodene površine [kg/m<sup>2</sup>h]

$A$  – površina bazenske vode [m<sup>2</sup>]

$x_g$  – sadržaj vode u zasićenom zraku [g<sub>w</sub>/kg<sub>sz</sub>]

$x$  – sadržaj vode u zraku [g<sub>w</sub>/kg<sub>sz</sub>]



Ishlapljivanje vodene površine  $\sigma$  se može pretpostaviti prema formuli:

$$\sigma = 25 + 19\varphi \cdot w^2 = 25 + 19 \cdot 0,2^2 = 25,76 \text{ kg/m}^2\text{h}$$

Gdje je,

$w$  – brzina strujanja vode [m/s]

Stanje okolnog zraka se usvaja za temperaturu  $32^\circ\text{C}$  i relativne vlažnosti  $\varphi = 60\%$ , sadržaj vode je  $x = 18 \text{ g/kg}$ . Prosječna toplina bazena  $28^\circ\text{C}$  i sadržaj vode u zasićenom zraku pri toj temperaturi je  $x_g = 25 \text{ g/kg}$ . Može se odrediti ishlapljena voda:

$$\dot{m}_{ish} = 25,76 \cdot (0,025 - 0,018) = 0,18 \text{ kg/m}^2\text{h}$$

Gubitak topline ishlapljivanjem vode:

$$Q_{ish} = \frac{\dot{m}_{ish} \cdot r}{3600} \cdot A \quad (4.24.)$$

Gdje je,

$Q_{ish}$  - toplina ishlapljivanja [kW]

$r$  – specifična toplina ishlapljivanja vode [kJ/kg]

$A$  – površina bazena [ $\text{m}^2$ ]

$$Q_{ish} = \frac{0,18 \cdot 2500}{3600} \cdot (5 \cdot 3) = 1,88 \text{ kW}$$

### **Gubitak toplinske energije kroz stijenke**

Gubitak toplinske energije transmisijom kroz zidove i dno bazena se računa prema izrazu:

$$Q_{trans} = A \cdot k \cdot (\vartheta_b - \vartheta_1) \quad (4.25.)$$

Gdje je,

$Q_{trans}$  – toplina predana zidovima [W]

$k$  – koeficijent prijelaza topline [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]

$\vartheta_b$  – temperatura vode u bazenu [ $^\circ\text{C}$ ]

$\vartheta_1$  – temperatura tla [ $^\circ\text{C}$ ]

Bazen će se izolirati s vanjske strane posebnim pločama od ekspandiranog polistirena otpornim na velike kompresije Hexatherm Xfloor 250. [16]

Svojstva izolacije:

- $\lambda_{iz} = 0,033 \text{ W/mK}$
- $\delta_{iz} = 25 \text{ mm}$

Prvo je potrebno izračunati koeficijent prijelaza topline između stijenke bazena i vode u bazenu. Za to će biti potrebne empirijske formule slobodne konvekcije za strujanje uz vertikalnu plohu. [17]

$$Nu = \frac{\alpha H}{\lambda_w} = 0,129 \cdot (Pr \cdot Gr)^{0,33} \quad (4.26.)$$

Gdje je,

$Nu$  – Nusseltova značajka [-]

$Gr$  – Grashofova značajka [-]

$Pr$  – Prandtlova značajka [-]

$\alpha$  – Koeficijent prijelaza topline [W/m<sup>2</sup>K]

$H$  – Visina plohe [m]

$\lambda_w$  – Koeficijent toplinske vodljivosti [W/mK]

Fizikalna svojstva vode:

- Gustoća:  $\rho_w = 996,79 \text{ kg/m}^3$
- Kinematička viskoznost:  $\nu_w = 9,1315 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
- Koeficijent toplinske vodljivosti:  $\lambda_w = 0,60814 \text{ W/mK}$
- Specifični toplinski kapacitet:  $c_{p,w} = 4180,9 \text{ J/kgK}$

Prandtlova značajka:

$$Pr = \frac{\rho_w \cdot \nu_w \cdot c_{p,w}}{\lambda_w} = \frac{996,79 \cdot 9,1315 \cdot 10^{-7} \cdot 4180,9}{0,60814} = 6,241$$

Grashofova značajka:

$$Gr = \frac{g \cdot H^3 \cdot (\rho_s - \rho_\infty)}{\nu_w^2 \cdot \rho_s} = \frac{9,81 \cdot 2^3 \cdot (997,3 - 996,24)}{(9,1315 \cdot 10^{-7})^2 \cdot 997,3} = 1,0604 \cdot 10^{11}$$

Uz male modifikacije formule (4.26.) za prijelaz topline dobije se izraz:

$$\alpha = \frac{\lambda_w}{H} \cdot 0,129 \cdot (Pr \cdot Gr)^{0,33}$$

$$\alpha = \frac{0,60814}{2} \cdot 0,129 \cdot (6,241 \cdot 1,0604 \cdot 10^{11})^{0,33} = 312,18 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Koeficijent prolaza topline:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta_{iz}}{\lambda_{iz}}} = \frac{1}{\frac{1}{312,18} + \frac{0,025}{0,033}} = 1,314 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q_{trans} = 47 \cdot 1,314 \cdot (28 - 12) = 988 \text{ W}$$

## Gubici zbog nadoknade bazenske vode

Dnevna količina svježe vode koja se nadomješta u bazenu je usvojena kao 5% ukupnog volumena bazena:

$$V_{svj.v} = V \cdot 0,05 = 30 \cdot 0,05 = 1,5 \text{ m}^3$$

Dnevno potrebna toplina za zagrijavanje nadoknađene količine vode:

$$Q_{svj} = \frac{V_{svj.v} \cdot c_p \cdot (t_b - t_2)}{24} \quad (4.27.)$$

Gdje je,

$Q_{svj}$  – potrebna toplina za zagrijavanje nadoknađene vode [kW]

$V_{svj.v}$  – dnevna količina svježe vode [m<sup>3</sup>]

$c_p$  – specifični toplinski kapacitet vode [kWh/kgK]

$t_b$  – temperatura vode u bazenu [°C]

$t_2$  – temperatura svježe vode [°C]

$$Q_{svj} = \frac{1,5 \cdot 1,163 \cdot (28 - 13,5)}{24} = 1,054 \text{ kW}$$

### Ukupni toplinski gubici bazena:

Potrebno je zbrojiti sve dobivene gubitke:

$$Q_{b,uk} = Q_{ish} + Q_{trans} + Q_{svj} = 1,88 + 0,988 + 1,054 = 3,92 \text{ kW}$$

Ovime je zaključeno da snaga grijača bazenske vode treba biti  $P_{izmj} = 3,92 \text{ kW}$ . Bazen je u upotrebi za vrijeme turističke sezone, od svibnja do listopada.

## 4.11. Solarni kolektori

Kolektori će se koristiti za grijanje potrošne tople vode i grijanje bazenske vode tokom njegovog korištenja.

Za simuliranje solarnih kolektora korišten je model Type 1: Flat-plate collector (Quadratic efficiency) predstavlja jednostavni model solarnog kolektora [18]. Toplinske karakteristike modela temelje se na proračunu pomoću kvadratne jednadžbe efikasnosti kolektora. Ukupnu površinu solarnih kolektora čine serijski spojeni kolektori. Efikasnost ukupne površine određena je brojem serijski spojenih kolektora i efikasnosti svakog od modula. U parametre modela unose se rezultati standardnih testova efikasnosti s razlikom temperature medija (ulazna, srednja ili izlazna) i okoline prema sunčevom zračenju. Efikasnost je opisana kvadratnom funkcijom:

$$\eta_k = \eta_0 - \frac{k_1 \cdot \Delta\vartheta}{G} - \frac{k_2 \cdot \Delta\vartheta^2}{G} \quad (4.28.)$$

Gdje je,

$\eta_k$  – efikasnost solarnog kolektora

$\eta_0$  – optički stupanj djelovanja

$k_1, k_2$  – koeficijenti gubitaka topline

$G$  – Globalno zračenje na nagnutu plohu kolektora [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$\Delta\vartheta$  – razlika temperatura [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Razlika temperatura  $\Delta T$  se može definirati na više načina, ovisno o standardu po kojem je rađena. Za ovaj projekt korišteni su solarni kolektori proizvođača Viessmann za čije podatke je razlika temperatura između prosječne temperature medija i temperature okolnog zraka:

$$\Delta T = T_{sr} - T_{ok} = \frac{T_{iz} + T_{ul}}{2} - T_{ok} \quad (4.29.)$$

Gdje je,

$\Delta T$  – razlika temperatura [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_{sr}$  – srednja temperatura fluida u kolektoru [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_{ok}$  – temperatura okolnog zraka [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_{iz}$  – temperatura fluida na izlazu iz solarnog kolektora [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_{ul}$  – temperatura fluida na ulazu u kolektor [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Općenito, efikasnost kolektora je jednaka omjeru apsorbirane topline i ukupne energije zračenja na kolektor. To se može prikazati Hottel-Whillier jednadžbom:

$$\eta_k = \frac{Q_u}{A \cdot G} = \frac{\dot{m}_s \cdot C_{p,s} \cdot (T_{iz} - T_{ul})}{A \cdot G} \quad (4.30.)$$

Gdje je,

$Q_u$  – apsorbirana solarna energija [W]

$A$  – površina kolektora [ $\text{m}^2$ ]

$\dot{m}_s$  – maseni protok fluida kroz kolektor [kg/s]

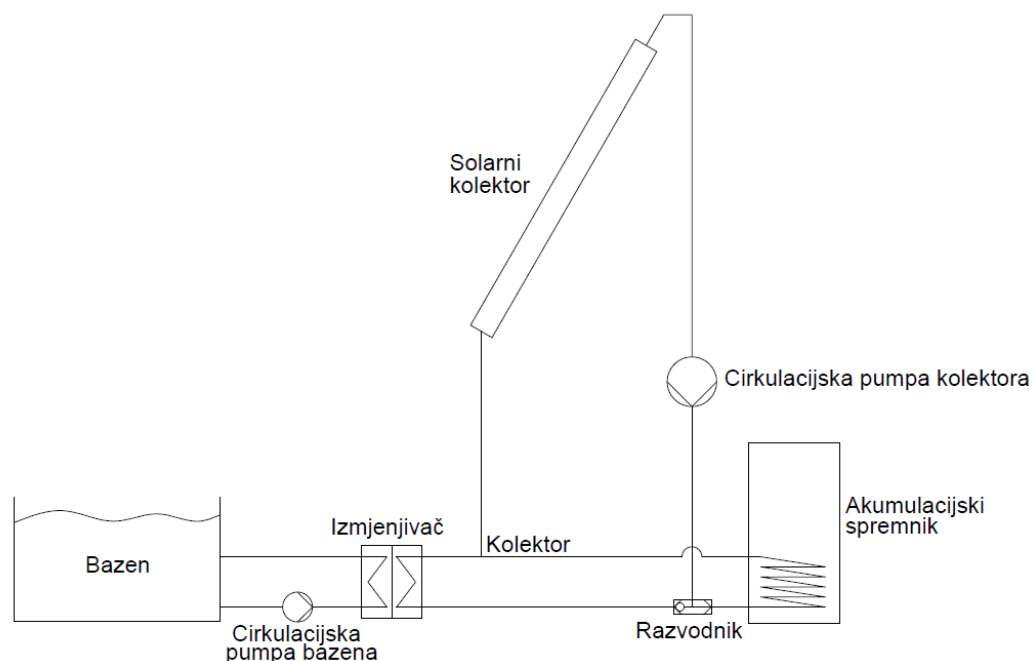
$C_{p,s}$  – specifični toplinski kapacitet fluida [J/kgK]

Raditi će se usporedba između dvije vrste kolektora, pločasti i vakumski. Kao što je prije spomenuto, odabrani su kolektori proizvođača Viessmann i njihove karakteristike su prikazane u tablici 4.8:

Tablica 4.8. Karakteristike solarnih kolektora

	Vitosol 200-FM SV2F	Vitosol 300-TM SP3C
Bruto površina	2,51 m <sup>2</sup>	4,62 m <sup>2</sup>
Površina apsorbera	2,31 m <sup>2</sup>	3,03 m <sup>2</sup>
Dužina	2380 mm	2241 mm
Širina	1056 mm	2061 mm
Visina	90 mm	150 mm
Optički stupanj djelovanja, $\eta_0$	0,827	0,782
Koeficijent gubitka topline $k_1$	4,791 W/m <sup>2</sup> K	1,761 W/m <sup>2</sup> K
Koeficijent gubitka topline $k_2$	0,025 W/m <sup>2</sup> K <sup>2</sup>	0,008 W/m <sup>2</sup> K <sup>2</sup>
Toplinski kapacitet	4,89 kJ/m <sup>2</sup> K	5,73 kJ/m <sup>2</sup> K
Težina	39 kg	79 kg
Volumen tekućine	1,83 l	1,55 l
Maksimalni tlak	6 bar	6 bar
Maksimalna temperatura u mirovanju	145 °C	150 °C
Priključak	22 mm	22 mm

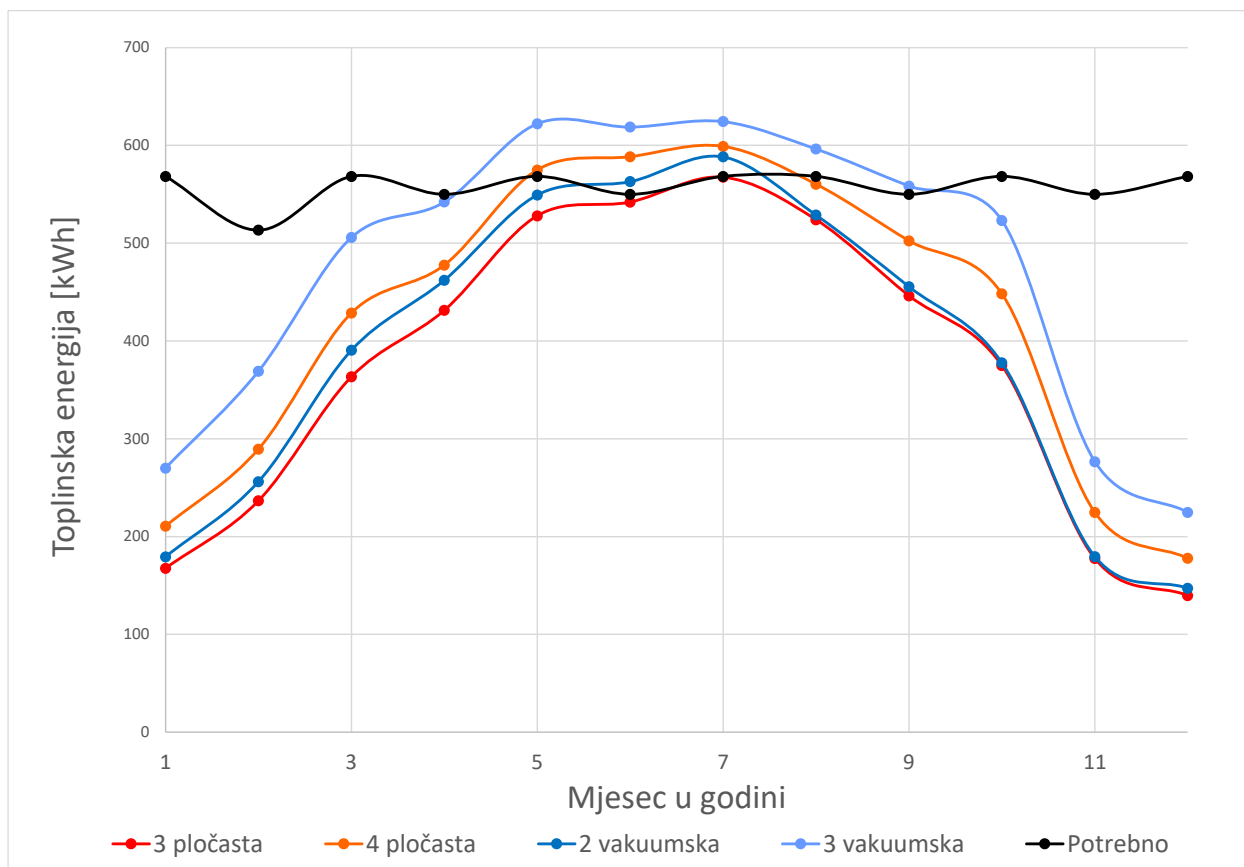
Uz solarne kolektore ugrađena je i pumpa koja cirkulira fluid (mješavina vode i glikola). Regulirana je diferencijalnim regulatorom koji uključuje pumpu kada je potrebno grijanje potrošne tople vode ili bazena. Sustav je prikazan na shemi na slici 4.7.



Slika 4.7. Shema sustava solarnih kolektora

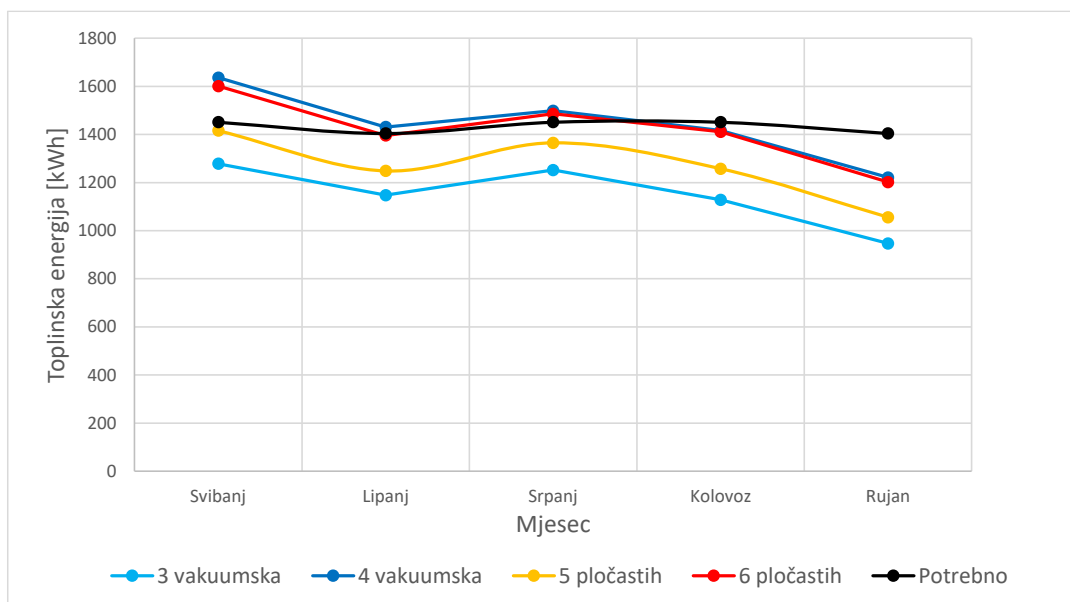
Potreban broj kolektora će se izračunati pomoću dinamičke simulacije programa Trnsys gdje će se simulirati potrošnja tople vode. Voda će se grijati primarno pomoću kolektora a u situacijama kada oni ne mogu dovoljno zagrijati vodu uključuje se i dodatni grijač koji simulira predanu

toplinu iz dizalice topline. Voda se zagrijava na temperaturu 45°C i profil potrošnje vode je prema dijagramu prikazan u poglavlju 4.1. Dobiveni rezultati su prikazani na slici 4.8.



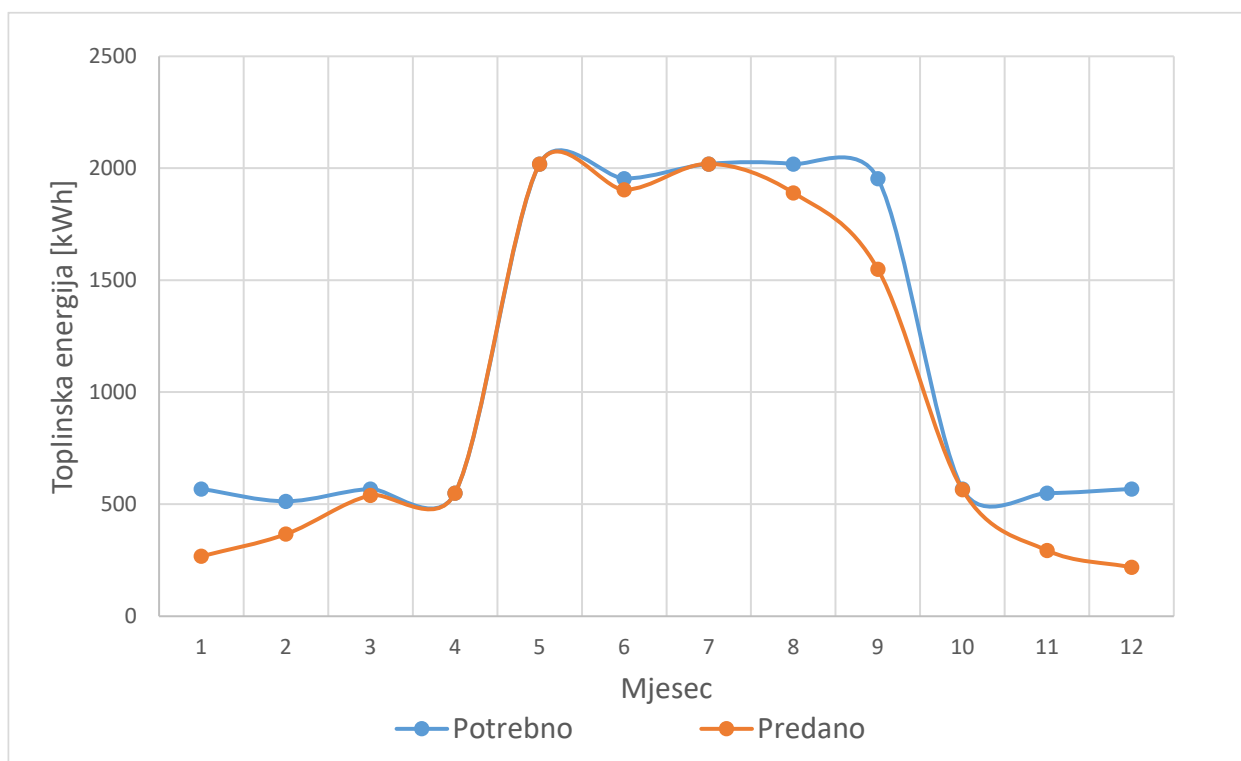
Slika 4.8. Analiza solarnih kolektora za PTV

Prema dijagramu vidimo da mjesečno potrebna energija za grijanje PTV-a se kreće između 550 i 570 kWh. Vidljivo je da kako u toplijim mjesecima kolektori povećavaju svoj doprinos zagrijavanju PTV-a do granice gdje nije potrebno uključivati dodatno zagrijavanje, što se i htjelo postići. Za grijanje PTV-a je potrebno 4 pločasta ili 2 vakuumska kolektora. Sljedeće treba analizirati koliko je potrebno kolektora za grijanje bazenske vode (Slika 4.9.).



Slika 4.9. Analiza solarnih kolektora za bazen

Prema dijagramu se vidi da šest pločastih ili četiri vakuumska kolektora zadovoljavaju zagrijavanje bazena. Kako su vakuumski kolektori dosta skuplji daljnji sustav će se projektirati s 10 pločastih kolektora. Na slici je prikazan dijagram sustava potrošne tople vode i bazena:



Slika 4.10. Prikaz spojenog sustava PTV-a i bazena

Može se očitati kako se zahtjevi grijanja PTV-a i bazena tokom turističke sezone pokrivaju gotovo potpuno, iznimka je deveti mjesec zbog dolaska jeseni i kišnih razdoblja. Ostatak godine se grije samo PTV i na razini cijele godine pokriva više od 50% zahtjeva (Tablica 4.9.).

Sljedeće što se može izračunati je postotak pokrivenosti zahtjeva energije:

$$\eta_{sol} = \frac{E_{sol}}{E_{PTV}} \cdot 100 \quad (4.31.)$$

Gdje je,

$\eta_{sol}$  – Pokrivenost potrošnje PTV-a [%]

$E_{sol}$  – Sunčeva energija predana vodi [kWh]

$E_{PTV}$  – Potrebna energija za zagrijavanje vode [kWh]

U tablici su prikazani rezultati zajedničkog sustava, pokrivenost energije za PTV je vrlo niska jer se veliki potencijal tokom ljeta troši na grijanje bazena, a ne pomaže ni u ostatku godine što je sustav predimenzioniran u korist grijanja potrošne vode.

Tablica 4.9. Rezultati sustava PTV-a i bazena

Mjesec	Predana toplina [kWh]	Potrebna toplina [kWh]	Pokrivenost PTV [%]
Siječanj	268	568	47
Veljača	367	513	71
Ožujak	540	568	95
Travanj	576	550	100
Svibanj	101	568	18
Lipanj	238	550	43
Srpanj	408	568	72
Kolovoz	223	568	39
Rujan	77	550	14
Listopad	565	568	99
Studeni	294	550	54
Prosinac	219	568	38
$\Sigma$	3876	6691	58

#### 4.12. Izmjenjivač topline bazena

Za simuliranje izmjenjivača topline korišten je model Type 5: Heat Exchanger [10] koji ima svojstvo modelirati istosmjerni, protusmjerni ili križni izmjenjivač kao i „shell and tube“ tip izmjenjivača topline. Model ne uzima u obzir toplinski kapacitet samog izmjenjivača. Kao ulazni podaci su potrebne temperature fluida sa tople i hladne strane kao i njihovi maseni protoci. Jedini parametar koji je potreban od korisnika je ukupni koeficijent prijelaza topline  $k$ :

$$k_{izmj} = \frac{P_{izmj}}{\Delta T_{log}} \quad (4.32.)$$

Gdje je,

$P_{izmj}$  – snaga izmjenjivača [W]

$\Delta T_{log}$  – srednja logaritamska razlika temperatura [K]



Srednja logaritamska razlika temperatura:

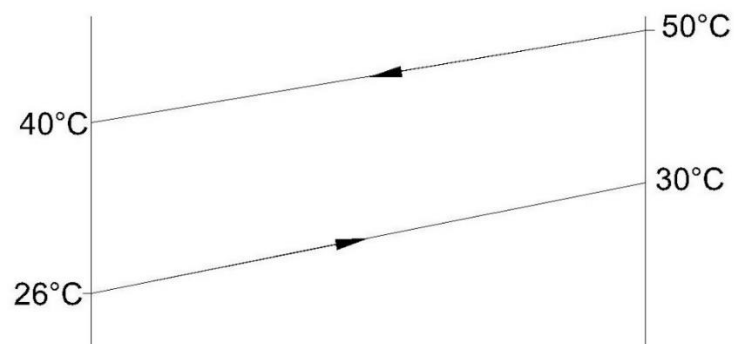
$$\Delta T_{log} = \frac{\Delta T'' - \Delta T'}{\ln \frac{\Delta T''}{\Delta T'}} \quad (4.33.)$$

Gdje je,

$\Delta T'$  - Razlika temperatura na ulazu izmjenjivača [K]

$\Delta T''$  - Razlika temperatura na izlazu izmjenjivača [K]

Dijagram izmjenjivača



Prema ovome razlike temperatura na ulazu i izlazu su:

$$\Delta T' = 40 - 26 = 14 \text{ K}$$

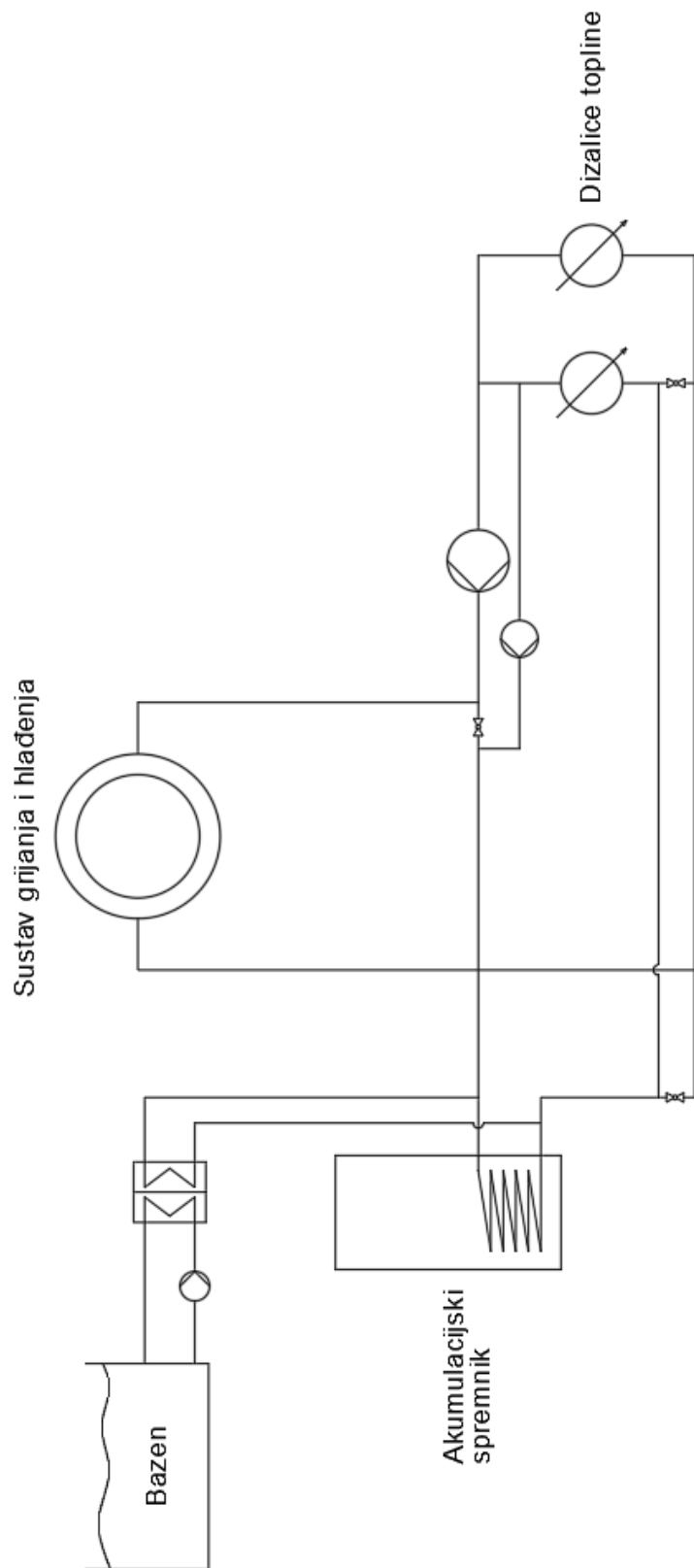
$$\Delta T'' = 50 - 30 = 20 \text{ K}$$

Logaritamska razlika temperatura:

$$\Delta T_{log} = \frac{20 - 14}{\ln \frac{20}{14}} = 16,82 \text{ K}$$

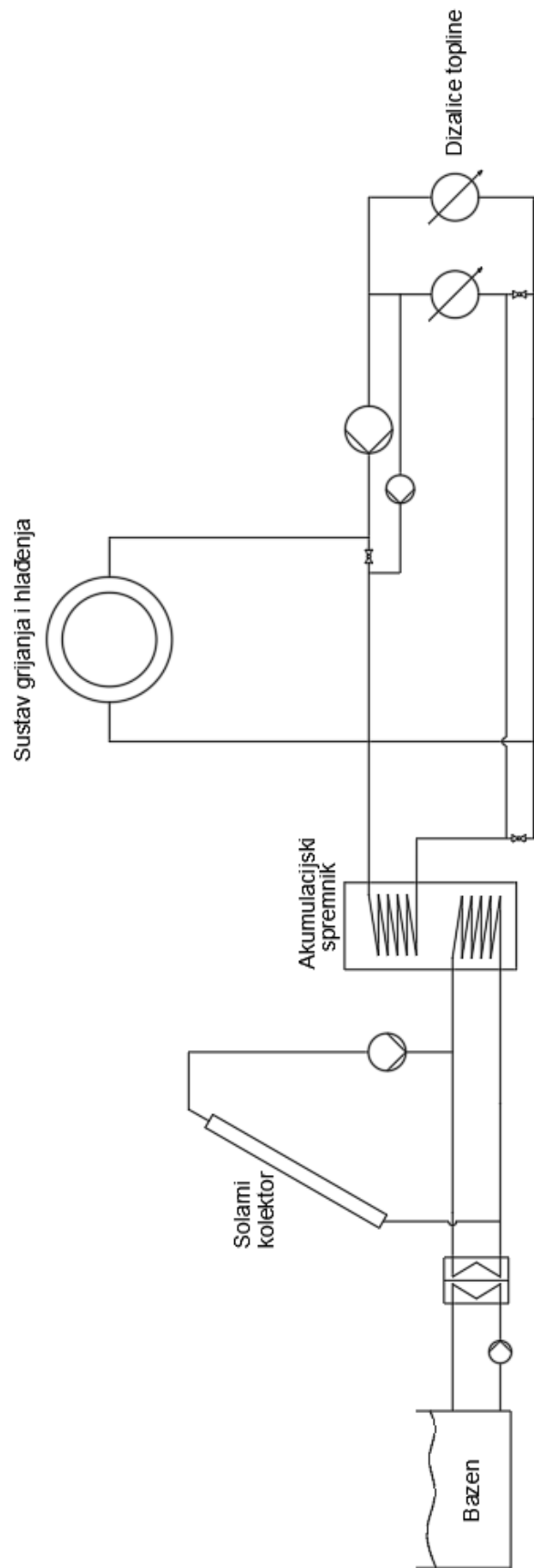
Koeficijent prijelaza topline:

$$k_{izmj} = \frac{3920}{16,82} = 233 \text{ W/K}$$



Slika 4.11. Shema cijelog termotehničkog sustava – Slučaj 1





Slika 4.13. Shema cijelog termotehničkog sustava - Slučaj 3

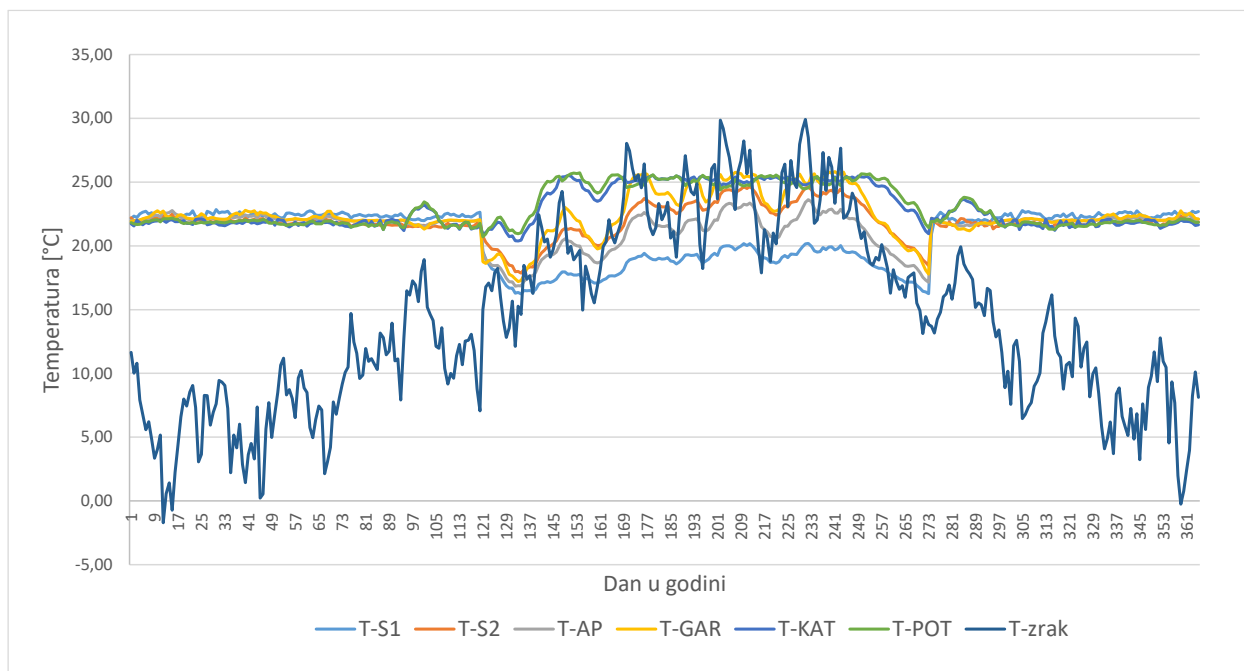
## 5. Analiza rezultata provedenih simulacija

Nakon izrađenog modela predviđenog termotehničkog sustava i kalibriranja njegove opreme provedene su simulacije. Rezultati simulacija su dali sve potrebne podatke predane toplinske energije tijekom grijanja i hlađenja (ventilokonvektori), utroške električne energije za pogon dizalica topline i pumpi, predaja topline solarnih kolektora i sve karakteristične temperature zona.

Potrebni izlazni rezultati topline i energije najprije su konvertirane iz mjerne jedinice kJ/h u prihvatljivu mjernu jedinicu kW pomoću elementa Type 57: Unit conversion routine [12]. Nakon toga vrijednosti su integrirane na period od jednog mjeseca pomoću funkcije Type 27: Quantity integrator [12] kako bi se dobili podaci u kWh za svaki mjesec. U nastavku će biti prikazani podaci za grijanje i hlađenje zgrade za sve opisane slučajeve. Karakteristične temperature zapisivane su u vanjsku datoteku za svakih sat vremena simulacije od ukupnih 8760 sati. Svi podaci su se zapisivali pomoću elementa Type 25: Printer. [12]

### 5.1. Podaci energije

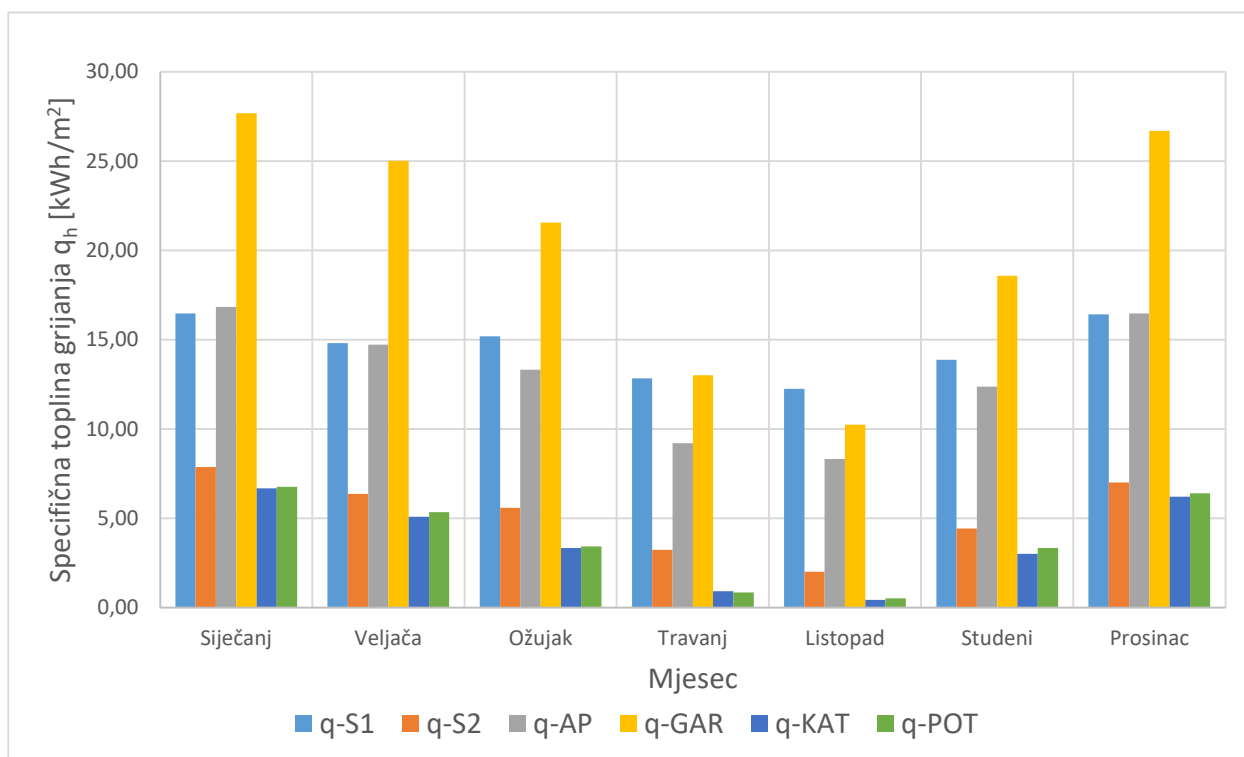
Dijagram na slici 5.1. pokazuje kretanje temperatura zona (Suteren 1 i 2, Garsonijera, Apartman, Kat i Potkrovlje) i vanjsku temperaturu zraka kroz cijelu godinu.



Slika 5.1. Profil temperatura po zonama i vanjske temperature

Temperatura oscilira između 21 i 23°C kao što su termostati trebali regulirati. Vidi se mali pad temperatura kada se vanjske temperature približe 0°C iz razloga što su veće transmisije topline kroz zidove, no moguće je da dizalicama topline pada iskoristiva snaga grijanja što je niža vanjska temperatura. Van zimskog perioda temperature zona se drastično mijenjaju, pogotovo zone Suteran 1, Garsonijera i Apartman jer se oni nalaze u zaklonjenom djelu kuće pa temperature padaju i do 18°C u prosjeku. Taj problem se može riješiti ako se malo produži sezona grijanja, odnosno dok se vanjska temperatura zraka ne digne do 20-22°C. onda se može prijeći u ljetni režim rada. Spomenute zone gotovo ne trebaju hlađenje tokom ljeta jer im temperature ostaju konstantno ispod projektne temperature od 26°C. Ostale zone se tokom ljeta brzo zagriju zbog utjecaja sunčevog zračenja i velikih ostakljenih površina pa oni trebaju imati konstantno hlađenje što je vidljivo po dijagramu. Temperatura u tim zonama je održana bez problema prema projektnoj temperaturi od 26°C, pa čak i malo niža u određenim danima.

Slika 5.2. prikazuje specifičnu toplinsku energiju dovedenu svakoj od zona. Prikazane su vrijednosti koliko specifične energije je predano s ogrjevne vode na zrak u toplinskoj zoni.

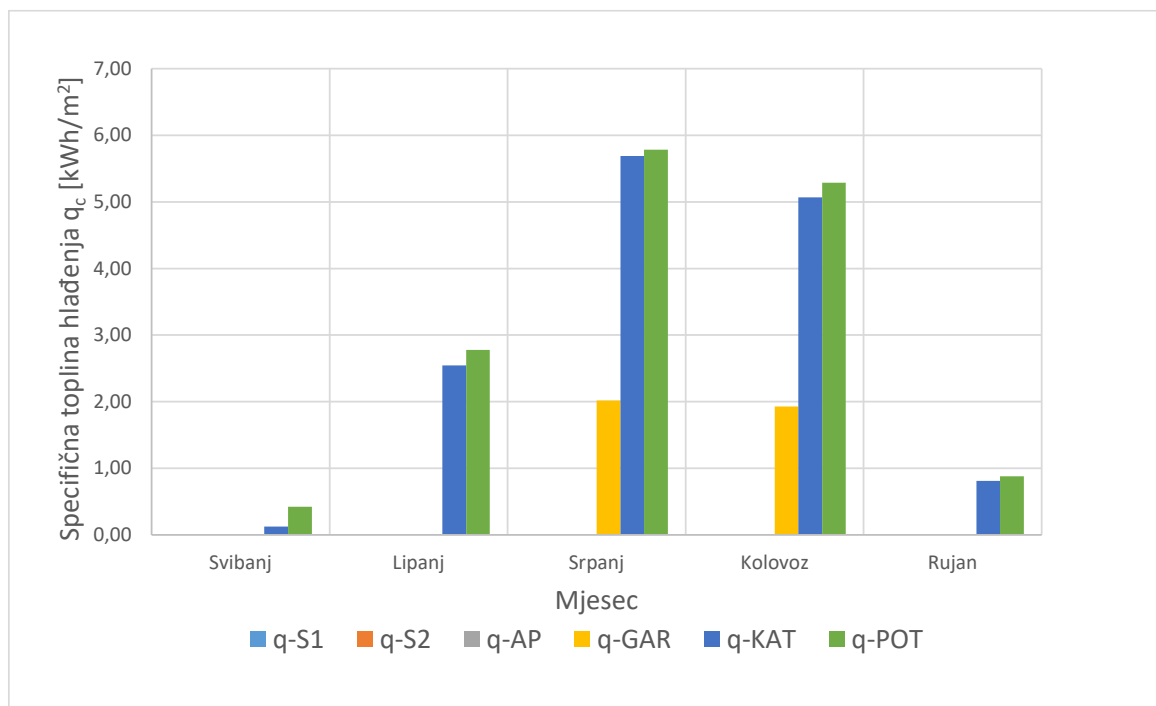


Slika 5.2. Toplinska energija grijanja po zonama

Kao što je ranije pretpostavljeno tokom hladnih mjeseci najniže zone koje su ujedno i zaklonjene od sunčevog zračenja zahtijevaju veće specifične toplinske energije za održavanje ugodne temperature u zoni. Garsonijera je tu najizraženija jer je najviše zaklonjena i nalazi se na neizoliranom temelju. Ostalim zonama potrebno je znatno manje toplinske energije bez obzira što su one puno veće volumenom (u slučaju zone Kat i duplo manje). Zanimljivo je napomenuti

da tokom mjeseca listopada zone Kat i Potkrovlje u teoriji nije potrebno grijati jer se samim sunčevim zračenjem griju i zadržavaju temperaturu u prostoriji.

Na slici 5.3. je prikazana specifična odvedena toplinska energija svakoj od zona. Kao što je ranije spomenuto u zaklonjenim zonama u teoriji nije potrebno hlađenje jer su blizu hladnom tlu, a temelji nisu izolirani. Naravno hlađenje će eventualno biti potrebno zbog ljudskih utjecaja poput otvorenih prozora i vrata te raznih izvora vlage.



Slika 5.3. Odvedena toplinska energija po zonama

Potrebno je još prikazati predanu toplinu iz solarnih kolektora na PTV i bazen. Dovedene topline imaju oznaku  $Q_{PTV}$  za toplinu predanu toplinskom spremniku,  $Q_B$  za toplinu predanu bazenskoj vodi. Rezultati su prikazani u tablici 5.1. Za lakše praćenje izvedbi sustava navedene su brojem:

- Slučaj 1 – Sustav grijanja i hlađenja samo s dizalicama topline
- Slučaj 2 – Sustav grijanja i hlađenja, solarni kolektori griju samo PTV
- Slučaj 3 – Sustav grijanja i hlađenja, solarni kolektori griju PTV i bazen

Razlog zašto se ne uspoređuje i trenutni postojeći sustav je što on nema bazen uključen i zbog toga nije mjerodavan jer se dodaje još jedan veliki trošak na sustav.

Tablica 5.1. Predana korisna toplina solarnih kolektora

Slučaj	Toplina predana PTV-u $Q_{PTV}$ [kWh]	Toplina predana bazenu $Q_B$ [kWh]	Faktor pokrivanja PTV-a [%]	Faktor pokrivanja bazena [%]	Topl. en. DT za PTV $Q_{DT,PTV}$ [kWh]	Topl. en. DT za bazen $Q_{DT,B}$ [kWh]
1	/	/	/	/	6691	7160
2	5006	/	76	/	1685	7160
3	3876	6252	58	87	2815	/

Razlika u ukupnim predanim toplinama iz sustava solarnih kolektora je iz razloga što u drugom slučaju se radi samo o akumulacijskom spremniku potrošne vode u kojem nema puno vode naspram bazena i on se grije samo kada je u upotrebi. U trećem slučaju tokom korištenja bazena je potrebno konstantno grijanje kako bi se nadoknadili svi njegovi gubici.

Najvažniji podatak od svih je potrošnja energije po kojemu se može utvrditi koji je sustav bolji od ostalih. Isto tako se može pokazati koji ima bolji odnos između investicijskih troškova i utrošene korisne energije. Korisna energija je sva ona energija koja se predala na vodu kružnog sustava grijanja, bazena i PTV-a, a finalna energija je ona koju su dizalica topline i kolektori proizveli za zagrijavanje vode u kružnom sustavu. Sve korisne i finalne topline dizalice topline imaju oznaku  $Q_{kor}$  ili  $Q_{fin}$  i mjere se u kWh. Primarna energija je onaj oblik energije koji je uzet iz prirode bez ikakve danje prerade ili transformacije. Ovisno o vrsti energetskog izvora, vrijednost faktora primarne energije se razlikuje. Tako u ovom slučaju faktor primarne energije za električnu energiju  $f_{p,el} = 1,583$  [19]. Rezultati su ispisani u tablicama 5.2. 5.3 i 5.5.

Tablica 5.2. Korisna i finalna toplinska energija

Slučaj	Korisna toplinska energija $Q_{kor}$ [kWh]	Finalna toplinska energija dizalice topline $Q_{fin,DT}$ [kWh]	Finalna toplinska energija solarnih kolektora $Q_{fin,SOL}$ [kWh]	Ukupna finalna energija $Q_{fin,uk}$ [kWh]
1	39226	40011	0	40011
2	37676	38429	5082	43511
3	37589	25971	12096	38067

Uspoređujući korisne i finalne energije iz tablice 5.2. odstupanja praktički nema što znači da nema ni velikih gubitaka sustava. Treći sustav ima najmanju potrošnju korisne energije naspram drugih jer se bazen isključivo grije sa solarnim panelima, dok se u prva dva slučaja griju na dizalicu topline i ona joj daje svu potrebnu energiju za zadržavanje temperature. Solarni



kolektori, kao što je analizirano u poglavlju 4.11., nisu u mogućnosti proizvesti dovoljno toplinske energije pred kraj ljeta što je razlog manjoj korisnoj toplini.

Uložena električna energija je važna za određivanje primarne energije. 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 ventilokonvektori isto koriste električnu energiju  $E_{DT}$  i  $E_{VT}$ . Kad se sve uzme u obzir dobiva se ukupna potrošnja električne energije  $E_{el}$ .

Tablica 5.3. Potrošnja električne energije

Slučaj	Potrošena el. energija za rad pumpi $E_{pump}$ [kWh]	Potrošena el. energija za rad dizalica topline $E_{DT}$ [kWh]	Potrošena el. energija za rad ventilokonvektora $E_{VT}$ [kWh]	Ukupna potrošnja el. energije $E_{el}$ [kWh]
1	340	15214	1014	16568
2	350	13314	1014	14678
3	442	8947	1014	10403

Kako dizalice topline imaju promjenjivi faktor grijanja  $\varepsilon_{gr}$  (COP), odnosno hlađenja  $\varepsilon_{hl}$  (EER), koji ovisi o vanjskoj temperaturi, sa dobivenim rezultatima o predanoj i potrošenoj energiji određuje im se sezonski faktor (tablica 5.4.).

Tablica 5.4. Sezonski faktor grijanja i hlađenja

Slučaj	Sezonski faktor grijanja COP	Sezonski faktor hlađenja EER
1	2,86	3,25
2	2,88	3,25
3	2,82	3,25

Sa poznatim podacima o uložnim energijama i faktorom primarne energije  $f_{prim,el}$  mogu se izračunati podaci za primarnu električnu energiju  $E_{prim}$ . Njihovi iznosi su prikazani u tablici 5.5. i grafički na slici 5.4.

Ukupna primarna energija:

$$E_{prim,uk} = E_{el,uk} \cdot f_{prim,el} \quad (5.1.)$$

Gdje je,

$E_{prim,uk}$  – ukupna godišnja primarna energija [kWh]

$E_{el,uk}$  – ukupna dovedena električna energija [kWh]

$f_{prim,el}$  – faktor primarne energije električne energije

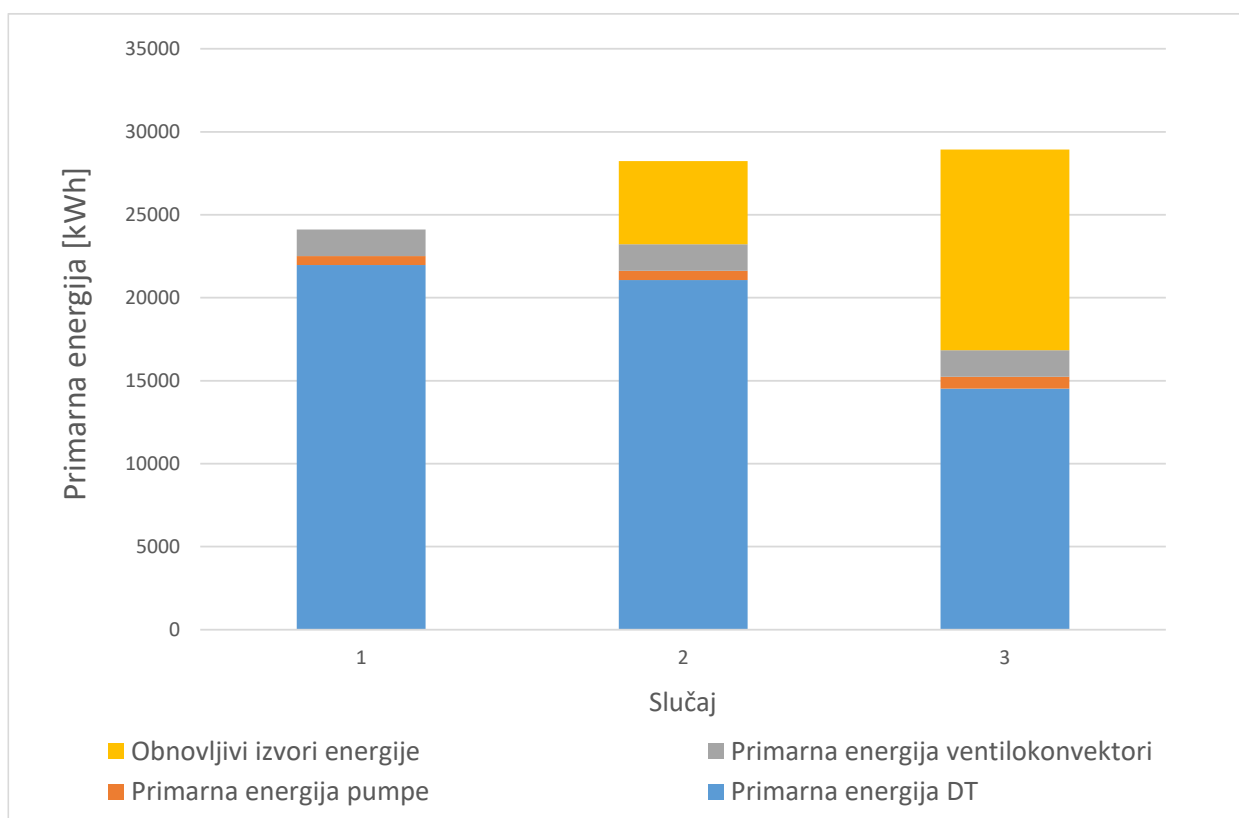
Potrošnja primarne energije po jedinici površine:

$$E_{prim,A} = \frac{E_{prim,uk}}{A_g} \quad (5.2.)$$

Tablica 5.5. Tablica primarne energije

Slučaj	Ukupna primarna energija $E_{prim,uk}$ [kWh]	Prim. energije po jedinici površine $E_{prim,uk}/A_g$ [kWh/m <sup>2</sup> ]
1	26227	71
2	23235	63
3	16468	45

Prema Tehničkom propisu [2] najveće dozvoljene vrijednosti primarne energije po jedinici korisne površine u primorskim krajevima iznosi  $E_{prim}/A = 80$  kWh/m<sup>2</sup>. Prema tome svi slučajevi zadovoljavaju ovaj kriterij, a treći slučaj pogotovo jer ima veliki udio obnovljivih izvora energije.



Slika 5.4. Primarna energija za svaku izvedbu

## 5.2. Ekonomski pokazatelji

### 5.2.1. Pogonski troškovi

Osim primarne energije bitan podatak je i godišnji novčani trošak rada sustava. Obzirom na poznatu godišnju dovedenu električnu energiju moguće je izračunati godišnje troškove. Sustav je u pogonu 24 sata na dan stoga je potrebno podijeliti struju na višu i nižu tarifu. Cijena struje više tarife iz bijelog tarifnog modela ima cijenu 0,084512 EUR/kWh s PDV-om, a niža 0,041468 EUR/kWh s PDV-om. [20]

Tablica 5.6. Pogonski troškovi

Slučaj	Troškovi električne energije pri višoj tarifi $T_{el,VT}$ [EUR]	Troškovi električne energije pri višoj tarifi $T_{el,NT}$ [EUR]	Godišnji troškovi distribucije $T_{dis}$ [EUR]	Ukupni pogonski troškovi $T_{uk}$ [EUR]
1	823	283	13	1119
2	724	253	13	990
3	541	176	13	730

### 5.2.2. Investicijski troškovi

Investicijski trošak je vrlo bitna stavka u analizi ovoga sustava jer će ona pokazati ako se ovakav tip obnove isplati. Cijene uređaja i montaže će se računati po aktualnim cijenama na hrvatskom tržištu. U obnovi vanjske ovojnice uzeto je u obzir vrijeme trajanja izolacije i za tehničke sustave unutar zgrade je uzeto 20 godina. Ove stavke su vrlo važne jer se pomoću njih određuju ukupni investicijski troškovi, ukupni troškovi ugradnje će biti podijeljeni s brojem godina unutar kojih će se taj sustav koristiti. Ukupni godišnji trošak je zbroj investicijskog godišnjeg troška i godišnjeg troška energenta. U nastavku će biti prikazane cijene opreme i radova. Vrijednost radova i transporta se procjenjuje na 30% od nabavne cijene, a PDV je 25%.

Tablica 5.7. Cijena opreme sustava grijanja i hlađenja

Sustav grijanja i hlađenja		Jed. cijena [EUR]	Količina novo	Količina staro	Ukupna cijena [EUR]
Dizalica topline	Aermec ANKI40	5113	2	/	10226
	Pumpa i ekspanzijska posuda				
	Regulator i upravljački modul				
Pumpa	Grundfos MAGNA3 32-60F	1250	1	/	1250
Cijevi	DN12 s izolacijom, po m	4	56	/	854
	DN15 s izolacijom, po m	6	65	95	
	DN32 s izolacijom, po m	15	16	/	
Ventili	Zaporni DN12, kom	8	8	/	224
	Zaporni DN15, kom	10	10	32	
	Zaporni DN32, kom	15	4	/	
Filter	DN25 za vodu, kom	10	1	/	10
Ventilo-konvektori	ULS10, po kom	411	15	/	10288
	ULS20, po kom	445	7	/	
	ULS30, po kom	504	2	/	
Termostat	Uz ventilokonvektore	/	/	/	/
Ukupno					22852
Transport, montaža i dodatni malopotrošni materijal, 30%					6856
Ukupno s montažom					29708
PDV, 25%					7427
Ukupna investicija					37135

Tablica 5.8. Cijena opreme i izgradnje bazena

Bazen		Jed. cijena [EUR]	Količina	Ukupna cijena [EUR]
Pumpa	OHI 25-40/180	50	1	50
Izmjenjivač	Pločasti 5 kW	142	1	142
Izolacija	HexaTherm Xflor 250	5	48	240
Bazen	5x3x2 m	7300	1	7300
Ukupno				7732
Transport, montaža i dodatni malopotrošni materijal, 30%				2320
Ukupno s montažom				10052
PDV, 25%				2513
Ukupna investicija				12565

Tablica 5.9. Cijena opreme i montaže solarnog sustava i PTV-a

Sustav solarnih panela i PTV-a		Jed. cijena [EUR]	Količina	Ukupna cijena [EUR]
Spremnik	500 L, kom	2056	1	2056
Cijevi	DN25 s izolacijom, po m	11	6	66
Ventili	DN25, kom	12	2	24
Solarni sustav	Solarni kolektor Vitosol 200 TM	826	10	10726
	Pričvrtni set za kosi krov	120	10	
	Pribor hidraulike, uz kolektore	/	/	
	Solarna tekućina	140	2	
	Ekspanzijska posuda	40	1	
	Regulacija	946	1	
	Pumpa, uz regulaciju	/	/	
Ukupno				12872
Transport, montaža i dodatni malopotrošni materijal, 30%				3862
Ukupno s montažom				16734
PDV, 25%				4184
Ukupna investicija				20918

U slučaju da su se uzeli vakuumske solarni kolektori, njihova cijena po jedinici je 1539 EUR bez PDV-a. Tako da bi cijena za 7 kolektora iznosila 10773 EUR + PDV što je veća investicijska cijena nego 10 pločastih kolektora. Vrijednost građevinskih radova u obnovi vanjske ovojnice iz ponude iznosi 40506,25 EUR uz PDV. Vrijednost PVC stolarije na mjestima gdje je ona potrebna (Suteren 1 i 2 i Kat) iz ponude iznosi 13548,71 € uz PDV. Ukupna vrijednost građevinske obnove je 54054,96 EUR.

Tablica 5.10. Investicijski troškovi

Slučaj	Vanjska ovojnica [EUR]	Sustav GiH [EUR]	Bazen [EUR]	Solarni paneli i PTV [EUR]	Ukupna investicija [EUR]
1	54055	37135	12565	3487	107242
2	54055	37135	12565	11466	115221
3	54055	37135	12565	20918	124673

Kako su velike investicije malo je vjerojatno da će vlasnici moći platiti iz vlastitih fondova cijelu svotu, zato će dodatno uračunati i kredit za energetske obnovu s rokom otplate od 10 godina. Napravljena je analiza sa i bez sufinanciranja iz Fonda za zaštitu okoliša i energetske obnovu. [21,22]

Troškovi održavanja obuhvaćaju troškove upravljanja sustavom, osiguranje, popravke, itd. Inače je u praksi uzeti 3% investicije kao godišnji trošak održavanja no zbog velikih iznosa investicijskih troškova odabran je iznos održavanja od 200 EUR/god za sve slučajeve.

*Tablica 5.11. Kredit energetske obnove bez poticaja*

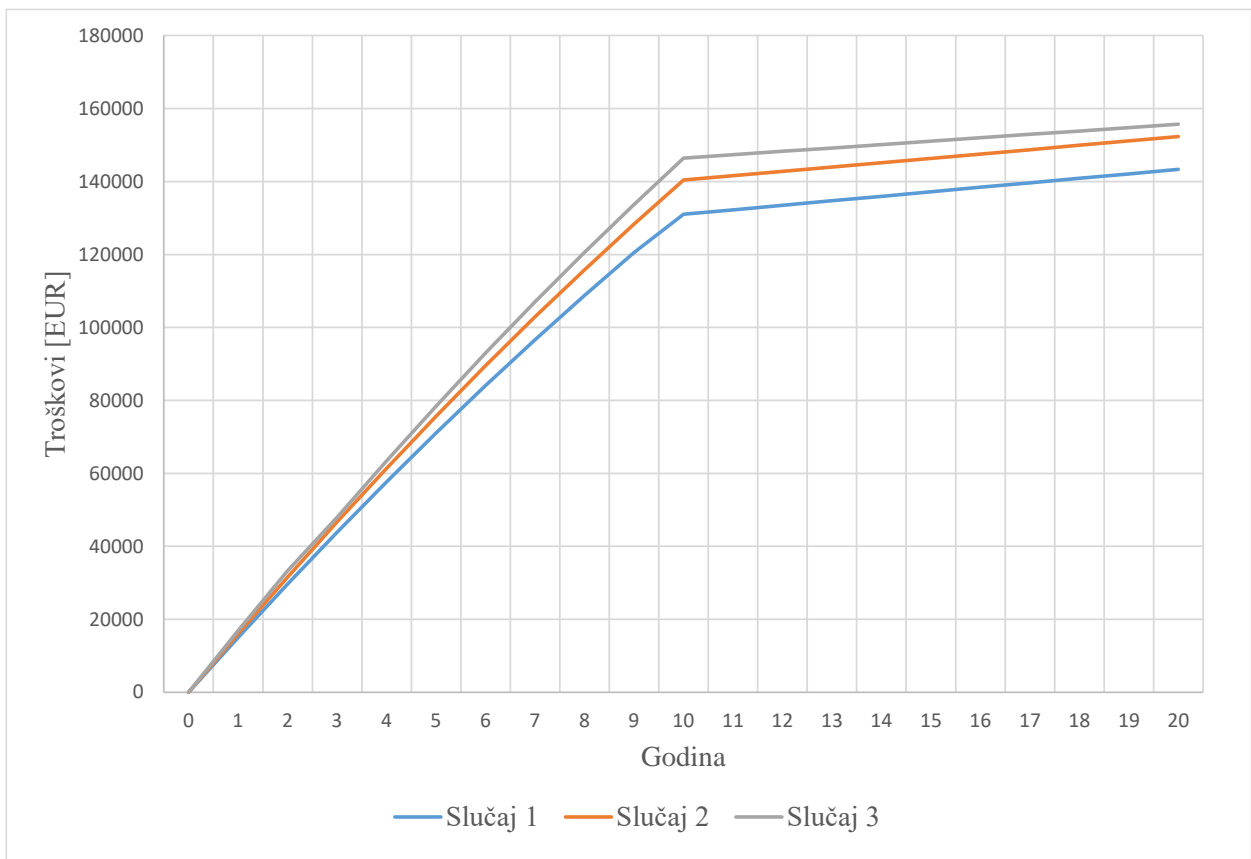
Slučaj	Kredit [EUR]	Kamatna stopa [%]	Prva rata [EUR]	Prosječna godišnja rata [EUR]
1	108000	4,1	1269	11872
2	116000	4,1	1363	12850
3	125000	4,1	1469	13712

*Tablica 5.12. Kredit energetske obnove uz poticaje*

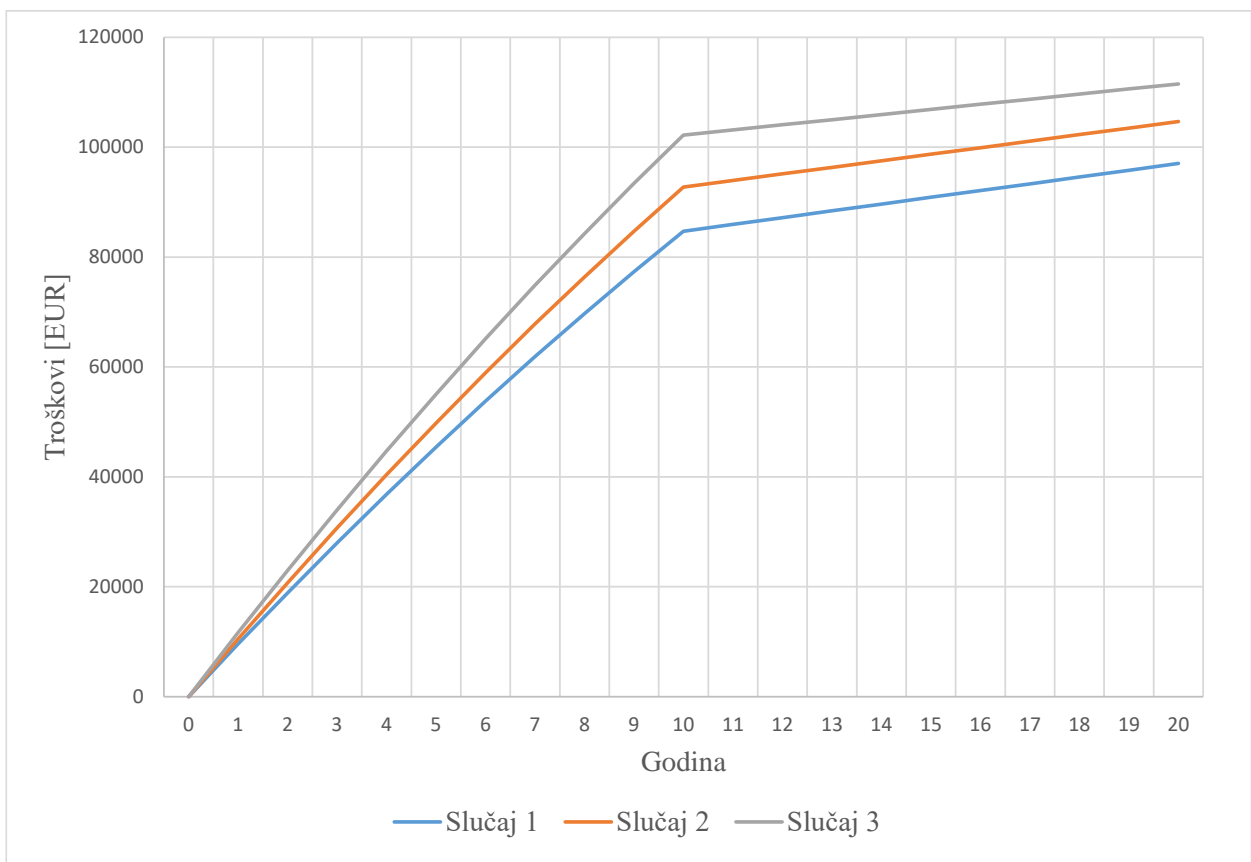
Slučaj	Kredit [EUR]	Kamatna stopa [%]	Prva rata [EUR]	Prosječna godišnja rata [EUR]
1	60000	4,1	705	7240
2	68000	4,1	787	8085
3	77000	4,1	905	9292

Unošenjem investicijskih troškova te pridodavanjem godišnjih troškova pogona i održavanja za životni vijek sustava (20 godina), dobit će se dijagram na slikama 5.5. i 5.6. iz čega se može iščitati nakon koja od investicija će se isplatiti dugoročno.

Prema dijagramu svaka od investicija je blizu jednoj drugoj no ona koja se najviše isplati je prvi slučaj, gdje nema ugrađenih solarnih panela. Iako ima više pogonske troškove, investicijski troškovi i troškovi otplaćivanja kredita su veći i stoga se ne isplate.



Slika 5.5. Analiza troškova – bez poticaja



Slika 5.6. Analiza troškova - s poticajima

## 6. Analiza rezultata i zaključak

U prvome djelu rada se analizirala obiteljska kuća i potvrdili su se podaci stvarne potrošnje električne i toplinske energije. Nakon potvrde modela je potrebno bilo odrediti debljinu izolacija na svakoj površini kako bi zadovoljavale Tehnički propis o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama [2]. Na kraju je utvrđeno da je potrebna na vanjskim zidovima i temeljima s 8 cm izolacije. No zbog investicijskih troškova se odlučilo se izostaviti ugradnju izolacije u temeljima, a vanjski zidovi će se izolirati s 10 cm izolacijskog materijala. Sljedeći korak je bilo potvrditi ima li smisla obnavljati vanjsku ovojnicu kuće i utvrdilo se da bi ono imalo veliki pozitivan utjecaj na troškove sustava. Provjerilo se je kolika je važna nadogradnja izolacije u podu prema temeljima i utvrdilo se da je razlika za trećinu veća potrošnja u slučaju bez nadogradnje. U slučaju bez izolacije na temeljima potreban učinak za grijanje je gotovo dupla veća naspram one s izolacijom, no i dalje puno manji nego trenutno stanje. Tokom ljeta je malo povoljnija situacija u korist slučaja bez izolacije na temeljima jer se vlaga ne zadržava u prostoru, odnosno manji je osjećaj propuha tokom ljeta. Odabrani su novi prozori i balkonska vrata u zonama koje imaju zastarjelu stolariju i ona zadovoljavaju svojstva prema važećim propisima. Potrebne snage za grijanje i hlađenje toplinskih zona utvrđene su prema Tehničkom propisu [2].

U drugom djelu je opisan cijeli termotehnički sustav i njegove komponente. Novi sustav se sastoji od novog većeg spremnika potrošne tople vode, dizalice topline, ventilokonvektora, nove cirkulacijske pumpe, solarnih kolektora, bazena i izmjenjivača topline uz bazen. Komponente su se odabrale prema normama ili termodinamičkom analizom.

U završnom djelu su prikazani rezultati navedenog termotehničkog sustava i prikazane su tri različite vrste sustava. Prema kriteriju o potrošnji primarne energije svi sustavi zadovoljavaju. Iz pogleda investicijskih troškova, inicijalno su vrlo veliki isto kao pogonski troškovi i troškovi održavanja zbog implementacije bazena. Na kraju se najviše isplati prvi slučaj jer iako ima najveće pogonske troškove, niža početna investicija i rate su dovoljno niske i opravdava veću isplativost.



## 7. Literatura

- [1] Vodanović, T.: „Arhitektonski snimak izvedenog stanja“, Rijeka, 2015.
- [2] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja: „Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama“, Narodne novine 2015.
- [3] Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje zgrade; HRN EN ISO 13790
- [4] Katalog proizvođača Global proizvod Vox
- [5] S interneta: <https://www.ecowatch.com/electricity/how-many-kwh-does-a-house-use>
- [6] S interneta: <https://www.energysage.com/electricity/house-watts/how-many-watts-does-a-washing-machine-use/>
- [7] „Tablični prikazi meteoroloških veličina, položaja i visina za klimatski mjerodavne meteorološke postaje“, Narodne novine 2008.
- [8] Katalog proizvođača Viessmann proizvod Vitocell 300-B
- [9] „TessLibs 17, Volume 11, Storage Tank Library Mathematical Reference“; Thermal Energy System Specialists, Madison USA, 2014.
- [10] Prof. dr. sc. Wolf I.: Predavanja i vježbe iz kolegija „Obnovljivi izvori energije“, Tehnički fakultet u Rijeci, 2022.
- [11] Prof. Dr. sc. Pavković B., Doc. Dr. sc. Delač B.: Predavanje i vježbe iz kolegija „Tehnika hlađenja“, 2022.
- [12] "TessLibs 17, Volume 2, Controls Component Library Mathematical Reference"; Thermal Energy System Specialists, Madison USA, 2012.
- [13] "TessLibs 17, Volume 7, Hydronics Library Mathematical Reference"; Thermal Energy System Specialists, Madison USA, 2012.
- [14] S interneta: <https://multicalc.updatestar.com/en>
- [15] „Trnsys – Type 344, Assessment o fan indoor or outdoor swimming pool“; T. Auer, 1996.
- [16] S interneta: <https://www.collecta.co.uk/product/hexatherm-xfloor-250/>
- [17] Tehnička enciklopedija, Termodinamika, prijenos topline – S interneta: [https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/termodinamika\\_prijenos\\_topline.pdf](https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/termodinamika_prijenos_topline.pdf)

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

[19] 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)

[20] S interneta: <https://www.hep.hr/elektra/kucanstvo/tarifne-stavke-cijene/1547>

[21] S interneta: <https://www.pbz.hr/mali-poduzetnici/upravitelji-zgrada.html>

[22] S interneta: <https://www.fzoeu.hr/hr/energetska-obnova-obiteljskih-kuca-7679/7679>

## 8. Popis simbola

R. Br.	Simbol	Opis	Mjerna jedinica
1	$d$	Debljina	m
2	$\rho$	Gustoća	kg/m <sup>3</sup>
3	$\lambda$	Koeficijent toplinske vodljivosti	W/mK
4	$c$	Specifični toplinski kapacitet	J/kgK
5	$\varepsilon$	Koeficijent apsorpcije sunčevog zračenja	/
6	$\alpha$	Koeficijent prijelaza topline	W/m <sup>2</sup> K
7	$Q_d$	Ogrjevna moć drva	kJ/kg
8	$U$	Koeficijent prolaza topline	W/m <sup>2</sup> K
9	$g$	Faktor propuštanja sunčevog zračenja	/
10	$n_{inf}$	Broj izmjena zraka	h <sup>-1</sup>
11	$e_{wind}$	Faktor zaštićenosti zgrade od vjetra	/
12	$n_{50}$	Broj izmjena zraka pri razlici tlaka od 50 Pa	h <sup>-1</sup>
13	$n_{req}$	Minimalni protok zraka	h <sup>-1</sup>
14	$Q_{rad}$	Toplinski učinak radijatora	W
15	$n_{\check{c}l}$	Broj članaka radijatora	
16	$q_{\check{c}l}$	Učinak jednog članka radijatora	W/čl
17	$Q_k$	Energija potrošena u toplovodnom kotlu	kJ
18	$r$	Rastresitost tereta	/
19	$H_d$	Donja ogrjevna moć	kJ/kg
20	$Q_d$	Ukupna ogrjevna moć drva	kJ
21	$V_{dr}$	Volumen drva	m <sup>3</sup>
22	$E_{el}$	Električna energija	kWh
23	$\alpha_v$	Koeficijent prijelaza topline s vanjske strane stijenke	W/m <sup>2</sup> K
24	$\alpha_u$	Koeficijent prijelaza topline s unutarnje strane stijenke	W/m <sup>2</sup> K
25	$\delta_i$	Debljina i-tog sloja ravne stijenke	m
26	$f_0$	Faktor oblika zgrade	m <sup>-1</sup>
27	$A_0$	Vanjsko oplošje zgrade	m <sup>2</sup>
28	$V_g$	Unutarnji volumen zgrade	m <sup>3</sup>
29	$Q''_{H,nd}$	Najveća dopuštena vrijednost za specifičnu korisnu energiju	[kWh/m <sup>2</sup> ]
30	$\theta_{min\ ym}$	Zimska projektna temperatura	°C

31	$\theta_{max,ym}$	Ljetna projektna temperatura	°C
32	$\varphi_{p0,4}$	Projektna relativna vlažnost tokom ljeta	%
33	$Q_W$	Toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a u promatranom periodu	kWh
34	$Q_{W,A,a}$	Specifična toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a	kWh/m <sup>2</sup> a
35	$A_k$	Korisna površina zgrade	m <sup>2</sup>
36	$d$	Broj dana u promatranom periodu	/
37	$V_d$	Dnevna potrošnja vode	m <sup>3</sup>
38	$\Delta\theta$	Razlika temperatura	K
39	$Q_g$	Trenutni učinak grijača potrošne tople vode	kW
40	$Q_{g,PTV}$	Korigirani učinak grijača potrošne tople vode	kW
41	$z_a$	Vrijeme zagrijavanja	h
42	$z_b$	Vrijeme pogona	H
43	$C$	Toplinski kapacitet vode	kW
44	$V_s$	Volumen spremnika	m <sup>3</sup>
45	$m$	Masa	kg
46	$d_v$	Vanjski promjer	m
47	$d_u$	Unutarnji promjer	m
48	$s$	Debljina stijenke	m
49	$v$	Visina spremnika	m
50	$p$	Tlak	bar
51	$l$	Duljina cijevi	m
52	$n_{sp}$	Broj spirala u izmjenjivaču	/
53	$d_{izmj}$	Promjer spiralnog izmjenjivača	m
54	$P_{el}$	Električna snaga za rad kompresora	kW
55	$\dot{Q}$	Proizvedena toplina od strane dizalice topline	kW
56	$SCOP$	Sezonski faktor grijanja	/
57	$Q_{gr}$	Projektni učinak grijanja kuće	kW
58	$Q_{hl}$	Projektni učinak hlađenja kuće	kW
59	$Q_{gr,uk}$	Ukupna potrebni učinak grijanja	kW
60	$n_{i,VK}$	Broj ventilokonvektora po zoni	/
61	$\dot{Q}_z$	Projektni učinak grijanja zone	W

62	$\dot{Q}_{i,ven}$	Učinak grijanja/hlađenja ventilokonvektora	W
63	$\dot{m}_i$	Maseni protok	kg/h
64	$f_i$	Udio protoka na i-tom izlazu	/
65	$\Delta p$	Pad tlaka	kPa
66	$P_{nom}$	Nazivna snaga pumpe	W
67	$\eta_p$	Ukupna efikasnost pumpe	/
68	$\eta_m$	Efikasnost motora	/
69	$P_{vratilo}$	Potrebna snaga na vratilu pumpe	W
70	$\dot{Q}_{fluid}$	Energija predana fluidu	W
71	$f_{motorloss}$	Faktor gubitaka motora	/
72	$\dot{Q}_{ambient}$	Toplina predana okolini	W
73	$dT$	Promjena temperature vode u jedinici vremena	K
74	$dt$	Vremenski korak	s
75	$\dot{m}_{ish}$	Ishlapljena količina vode	g/h
76	$\sigma$	Ishlapljivanje vodene površine	kg/m <sup>2</sup> h
77	$x_g$	Sadržaj vode u zasićenom zraku	g <sub>w</sub> /kg <sub>sz</sub>
78	$x$	Sadržaj vode u zraku	g <sub>w</sub> /kg <sub>sz</sub>
79	$Q_{ish}$	Toplina ishlapljivanja	kW
80	$r$	Specifična toplina ishlapljivanja vode	kJ/kg
81	$Q_{trans}$	Toplina predana zidovima	W
82	$k$	Koeficijent prijelaza topline	W/m <sup>2</sup> K
83	$\vartheta_b$	Temperatura vode u bazenu	°C
84	$\vartheta_1$	Temperatura tla	°C
85	$Nu$	Nusseltova značajka	/
86	$Gr$	Grashofova značajka	/
87	$Pr$	Prandtlova značajka	/
88	$H$	Visina plohe	m
89	$V_{svj.v}$	Dnevna količina svježe vode	m <sup>3</sup>
90	$Q_{svj}$	Potrebna toplina za zagrijavanje nadoknađene vode	kW
91	$Q_{b,uk}$	Ukupni toplinski gubici bazena	kW
92	$\eta_k$	Efikasnost solarnog kolektora	/
93	$\eta_0$	Optički stupanj djelovanja	/
94	$k_1, k_2$	Koeficijenti gubitaka topline	/

95	$G$	Globalno zračenje na nagnutu plohu kolektora	$W/m^2$
96	$Q_u$	Apsorbirana solarna energija	W
97	$C_{p,s}$	Specifični toplinski kapacitet fluida	J/kgK
98	$\eta_{sol}$	Pokrivenost potrošnje PTV-a	%
99	$E_{sol}$	Sunčeva energija predana vodi	kWh
100	$E_{PTV}$	Potrebna energija za zagrijavanje vode	kWh
101	$k_{izmj}$	Koeficijent prijelaza topline izmjenjivača	W/K
102	$P_{izmj}$	Snaga izmjenjivača	kW
103	$\Delta T_{log}$	Srednja logaritamska razlika temperatura	K
104	$\Delta T'$	Razlika temperatura na ulazu izmjenjivača	K
105	$\Delta T''$	Razlika temperatura na izlazu izmjenjivača	K
106	$f_{p,el}$	Faktor primarne energije	/
107	$Q_{PTV}$	Predana toplina PTV-u	kWh
108	$Q_B$	Toplina predana bazenu	kWh
109	$Q_{DT,PTV}$	Toplinska energija dizalice topline za PTV	kWh
110	$Q_{DT,B}$	Toplinska energija dizalice topline za bazen	kWh
111	$E_{pump}$	Potrošena električna energija za rad pumpi	kWh
112	$E_{DT}$	Potrošena električna energija za rad dizalica topline	kWh
113	$E_{VT}$	Potrošena električna energija za rad ventilokonvektora	kWh
114	$E_{el}$	Ukupna potrošnja električne energije	kWh
115	$E_{prim}$	Primarna energija	kWh
116	$T_{el}$	Troškovi električne energije	EUR
117	$T_{dis}$	Godišnji troškovi distribucije	EUR
118	$T_{uk}$	Ukupni troškovi	EUR

## 9. Popis slika

SLIKA 2.1. POGLED SA SJEVERA.....	4
SLIKA 2.2. POGLED S JUGA .....	5
SLIKA 2.3. ORIJENTACIJA KUĆE - GOOGLE EARTH .....	5
SLIKA 2.4. TOPLINSKI MODEL .....	6
SLIKA 3.1. GODIŠNJA POTROŠNJA TOPLINSKE ENERGIJE KOTLA .....	15
SLIKA 3.2. USPOREDBA GODIŠNJE POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE .....	16
SLIKA 3.3. UKUPNA POTREBA ZA TOPLINOM KROZ CIJELU GODINU .....	19
SLIKA 3.4. UKUPNE SPECIFIČNE ENERGIJE ZA SLUČAJEVE IZ TABLICE 3.6. ....	21
SLIKA 4.1. PROFIL POTROŠNJE TOPLE VODE U DANU .....	28
SLIKA 4.2. PRIKAZ TOPLINSKIH IZVORA (PLAVO) I PONORA (CRVENO) ZA DIZALICU TOPLINE [10]...	29
SLIKA 4.3. SHEMA DIZALICE TOPLINE [11].....	29
SLIKA 4.4. P-H DIJAGRAM KRUŽNOG PROCESA DIZALICE TOPLINE [11] .....	30
SLIKA 4.5. IZVORI TOPLINE ZA DIZALICE TOPLINE[10] .....	31
SLIKA 4.6. DIZALICA TOPLINE ZRAK – VODA .....	32
SLIKA 4.7. SHEMA SUSTAVA SOLARNIH KOLEKTORA .....	46
SLIKA 4.8. ANALIZA SOLARNIH KOLEKTORA ZA PTV .....	47
SLIKA 4.9. ANALIZA SOLARNIH KOLEKTORA ZA BAZEN .....	48
SLIKA 4.10. PRIKAZ SPOJENOG SUSTAVA PTV-A I BAZENA .....	48
SLIKA 4.11. SHEMA CIJELOG TERMOTEHNIČKOG SUSTAVA – SLUČAJ 1 .....	51
SLIKA 4.12. SHEMA CIJELOG TERMOTEHNIČKOG SUSTAVA – SLUČAJ 2.....	52
SLIKA 4.13. SHEMA CIJELOG TERMOTEHNIČKOG SUSTAVA - SLUČAJ 3 .....	53
SLIKA 5.1. PROFIL TEMPERATURA PO ZONAMA I VANJSKE TEMPERATURE.....	54
SLIKA 5.2. TOPLINSKA ENERGIJA GRIJANJA PO ZONAMA .....	55
SLIKA 5.3. ODVEDENA TOPLINSKA ENERGIJA PO ZONAMA .....	56
SLIKA 5.4. PRIMARNA ENERGIJA ZA SVAKU IZVEDBU .....	59
SLIKA 5.5. ANALIZA TROŠKOVA – BEZ POTICAJA.....	64
SLIKA 5.6. ANALIZA TROŠKOVA - S POTICAJIMA.....	64

## 10. Popis tablica

TABLICA 2.1. SUTEREN_105.....	6
TABLICA 2.2. SUTEREN_60.....	7
TABLICA 2.3. VZ_KONOBA .....	7
TABLICA 2.4. LJ.K.....	7
TABLICA 2.5. VZ_APARTMAN .....	7
TABLICA 2.6. VZ_KAT.....	7
TABLICA 2.7. VZ_POTKROVLJE.....	8
TABLICA 2.8. AP_KOT .....	8
TABLICA 2.9. SUTEREN1_SUTEREN2.....	8
TABLICA 2.10. SUTEREN_KAT .....	8
TABLICA 2.11. LJ.K_AP.....	8
TABLICA 2.12. KONOBA_AP .....	9
TABLICA 2.13. KAT_POTKROVLJE .....	9
TABLICA 2.14. TEMELJ_STARI .....	9
TABLICA 2.15. TEMELJ_NOVI.....	9
TABLICA 2.16. KROV .....	10
TABLICA 2.17. KOEFICIJENTI APSORPCIJE ZRAČENJA SUNCA I KONVEKTIVNOG PRIJELAZA TOPLINE	10
TABLICA 2.18. POPIS STOLARIJE .....	10
TABLICA 2.19. PRORAČUNSKE VRIJEDNOSTI N <sub>50</sub> ZA NETESTIRANE ZGRADE [3] .....	12
TABLICA 2.20. KOEFICIJENT E <sub>WIND</sub> I F <sub>WIND</sub> [3].....	12
TABLICA 3.1. TOPLINSKI UČINAK RADIJATORA .....	14
TABLICA 3.2. UČINCI GRIJANJA I HLAĐENJA U CIJELOJ KUĆI .....	15
TABLICA 3.3. PRIKAZ MJESEČNE POTROŠNJE ELETRIČNE ENERGIJE .....	17
TABLICA 3.4. UKUPNE POTREBE ZA TOPLINOM KROZ CIJELU GODINU ZA SVE SLUČAJEVE .....	19
TABLICA 3.5. VOLUMEN GRIJANIH PROSTORIJA .....	20
TABLICA 3.6. UKUPNE ENERGIJE I SPECIFIČNE ENERGIJE.....	21
TABLICA 3.7. PROJEKTNİ UČINI PO ZONAMA .....	23
TABLICA 4.1. KARAKTERISTIKE DIZALICE TOPLINE U REŽIMU GRIJANJA .....	33
TABLICA 4.2. KARAKTERISTIKE DIZALICE TOPLINE U REŽIMU HLAĐENJA .....	33
TABLICA 4.3. SVOJSTVA VENILOKOVNEKOTRA .....	34
TABLICA 4.4. RASPORED VENILOKONVEKTORA PO ZONAMA.....	35
TABLICA 4.5. PROTOCI PO ZONAMA ZA GRIJANJE I HLAĐENJE .....	36
TABLICA 4.6. UDJELI CIRKULACIJSKE VODE PO ZONAMA .....	37
TABLICA 4.7. DIMENZIJE I DULJINE CIJEVI SUSTAVA GRIJANJA I HLAĐENJA.....	39



TABLICA 4.8. KARAKTERISTIKE SOLARNIH KOLEKTORA .....	46
TABLICA 4.9. REZULTATI SUSTAVA PTV-A I BAZENA .....	49
TABLICA 5.1. PREDANA KORISNA TOPLINA SOLARNIH KOLEKTORA.....	57
TABLICA 5.2. KORISNA I FINALNA TOPLINSKA ENERGIJA.....	57
TABLICA 5.3. POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE .....	58
TABLICA 5.4. SEZONSKI FAKTOR GRIJANJA I HLAĐENJA .....	58
TABLICA 5.5. TABLICA PRIMARNE ENERGIJE .....	59
TABLICA 5.6. POGONSKI TROŠKOVI .....	60
TABLICA 5.7. CIJENA OPREME SUSTAVA GRIJANJA I HLAĐENJA .....	61
TABLICA 5.8. CIJENA OPREME I IZGRADNJE BAZENA .....	61
TABLICA 5.9. CIJENA OPREME I MONTAŽE SOLARNOG SUSTAVA I PTV-A .....	62
TABLICA 5.10. INVESTICIJSKI TROŠKOVI.....	62
TABLICA 5.11. KREDIT ENERGETSKE OBNOVE BEZ POTICAJA.....	63
TABLICA 5.12. KREDIT ENERGETSKE OBNOVE UZ POTICAJE.....	63

## 11. Sažetak i ključne riječi

Ovaj rad predstavlja analizu postojeće obiteljske kuće sa četiri etaže. Bazni dio kuće je izgrađen sredinom prošloga stoljeća i na njega su se u dva navrata nadograđivali objekti. Riječ je o objektima nižeg stupnja toplinske izolacije (ili nikakve) koji u izvornoj izvedbi godišnje troše veliku količinu energije za grijanje. Cilj rada bio je provjeriti opravdanost obnove vanjske ovojnice kuće što se pokazalo nužnim kako bi zadovoljio pravilnik. Analizom je utvrđeno da je dovoljno postaviti toplinsku izolaciju debljine 10 cm ekspaniranog polistirena na vanjskim zidovima kako bi se zadovoljili sadašnji propisi o potrošnji energije za postojeće zgrade. U novom projektu predviđena je i ugradnja bazena jer se radi o turistički namijenjenoj kući. Izabrani su dijelovi novog termotehničkog sustava prema normama i analizirana su tri različita sustava. U energetske analizi najbolje karakteristike je pokazao sustav s najviše solarnih kolektora, jer se predvidjelo grijanje bazena pomoću kolektora. Ono se na kraju uspostavilo najmanje isplativo jer su i najveće potrebne investicije, iako ima najveći udio obnovljivih izvora energije.

U radu se na stvarnom primjeru pokazao potencijal energetske obnove kuće s lošim toplinskim karakteristikama koja uz analizirane zahvate može postići nisku razinu potrošnje energije.

Ključne riječi: termotehnika, stvarna kuća, energetska obnova, grijanje, hlađenje, dinamičko modeliranje, numerička simulacija, TRNSYS, obnovljivi izvori energija, dizalica topline, primarna energija

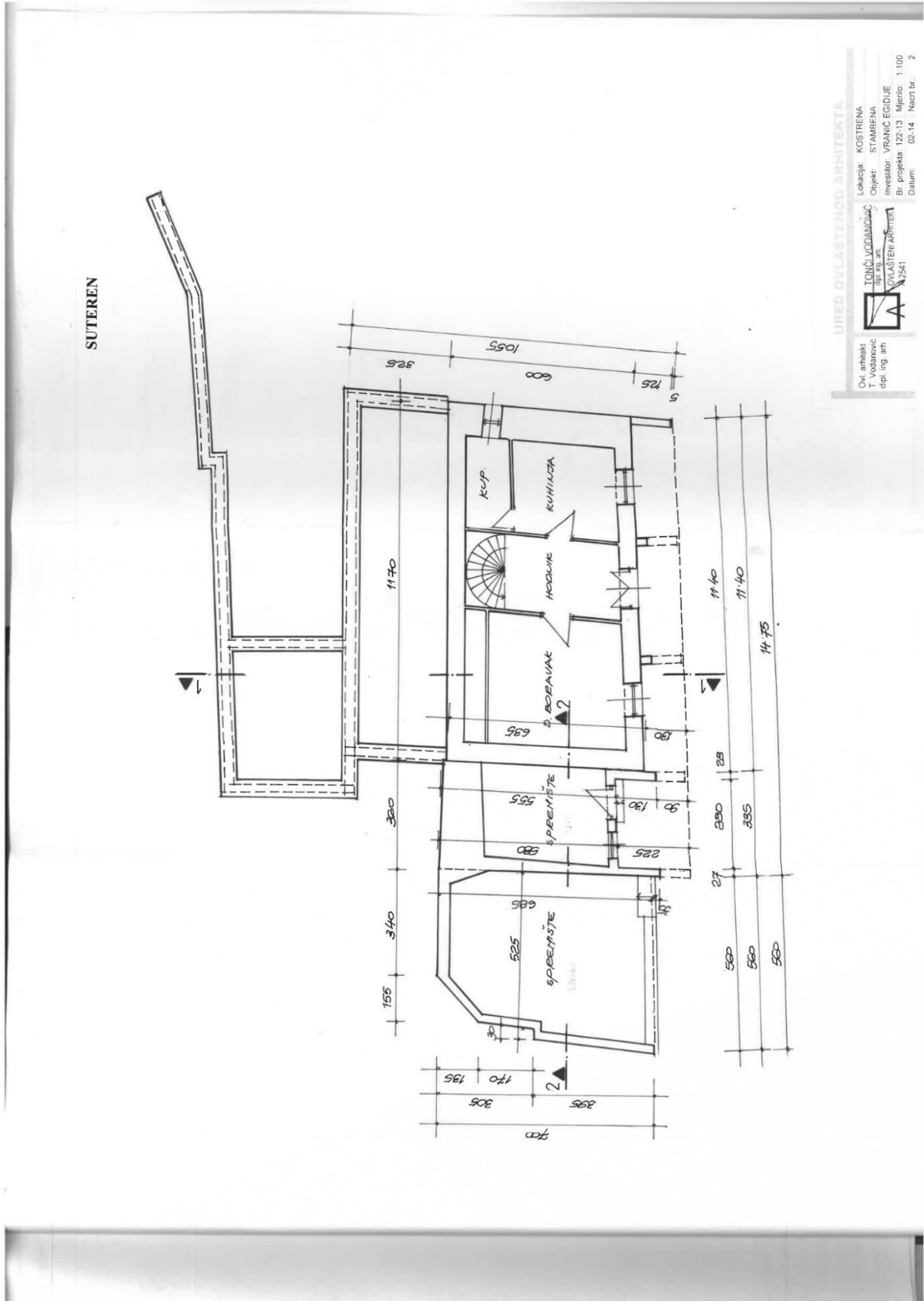
## 12. Abstract and key words

This thesis presents an analysis of an existing family house with four floors. The base part of the house was built in the middle of the last century and upgrades were added to it on two occasions. These are buildings with a lower level of thermal insulation (or none) which, in their original design, annually consume a large amount of energy for heating. The aim of the work was to check the justification of the renovation of the outer envelope of the house, which proved necessary in order to satisfy the regulations. The analysis determined that it is sufficient to install thermal insulation thickness of 10 cm of expanded polystyrene on the external walls to meet the current regulations on energy consumption for existing buildings. In the new project, the installation of a swimming pool is planned, because it is a house intended for tourism. Parts of the new thermotechnical system were selected according to the norms and three different systems were analyzed. In the energy analysis, the system with the most solar collectors showed the best characteristics, because it was planned to heat the swimming pool with the help of collectors. In the end, it turned out to be the least profitable because it also required the largest investments, even though it has the largest share of renewable energy sources.

In the thesis, the potential of the energy renovation of a house with poor thermal characteristics was shown on a real example, which can achieve a low level of energy consumption with the analyzed interventions.

Keywords: thermal engineering, real house, energy renovation, heating, cooling, dynamic modeling, numerical simulation, TRNSYS, renewable energy sources, heat pump, primary energy

# 13. Prilozi



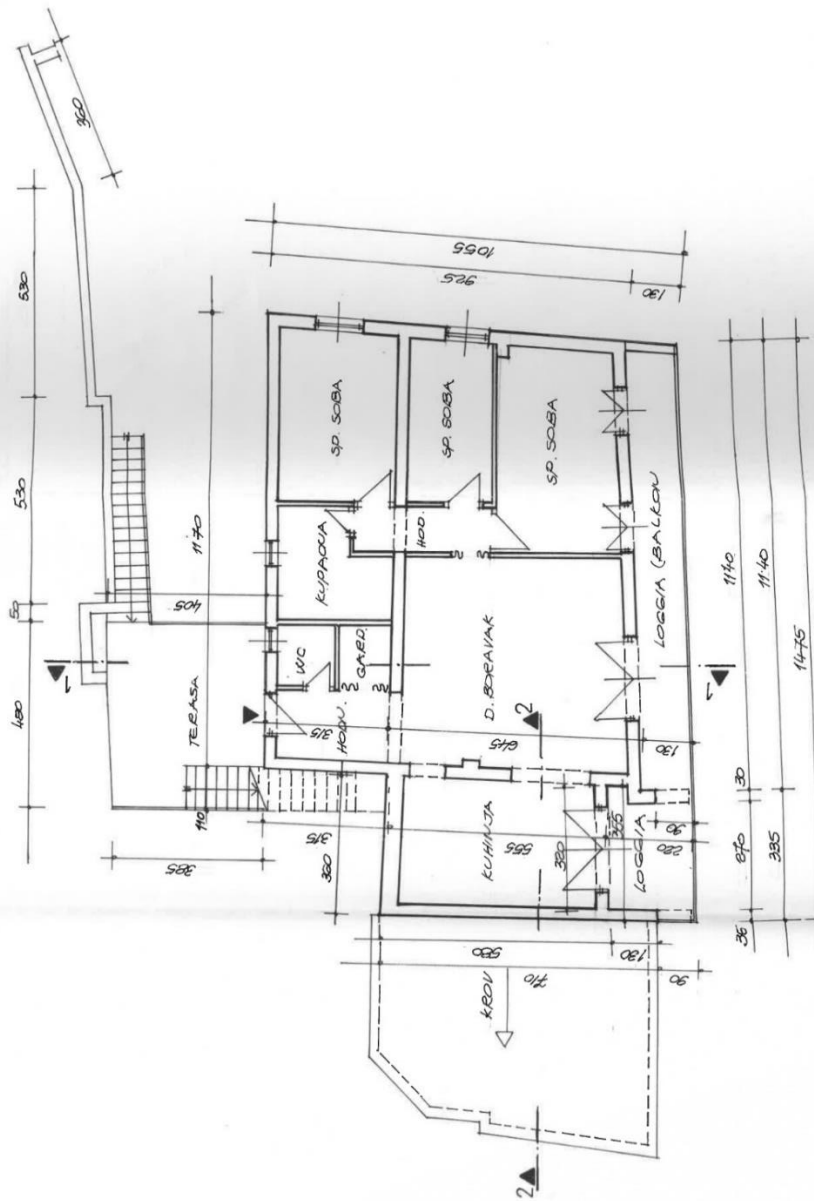
**UREĐ DVLASTENOG ARHITEKTA**

Ovi arhitekti: **KOSTRENA**  
 T. Vodašević  
 dipl. ing. arh.  
**TONČIČ LUDJANČIĆ**  
 dipl. ing. arh.  
**OVLAŠTENI ARHITEKT**

Lokacija: **KOSTRENA**  
 Objekt: **STAMBENA**  
 Investitor: **VUKAČIĆ EGIĐIJE**  
 Br. projekta: **122.13** Mjerilo: **1:100**  
 Datum: **02.14** Nacrt br.: **2**



PRVI KAT



UREĐ OVIŠTENOG ARHITEKTA

Ovi arhitekt:  
T. Votranović  
dga.ing. arh

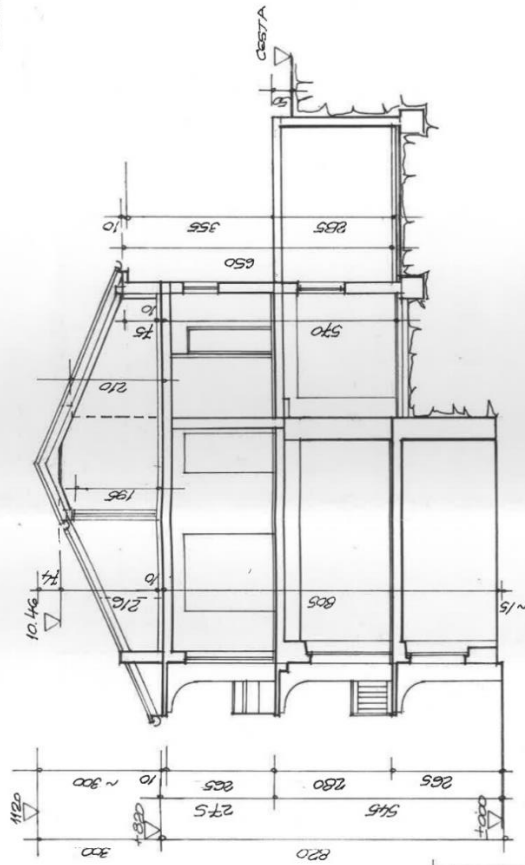
LOKALNO ODGOVORAN  
IZ OVIŠTENOG ARHITEKTA

LOKALNO ODGOVORAN  
ARHITEKT  
T. VOTRANOVIĆ  
DGA.ING. ARH.

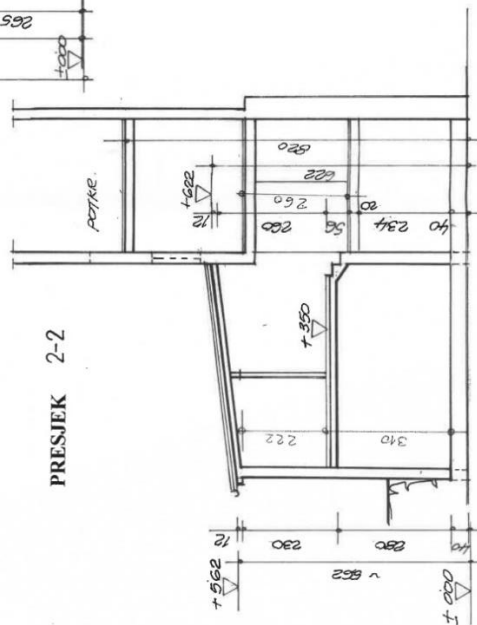
Locacija: KOSTRENA  
Objekt: STAMBENA  
Investitor: VRANJECIGLIJE  
Br. projekta: 122/13, Merilo: 1:100  
Datum: 02/14. Nacrt br.: 4



PRESJEK 1-1



PRESJEK 2-2



UREĐ OVLASTENOG ARHITEKTA

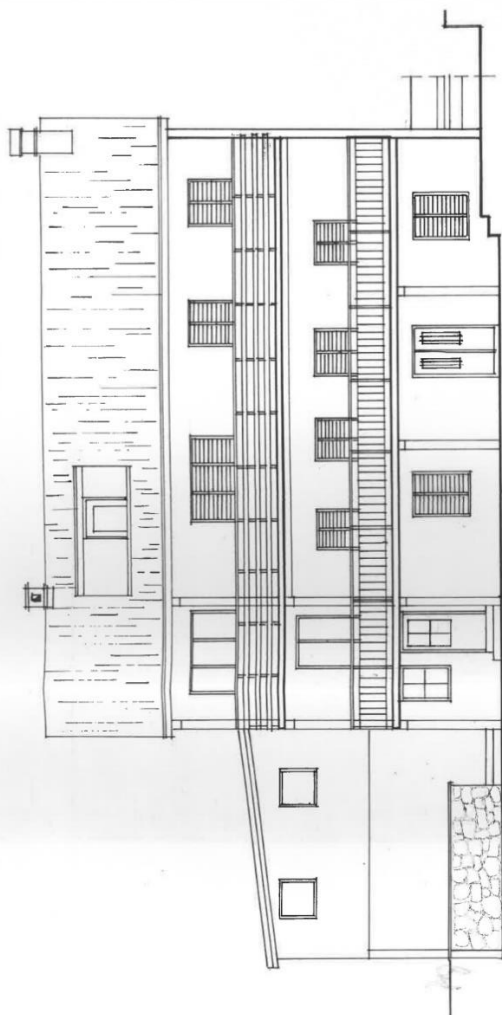
Ovi arhitekti  
T. Vujanović  
dipl. ing. arh.

TONČIĆ/ČIČIĆ  
d.p. za arh. inž.  
OVLASTENI ARHITEKTI

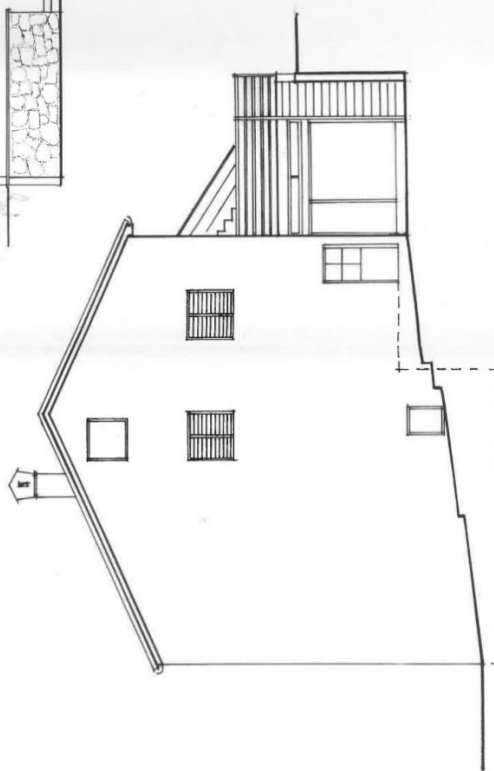
Lokalacija: KOSTRENA  
Objekt: STAMBENA  
Investitor: VRANIC EGIDIJUE  
Br. projekta: 122-13 Mjersko: 1:100  
Datum: 02.14. Načrt br.: 6



J. ZAPADNO PROČELJE



J. ISTOČNO PROČELJE



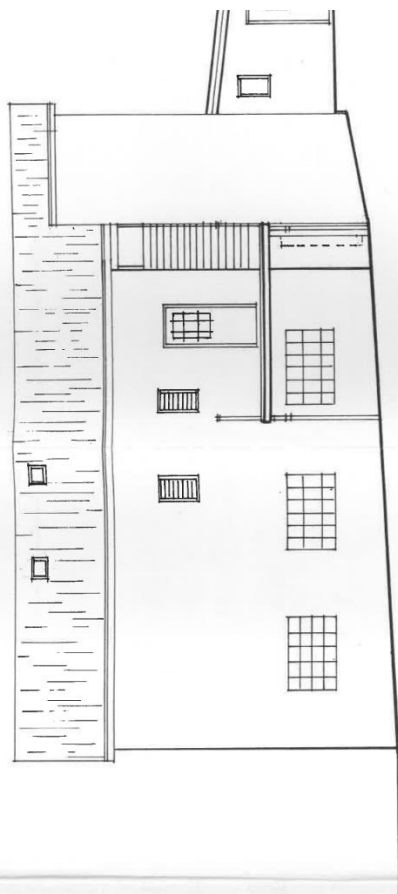
UREĐIO: UVAJENI IZ OBLASTI ARHITEKTURE

Os. arhitekt: IONČIĆ VODANOVIĆ  
Os. inženjer: IZT. ing. arh.  
Os. inženjer: IPI. ing. arh.

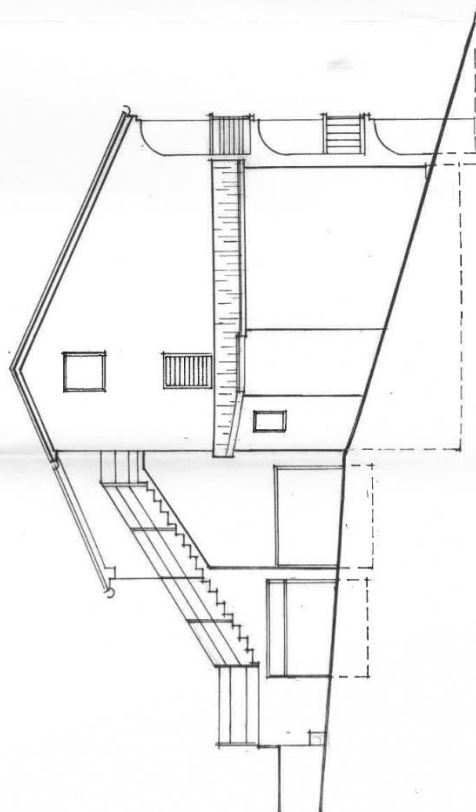
Lokacija: KOSTRENA  
Objekt: STAMBENA  
Investitor: VRANIC EGIDIJE  
Br. projekta: T2213 / Mjeno: 1100  
Datum: 02.14. Načrt br.: 7

IONČIĆ VODANOVIĆ  
IZT. ing. arh.  
VRANIC EGIDIJE  
IPI. ing. arh.

S. ISTOČNO PROČ



S. ZAPADNO PROČELJE



URED GVI LA ŠTENO  
Ovi arhitekt  
T. Vodašević  
dip. ing. arh.  
IZ OBLASTI ARHITEKTURE  
19541