Optimizacija sustava za grijanje i hlađenje nZEB obiteljske kuće

Plenković, Antun

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:304861

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Antun Plenković

Zagreb, srpanj, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Dr. sc. Tea Žakula, dipl. ing.

Student:

Antun Plenković

Zagreb, srpanj, 2020.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se doc. dr. sc. Tei Žakuli na mentorstvu, savjetima i pomoći tijekom izrade ovog rada.

Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji na povjerenju, potpori i svemu što su mi omogućili. Također se zahvaljujem svojoj djevojci Kristini na pomoći, iskazanom interesu i poticaju u svemu čime se bavim.

Antun Plenković

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa: 602 - 04 / 20 - 6 / 3	
Ur. broj: 15 - 1703 - 20 -	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Antun Plenković** Mat. br.: 0035196531

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Optimizacija sustava za grijanje i hlađenje nZEB obiteljske kuće**

Naslov rada na engleskom jeziku: **The optimization of a heating and cooling system for nZEB family dwelling**

Opis zadatka:

Cilj rada je modeliranje i optimizacija rada sustava za grijanje i hladenje na primjeru referentne nZEB (zgrada gotovo nulte energije) obiteljske kuće. Potrebno je razviti računalni model za simulaciju i optimizaciju rada sustava koji se sastoji od ventilokonvektora i dizalice topline zrak-voda za grijanje i hlađenje prostora te spremnika i solarnog kolektora za zagrijavanje potrošne tople vode. Također je potrebno optimizirati sustav kroz optimizaciju temperature polaza vode. Za razvoj modela koristiti računalni program za energijsko modeliranje, TRNSYS© , te programski jezik MATLAB®. Sve analize potrebno je provesti na satnoj bazi kroz cijelu godinu za referentne klimatske podatke kontinentalne Hrvatske.

Rad treba sadržavati:
- shemu sustava,
- opis razvijenih modela,
- godišnju potrošnju energije za grijanje, hlađenje te pripremu potrošne tople vode,
- rezultate optimizacije temperature polaza.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:	Datum predaje rada:	Predvideni datum obrane:
30. travnja 2020.	2. srpnja 2020.	6. – 10.7.2020.

Zadatak zadala: Predsjednica Povjerenstva:

Doc. dr. sc. Tea Žakula Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

POPIS SLIKA III

POPIS TABLICA IV

SAŽETAK V

SUMMARY VI

1. UVOD 1

2. PODACI O OBJEKTU 2

2.1. Opis objekta 2

2.2. Rezultati godišnje potrebne energije za grijanje i hlađenje 6

3. OPIS SUSTAVA ZA GRIJANJE, HLAĐENJE I PRIPREMU PTV-a 9

3.1. Shema sustava 9

3.2. Sustav predaje 10

3.3. Sustav proizvodnje 14

3.4. Sustav pripreme PTV-a 17

4. RAČUNALNI MODEL SIMULACIJE RADA SUSTAVA 18

4.1. Model ventilokonvektora 18

4.2. Model dizalice topline 25

5. REZULTATI 28

5.1. Potrošnja električne energije za grijanje i hlađenje 28

5.2. Potrošnja električne energije u slučaju optimizacije temperature polaza 34

5.3. Potrošnja električne energije za pripremu PTV-a 38

6. ZAKLJUČAK 42

LITERATURA 44

PRILOG 1 – GLAVNI KOD (BEZ OPTIMIZACIJE) 45

PRILOG 2 – GLAVNI KOD (S OPTIMIZACIJOM) 61

PRILOG 3 – COP FUNKCIJA 78

PRILOG 4 – EER FUNKCIJA 80

POPIS SLIKA

Slika 1 Pročelja referente nZEB kuće 3

Slika 2 Nacrti referentne nZEB kuće 4

Slika 3 Podjela na toplinske zone 5

Slika 4 Shema sustava za grijanje, hlađenje i pripremu potrošne tople vode 9

Slika 5 Krivulja grijanja [6] 21

Slika 6 Dijagram toga za odabir brzine ventilokonvektora 24

Slika 7 Ovisnost COP-a o temperaturama zraka, vode i djelomičnom opterećenju 27

Slika 8 Ovisnost EER-a o temperaturama zraka, vode i djelomičnom opterećenju 27

Slika 9 Potrebna energija za grijanje 28

Slika 10 Potrebna energija za hlađenje 28

Slika 11 Temperatura polaza bez optimizacije 29

Slika 12 Potrošnja električne energije dizalice topline u režimu grijanja 32

Slika 13 Potrošnja električne energije dizalice topline u režimu hlađenja 32

Slika 14 Usporedba temperatura polaza prije i poslije optimizacije 35

Slika 15 Usporedba iznosa COP-a i EER-a prije i poslije optimizacije 37

Slika 16 Usporedba potrošnje električne energije prije i poslije optimizacije 38

Slika 17 Potrebna energija za PTV po mjesecima 41

Slika 18 Prikaz potrebnih energija za grijanje hlađenje i PTV 43

POPIS TABLICA

Tablica 1 Godišnja potrebna energija za grijanje i hlađenje 7

Tablica 2 Maksimalna satna potrebna energija po zonama 8

Tablica 3 Podaci korišteni za dimenzioniranje ventilokonvektora 11

Tablica 4 Tehničke karakteristike ventilokonvektora pri ispitnim uvjetima 12

Tablica 5 Ispitni uvjeti ventilokonvektora 12

Tablica 6 Usporedba učina pri ispitnim i projektnim uvjetima 14

Tablica 7 Tehničke karakteristike dizalice topline zrak-voda 16

Tablica 8 Tehničke karakteristike sustava za pripremu PTV-a 17

Tablica 9 Vrijednosti umnoška kA ventilokonvektora 20

Tablica 10 Broj sati s niskom/srednjom/maksimalnom brzinom rada ventilokonvektora 30

Tablica 11 Potrošnja električne energije i ukupno vrijeme rada ventilokovektora 31

Tablica 12 Izračunati parametri dizalice topline 31

Tablica 13 Potrošnja dizalice topline 33

Tablica 14 Ukupna potrošnja električne energije sustava grijanja i hlađenja 33

Tablica 15 Usporedba potrošnje električne energije prije i poslije optimizacije 36

Tablica 16 Vrijednosti COP-a i EER-a nakon optimizacije 36

Tablica 17 Rezultati proračuna za sustav pripreme PTV-a 40

SAŽETAK

U ovom radu modeliran je i optimiziran sustav grijanja i hlađenja referentne obiteljske kuće gotovo nulte energije (nZEB) za kontinentalnu Hrvatsku. Kuća je bruto površine 236m^2 (od čega je 177 m^2 grijano i hlađeno) i njena potrebna energija za grijanje iznosi 22 kWh/m^2, dok je potreba za hlađenjem jednaka 88 kWh/m^2. Podaci o potrebnoj energiji za grijanje i hlađenje su prethodno izračunati u Projektu PE. Sustav se sastoji od dizalice topline kao sustava proizvodnje i ventilokonvektora kao sustava predaje. Koristeći podatke o potrebnoj energiji za grijanje i hlađenje, u MATLABU je izrađen model za izračun potrošnje električne energije sustava grijanja i hlađenja, u svakom satu za referentnu meteorološku godinu. Polazna temperatura za slučaj grijanja je opisana krivuljom grijanja, dok je za slučaj hlađenja temperatura iznosila 7°C. Vrijednosti COP-a i EER-a dizalice topline, pomoću kojih je izračunata potrošnja električne energije, su određene interpolacijom podataka proizvođača o ovisnosti o uvjetima rada. Potrošnja električne energije sustava grijanja i hlađenja iznosi 5235 kWh (30 kWh/m^2). Također je provedena optimizacija temperature polaza vode sa svrhom smanjenja potrošnje električne energije, čime je ostvareno smanjenje potrošnje na 4646 kWh (26 kWh/m^2) godišnje, odnosno 11% manje.

U radu je također izračunata potrošnja sustava za zagrijavanje potrošne tople vode, a koji se sastoji od solarnog kolektora i spremnika s dodatnim električnim grijačem. Potrebna temperatura vode u spremniku je 60°C. Potrebna toplinska energija za pripremu PTV-a izračunata pomoću norme HRN EN 15316-4-3:2008 iznosi 2894 kWh, od čega se 1770 kWh (61%) pokriva solarnim sustavom.

SUMMARY

In this thesis, a heating and cooling system of a reference near zero energy family house (nZEB) for continental Croatia has been modeled and optimized. A gross surface of the house is 236 m^2 (od which 177 m^2 is heated and cooled) with heating demand of 22 kWh/m^2, and cooling demand of 88 kWh/m^2. Data on the energy required for heating and cooling was previously calculated in the PE Project. The system consists of a heat pump as a production system and fan coils. Using the data for energy demand, a model for the calculation of the system's electricity consumption has been made on an hourly basis for a referent meteorological year. The water supply temperature for heating has been modeled using a heating curve, while the supply water temperature for cooling has been set as constant 7°C. The values of the COP and EER of a heat pump, needed for the calculation of the electricity consumption, have been determined by interpolating manufacturers' data for different working conditions. The annual electricity consumption for the operation of the heating and cooling system is 5235 kWh (30 kWh/m^2). The optimization of the supply water temperature was also done, with the purpose of lowering the energy consumption. As a result of the optimization, the annual electricity consumption has been reduced to 4646 kWh (26 kWh/m^2), which is a reduction of 11%.

The consumption of a domestic hot water (DHW) heating system has also been calculated. The system consists of a solar collector and a tank with an additional electric heater. The required water temperature in the tank is 60°C. Energy demand for DHW has been calculated in accordance with the HRN EN 15316-4-3:2008 standard and amounts 2894 kWh, out of which 1770 kWh (61%) can be provided by the solar collectors.

1. UVOD

Tema diplomskog rada je modeliranje i optimizacija sustava za grijanje i hlađenje nZEB obiteljske kuće te proračun solarnog sustava za pripremu PTV-a. Opisana je referentna nZEB obiteljska kuća za kontinentalnu Hrvatsku s meteorološkim podacima za tipičnu meteorološku godinu za grad Zagreb. Termotehnički sustav se sastoji od dizalice topline kao centralne jedinice i ventilokonvektora za predaju toplinske i rashladne energije. Model sustava je programiran koristeći računalni program MATLAB i podatke dobivene prethodnom simulacijom u računalnom programu TRNSYS, u Projektu PE [1]. U režimu grijanja, temperatura polaza vode isprva je opisana krivuljom grijanja, dok je temperatura polaza vode kod hlađenja bila konstantna. U nastavku je temperatura polaza optimizirana u svrhu smanjenja potrošnje električne energije. Potrebno je bilo pronaći funkciju koja što bolje opisuje ovisnost veličina COP-a i EER-a o polaznoj temperaturi vode, temperaturi okoliša i opterećenju dizalice topline, zbog određivanja potrošnje dizalice topline za različite radne uvjete kroz godinu. Funkcija je opisana pomoću izmjerene vrijednosti faktora COP-a i EER-a dobivenih od proizvođača. Odabrani su ventilokonvektori odgovarajućeg učina za projektne uvjete te im je određen broj za pojedine prostorije. Učin ventilokonvektora za svaki sat u godini određen je pomoću NTU metode. Pri tome je učin izračunat je za minimalnu, srednju i maksimalnu brzinu vrtnje ventilatora. Na temelju potrebne toplinske, odnosno rashladne energije za svaki ventilokonvektor određeno potrebno vrijeme rada i brzina rada ventilokonvektora. Sve vrijednosti parametara termotehničkog sustava su izračunate za svaki sat u godini za slučaj grijanja i hlađenja. U radu su prikazani rezultati potrošnje struje u slučaju grijanja odnosno hlađenja za ventilokonvektorske ventilatore i dizalicu topline prije i nakon optimizacije temperature polaza. Rad nije obuhvaćao modeliranje sustava distribucije.

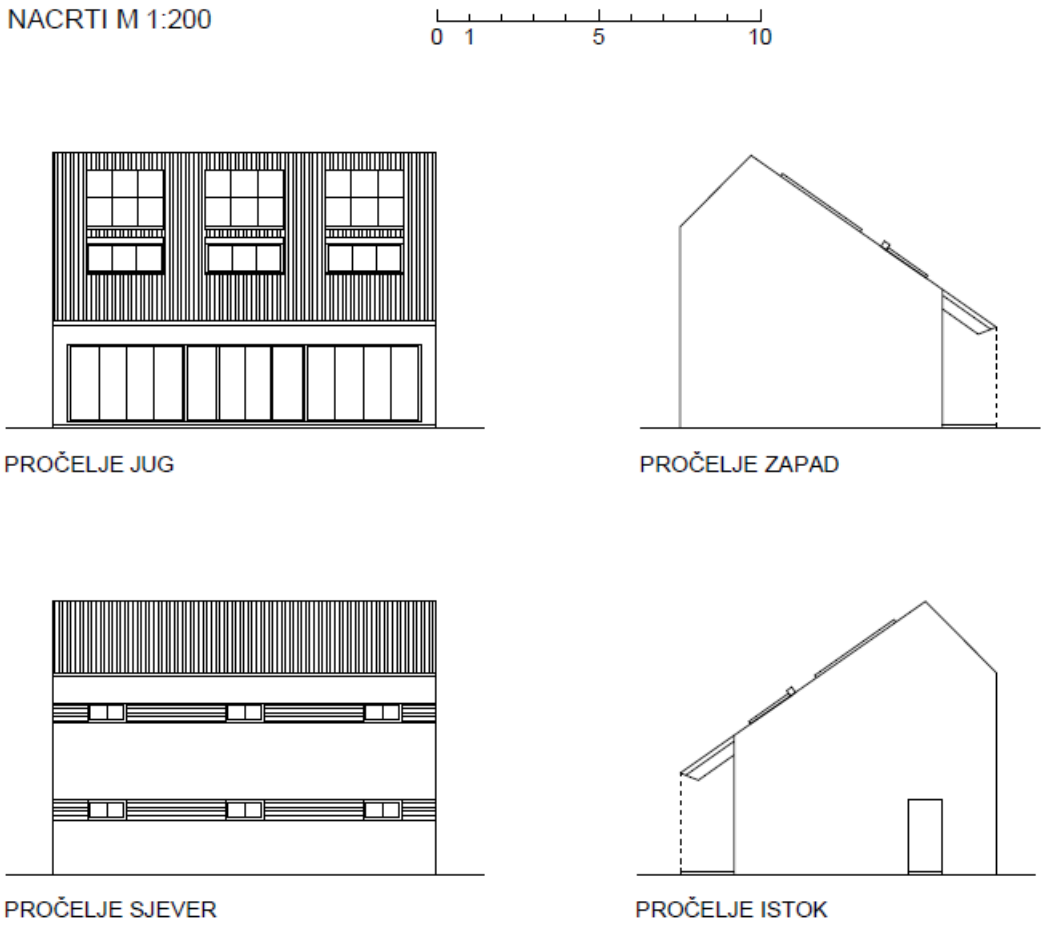
Sustav za pripremu potrošne tople vode koji se sastoji od spremnika vode sa solarnim kolektorom i pomoćnog električnog grijača je proračunat prema normi HRN EN 15316-4-3:2008. Izračunata je količina energije koju pokriva solarni kolektor te preostali dio energije koji se pokriva električnim grijačem smještenim u spremniku PTV-a. Proračun je proveden na mjesečnoj bazi.

2. PODACI O OBJEKTU

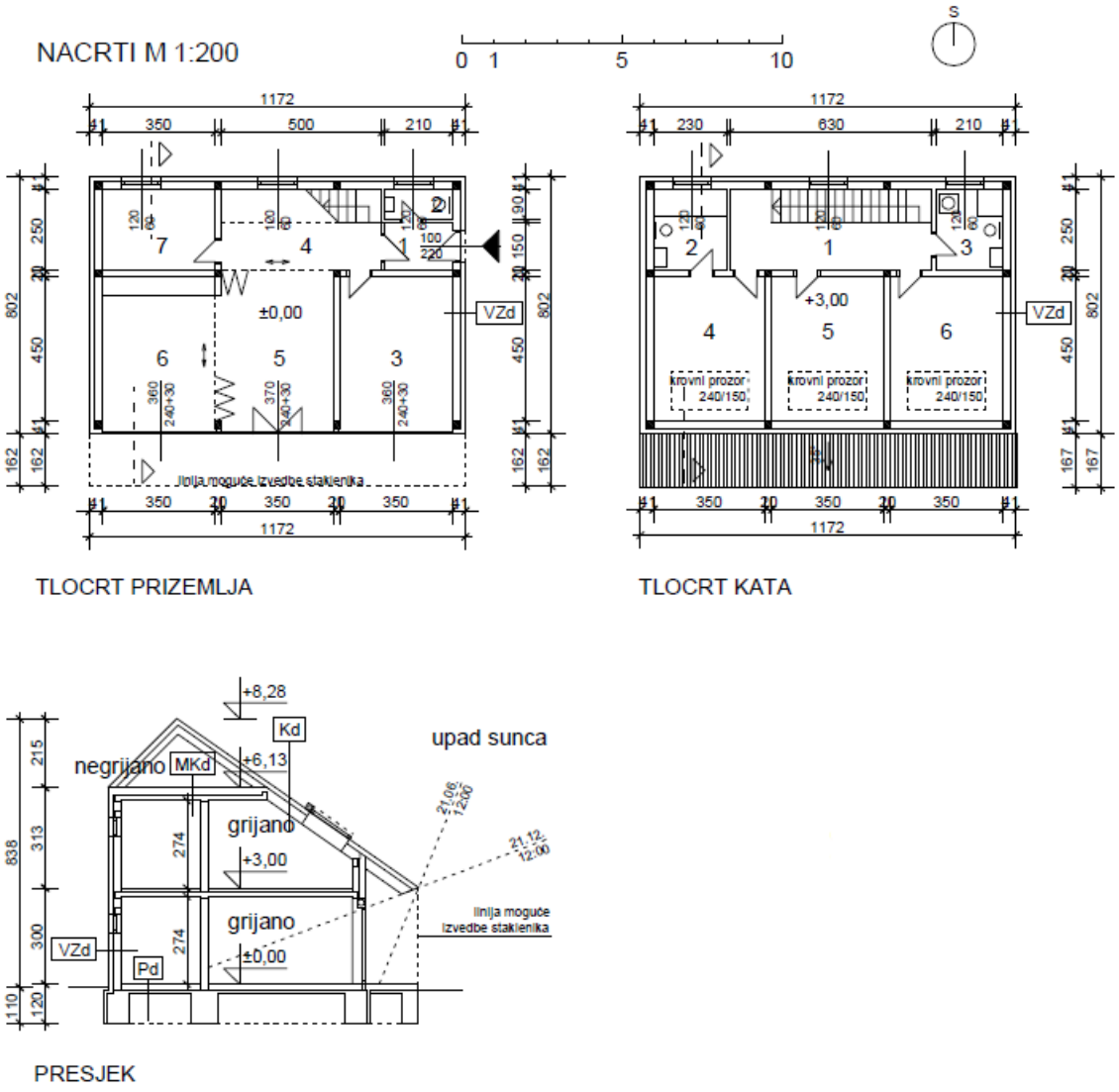
2.1. Opis objekta

Predmet modeliranja i optimizacije je sustav grijanja i hlađenja referentne nZEB (zgrada gotovo nulte energije) obiteljske kuće za kontinentalnu Hrvatsku. Referentne zgrade su definirane za određenu namjenu i geografsku lokaciju, uzimajući u obzir klimatske uvjete podneblja u kojoj se nalaze i zahtjeve za grijanjem, hlađenjem i ventilacijom. Referentne zgrade predstavljaju zgrade prosječnog oblika i geometrije, a ovojnicu sačinjavaju standardno korišteni materijali čije su debljine i svojstva definirani s obzirom na namjenu i geografsku lokaciju. Referentne nZEB zgrade svojom strukturom i izračunatim vrijednostima, poput potrebne energije za grijanje i hlađenje, služe kao referentni slučaj pri gradnji novih nZEB objekata.

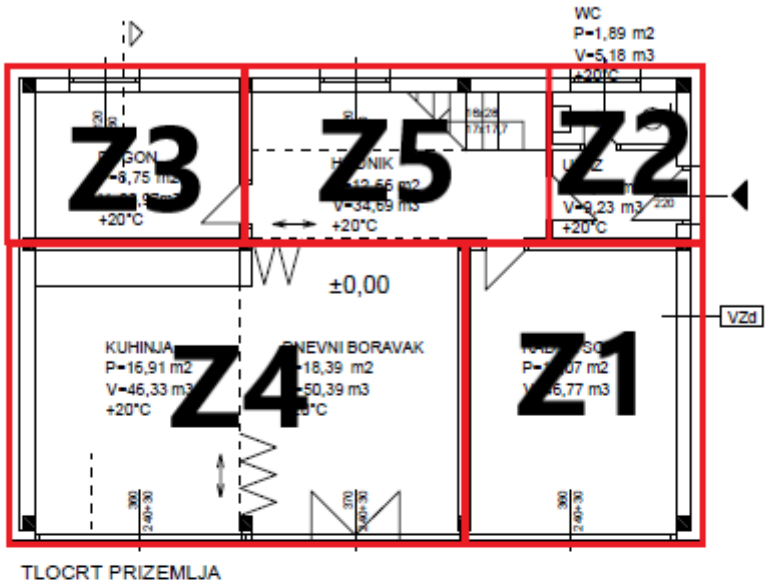
Podaci o potrebnoj energiji za grijanje i hlađenje kroz godinu dobiveni su simulacijom modela kuće pomoću modula za višezonsku zgradu, Type 56, u računalnom programu TRNSYS u Projektu PE. Objekt je dvoetažna obiteljska kuća kondicionirane površine 154 m^2. Kuća ima 11 soba i podijeljena je u 9 toplinskih zona, od kojih je njih 8 grijano, odnosno hlađeno, tok tavan kuće nije kondicioniran. Zoniranje je izvršeno prema HRN EN ISO 52016-1:2017 normi. Vrijeme grijanja odnosno hlađenja zadano je od 6 h do 23 h, sedam dana u tjednu. Postavna temperatura zraka u slučaju grijanja iznosi 20°C, a u slučaju hlađenja 22°C. Unutarnji dobici iznose 5W/m^2. Infiltracija je za sve grijane i hlađene zone postavljena na 0,5 izmjena po satu. Vanjski zidovi objekta su napravljeni od blok opeke i izolirani s 16 cm EPS-a. Vrijednost otpora prolaza topline vanjskih zidova iznosi 5,153 m^2K/W, dok je debljina 43,5 cm. Otpor prolaza topline poda iznosi 3,119 m^2K/W, a krova između 7,435 i 3,057 m^2K/W. Ostali parametri referentne nZEB zgrade detaljno su prikazani u Projektu PE. Nacrti, tlocrti i podjela na toplinske zone vidljivi su na Slikama 1-3.

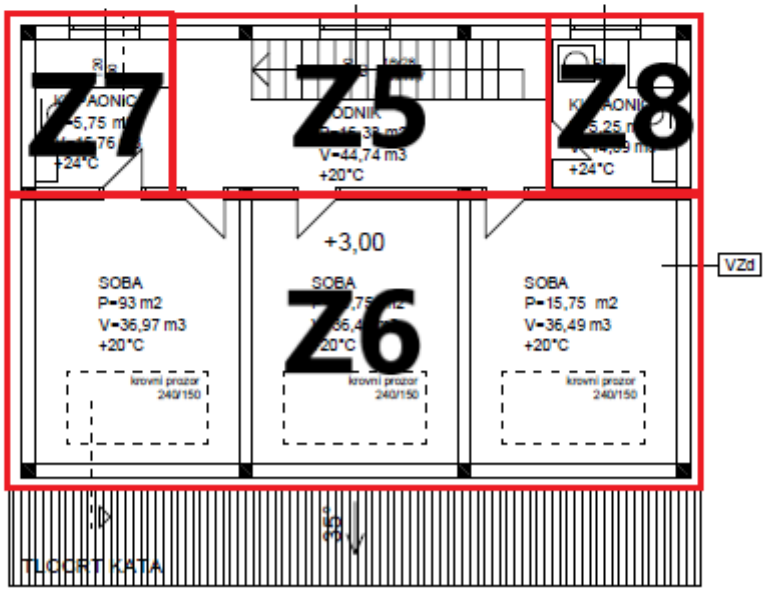


Slika 1 Pročelja referente nZEB kuće



Slika 2 Nacrti referentne nZEB kuće





Slika 3 Podjela na toplinske zone

2.2. Rezultati godišnje potrebne energije za grijanje i hlađenje

Simulacijom energijskog modela zgrade u TRNSYS-u, u Projektu PE su dobiveni rezultati potrebne godišnje energije za grijanje i hlađenje za svaki sat u godini. Svi potrebni meteorološki podaci su uzeti za referentnu meteorološku godinu za kontinentalnu Hrvatsku. Broj sati u godini kada sustav radi u režimu grijanja iznosi 2012, dok broj sati u godini kada sustav radi u režimu hlađenja iznosi 4367. Ukupna godišnja potrebna energija za grijanje iznosi 3868 kWh, odnosno 22 kWh/m^2, a ukupna godišnja potrebna energija za hlađenje iznosi 15563 kWh, odnosno 88 kWh/m^2. Rezultati su prikazani u Tablici 1.

Tablica 1 Godišnja potrebna energija za grijanje i hlađenje

Broj zone	**Ime zone**	**Površina**	**Q_{Hnd_god}**	**Q_{Cnd_god}**	**$Q_{Hnd_spec_god}$**	**$Q_{Cnd_spec_god}$**
		[m^2]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m^2]	[kWh/m^2]
1.	Radna soba	20,09	448	2542	22	126
2.	Ulaz	7,71	220	265	28	34
3.	Pogon	8,31	274	383	33	46
4.	Kuhinja i dnevni boravak	38,63	765	4798	19	124
5.	Hodnik	27,40	753	847	27	30
6.	Spavaće sobe	58,72	937	6149	15	104
7.	Sobna kupaonica	8,31	251	276	30	33
8.	Glavna kupaonica	7,71	217	300	28	39
	Ukupno	177	3868	15563	22	88

Tablica 2 prikazuje najveću potrebnu energiju za grijanje i hlađenje koju termotehnički sustav mora isporučiti pojedinim zonama, a kako bi se održala postavna temperatura od 20°C u slučaju grijanja, odnosno 22°C u slučaju hlađenja. Maksimalna potrebna energija koju sustav treba

predati u jednom satu u razdoblju grijanja iznosi 1,79 kWh za Zonu 6, dok je najveća potreba za rashladnom energijom 4,10 kWh, također u Zoni 6.

Tablica 2 Maksimalna satna potrebna energija po zonama

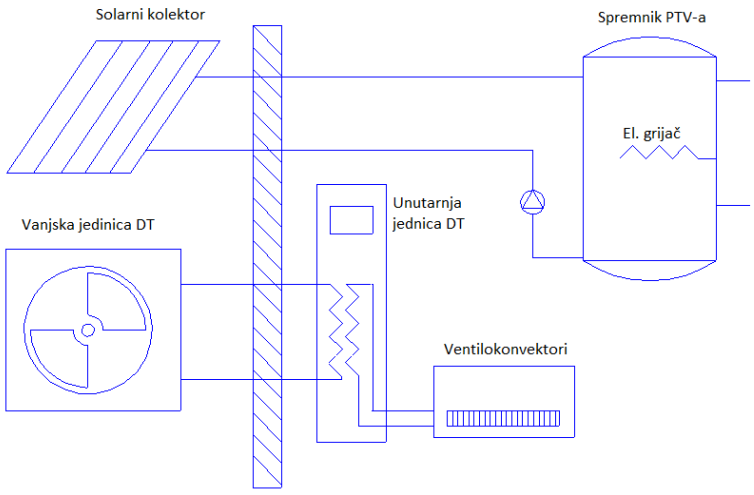
Zona	**Površina**	**Najveća satna potrebna energija za grijanje/hlađenje zone**	
		$Q_{Hnd_sat_max}$	$Q_{Cnd_sat_max}$
-	[m^2]	[kWh]	[kWh]
Z1	20,09	0,85	1,66
Z2	7,71	0,28	0,21
Z3	8,31	0,36	0,28
Z4	38,63	1,46	3,12
Z5	27,40	1,02	0,71
Z6	58,72	1,79	4,10
Z7	8,31	0,31	0,23
Z8	7,71	0,29	0,23

3. OPIS SUSTAVA ZA GRIJANJE, HLAĐENJE I PRIPREMU PTV-A

U radu je modeliran sustav grijanja i hlađenja kuće te sustav za pripremu potrošne tople vode. Sustav grijanja i hlađenja se sastoji od dizalice topline kao centralne jedinice koja je zadužena za pripremu vode za ventilokovektore. Dizalica topline i ventilokonvektori oboje koriste električnu energiju za rad.

3.1. Shema sustava

Sustav grijanja i hlađenja kuće te sustav za pripremu potrošne tople vode (PTV) obuhvaća dizalicu topline voda-zrak te solarni sustav sa spremnikom vode i pomoćnim električnim grijačem. Dizalica topline se sastoji od vanjske jedinice koja se nalazi izvan objekta i unutarnje jedinice koja se nalazi unutar objekta. Dizalica topline priprema vodu potrebne temperature za ventilokonvektore koji su zaduženi za održavanje postavnih temperatura u prostorijama kuće. Shema sustava dana je na Slici 4.



Slika 4 Shema sustava za grijanje, hlađenje i pripremu potrošne tople vode

3.2. Sustav predaje

Za ogrijevna odnosno rashladna tijela za održavanje postavne temperature zraka u prostoru predviđeni su ventilokonvektori. Ventilokonvektori su izmjenjivači topline koji predaju toplinsku/rashladnu energiju prisilnom konvekcijom, pri čemu kao medij koriste vodu. Strujanje zraka oko orebrene površine izmjenjivača ostvareno je pomoću električnog ventilatora, stoga je ovoj vrsti izmjenjivača topline potrebna električna energija za pogon ventilatora. Toplinski/rashladni učin ventilokonvektora regulira se promjenom protoka zraka, odnosno regulacijom brzine vrtnje ventilatora i temperature vode. Ventilokonvektori imaju mogućnost grijanja i hlađenja prostora te su iz tih razloga prigodni za korištenje u kombinaciji s dizalicama topline.

S obzirom da opseg rada nije obuhvaćao proračun projektnog toplinskog opterećenja, učin ventilokonvektora odabran je prema maksimalnoj satnoj potrebnoj energiji za grijanje, odnosno hlađenje pojedinih zona prikazanoj u Tablici 2. Svi ventilokonvektori su istog toplinskog učina i imaju mogućnost rada na 3 brzine. Broj ventilokonvektora određen je na temelju sljedećih zahtjeva:

- ako zona ima više prostorija, svaka prostorija mora imati barem jedan ventilokonvektor;
- ukupan broj ventilokonvektora u pojedinoj zoni mora zadovoljiti maksimalnu potrebu za toplinskom/rashladnom energijom te zone;
- potrebna snaga ventilokonvektora uvećana je za 20% u odnosu na rezultat proračuna kao faktor sigurnosti da će snaga biti dostatna i pri projektnim uvjetima.

Tablica 3 Podaci korišteni za dimenzioniranje ventilokonvektora

Zona	**Najveća satna potrebna energija za grijanje/hlađenje zone**		**Broj prostorija**	**Najveća satna potrebna energija za grijanje/hlađenje prostorije**		**Potrebna snaga ventilokonvektora po prostoriji uvećana za 20%**	
-	[kWh]		-	[kWh]		[kW]	
Z1	0,85	1,66	1	0,85	1,66	1,02	2,00
Z2	0,28	0,21	1	0,28	0,21	0,34	0,25
Z3	0,36	0,28	1	0,36	0,28	0,43	0,34
Z4	1,46	3,12	2	0,73	1,56	0,88	1,87
Z5	1,02	0,71	1	1,02	0,71	1,22	0,85
Z6	1,79	4,10	3	0,60	1,37	0,71	1,64
Z7	0,31	0,23	1	0,31	0,23	0,38	0,27
Z8	0,29	0,23	1	0,29	0,23	0,35	0,27

Iz Tablice 3 vidi se kako najveća satna potrebna energija za grijanje prostorije iznosi 1,02 kWh za Zonu 5, dok je najveća satna potrebna energija za hlađenje 1,66 kWh za Zonu 1. Pri tome je bitno napomenuti da je u radu zanemarena izmjena latentne topline na ventilokonvektorima (odvlaživanje zraka u sezoni hlađenja). Na temelju spomenutih podataka odabran je je parapetni ventilokonvektor *Vaillant aroVAIR CN*, pri čemu ukupni broj potrebnih ventilokonvekora iznosi 11, smještenih po jedan u svakoj prostoriji [2]. Učin hlađenja odabranog ventilokonvektora za

ispitne uvjete (režim grijanja 45/40°C i režim hlađenja 7/12°C) iznosi 2,97 kW, a za grijanje 3,30 kW. Tehnički podaci proizvođača ventilokonvektora dani su u Tablici 5.

Tablica 4 Tehničke karakteristike ventilokonvektora pri ispitnim uvjetima

Vaillant aroVAIR VA 1-045 CN		**Jedinica**	**Iznos**
Protok zraka (maks. / sred. / min.)		m^3/h	678/492/393
Hlađenje	Učin (maks. / sred. / min.)	kW	2,97/2,39/1,82
Grijanje	Učin (maks. / sred. / min.)	kW	3,30/2,54/1,87
Volumni protok vode		l/h	520
Snaga ventilatora		W	26/13/6

Tablica 5 Ispitni uvjeti ventilokonvektora

	Temperatura polaza	**Temperatura povrata**	**Temperatura zraka**
Jedinica	[°C]	[°C]	[°C]
Hlađenje	7	12	27
Grijanje	45	40	20

Nakon odabira ventilokonvektora iz kataloga prema podacima za maksimalno satno toplinsko opterećenje, izvršen je proračun učina za projektne uvjete: temperatura prostorije 20°C, temperatura polaza 55°C i temperatura povrata 45°C [5]. Projektni uvjeti u režimu hlađenja su:

temperatura prostorije 22°C, temperature polaza vode 7°C i temperatura povrata 12°C. Proračun učina za projektne uvjete izvršen je pomoću formule:

$$Q_H = Q_{H,N} * \left(\frac{\Delta t_m}{\Delta t_{m,N}}\right)^n \quad (1)$$

pri čemu je:

Q_H – učin izmjenjivača u projektnim uvjetima [W]

$Q_{H,N}$ – učin izmjenjivača u ispitnim uvjetima [W]

Δt_m – srednja logaritamska temperaturna razlika za projektne uvjete [°C]

$\Delta t_{m,N}$ – srednja logaritamska temperaturna razlika za ispitne uvjete [°C]

n – eksponent ogrjevnog/rashladnog tijela [-].

Eksponent ventilokonvektora *n* iznosi 1,01 i izračunat je iz podataka proizvođača različitih snaga ventilokonvektora pri različitim temperaturnim režimima. Iz Tablice 6 vidi se kako je projektna snaga odabranog ventilokonvektora dovoljna i pri najvećem opterećenju te kolika je razlika u odnosu ispitnih i projektnih uvjeta.

Tablica 6 Usporedba učina pri ispitnim i projektnim uvjetima

	Maksimalni učin grijanja	**Maksimalni učin hlađenja**
	[kW]	[kW]
Ispitni uvjeti	3,30	2,97
Projektni uvjeti	4,39	2,10
Potrebna snaga	1,02	1,66
Razlika potrebne i instalirane snage	77%	21%

Naknadnim proračunom predane topline ventilokonvektora po satu u MATLAB-u, uočeno je da u Zoni 1 ventilokonvektor ne predaje dovoljnu količinu toplinske energije. Temperatura polaza u slučaju grijanja, koja ovisi o krivulji grijanja, ne osigurava dovoljno visoku temperaturu polaza koja je potrebna kako bi ventilokovektor zadovoljio potrebnu energiju za grijanje u kritičnom satu. Iz navedenog razloga povećan je broj ventilokonvektora u Zoni 1 s 1 na 2, što dovodi do konačnog broja od 12 ventilokonvektora.

3.3. Sustav proizvodnje

Kao centralna jedinica termotehničkog sustava odabrana je dizalica topline zrak-voda. Ona osigurava pripremu hladne ili tople vode za sustav predaje (ventilokonvektori) kojim se ostvaruje održavanje postavne temperature. Toplinski i rashladni učin dizalice topline je odabran prema maksimalnom potrebnom učinu za grijanje i hlađenje cijelog objekta.

Dizalice topline su ogrjevno-rashladni uređaji koji koriste ljevokretne kružne procese kako bi prenijele energiju s medija niže temperature na medij više temperature uz utrošak električne

energije. Kod dizalica topline zrak-voda, dio toplinske energije uzima se iz vanjskog zraka i predaje vodi, kao mediju za prijenos topline unutar kuće u slučaju grijanja. Pri tome je potrebna električna energija za pogon kompresora. Kod hlađenja je obrnuti tok – toplinska energija se odvodi vodi i predaje zraku uz utrošak električne energije. Količina toplinske/rashladne energije koja je predana u odnosu na utrošeni rad, izražava se faktorom grijanja β_H odnosno hlađenja β_R:

$$\beta_H = \frac{Q}{W} \tag{2}$$

$$\beta_R = -\frac{Q_0}{W} \tag{3}$$

gdje je:

β_H – faktor grijanja [-]

β_R – faktor hlađenja [-]

Q – toplina predana mediju [J]

Q_0 – toplina predana okolišu [J]

W – utrošen rad procesa [J].

U stručnoj literaturi se češće nailazi na engleski izraz „coefficient of performance (skraćeno: COP)“, u slučaju grijanja, i „energy efficiency ratio (skraćeno: EER)“ za slučaj hlađenja. Prednost sustava s dizalicama topline je u tome što mogu predati nekoliko puta više toplinske, odnosno rashladne energije u odnosu na potrošenu električnu energiju. Kod dizalica topline zrak-voda, ta se vrijednost u prosjeku kreće oko 3 do 4, što znači da se za 1 kWh utrošene električne energije može dobiti 3 do 4 kWh toplinske/rashladne energije.

Dizalica topline je dimenzionirana prema potrebama sustava predaje, pri čemu su u radu zanemareni gubici sustava distribucije. Kada se radi o toplinskom/rashladnom učinu, dizalica topline mora biti sposobna podnijeti najveći satni zahtjev za toplinskom/rashladnom energijom u godini, na razini čitave kuće. Najveća satna potrebna energija u godini za grijanje kuće je 6,3 kWh,

dok je u slučaju hlađenja 10,4 kWh. S obzirom na to, odabrana je dizalica topline Daikin Altherma od 11,2kW snage u slučaju grijanja i 12,1 u slučaju hlađenja.

Tablica 7 Tehničke karakteristike dizalice topline zrak-voda

Niskotemperaturna split Daikin Altherma 11S18CB3V + 011CV3 1 (unutarnja + vanjska jedinica)		
Učin grijanja	[kW]	11,2
Učin hlađenja	[kW]	12,1

COP i EER dizalice topline ovisi o slijedeća tri parametra:

1. temperaturi vode
2. temperaturi okolišnog zraka
3. iznosu djelomičnog opterećenja (eng. „part load ratio“).

Iznos djelomičnog opterećenja odnosi se na omjer predane topline i maksimalnog kapaciteta dizalice topline. S obzirom da se sva tri parametra mijenjaju iz sata u sat, bilo je potrebno matematički opisati zavisnost vrijednosti COP-a i EER-a o navedene tri varijable. U tu svrhu korišteni su podaci od proizvođača pri različitim režimima rada. U slučaju grijanja, korišteni su dostupni podaci za temperature polaza vode od 35°C, 45°C i 50°C, temperature okolišnog zraka od 10°C, 5°C, 0°C i -10°C te stupnja opterećenja dizalice topline od 100%, 75%, 50% i 30%. Za vrijednosti EER-a korišteni su podaci proizvođača za temperaturu polaza vode od 6°C, 8°C, 10°C i 14°C, temperature okolišnog zraka od 40°C, 30°C, 20°C i 15°C te stupnja opterećenja dizalice topline od 100%, 75%, 50% i 30% [3].

3.4. Sustav pripreme PTV-a

Sustav za pripremu potrošne tople vode u objektu je solarni sustav s pomoćnim električnim grijačem. Sastoji se od dva solarna kolektora povezana sa spremnikom PTV-a, u koji je ugrađen pomoćni električni grijač, i pumpe za ostvarivanje protoka između kolektora i spremnika. Električni grijač je instaliran kako bi dogrijavao vodu na potrebnu temperaturu od 60°C ukoliko solarna energija nije dovoljna. Spremnik vode je *CombiVal CR300* s grijačem od 3kW, dok su solarni kolektori pločasti - tipa *UltraSol*, proizvođača *Hoval d.o.o.* Detaljni podaci o sustavu dani su u Tablici 8.

Tablica 8 Tehničke karakteristike sustava za pripremu PTV-a

Ukupna površina solarnog kolektora	[m^2]	4,8
Učinkovitost kolektora, η0	[-]	0,851
Koeficijent učinkovitosti prvog reda	[W/m^2K]	4,107
Koeficijent učinkovitosti drugog reda	[W/m^2K^2]	0,016
Volumen spremnika	[L]	320
Volumen spremnika od vrha do dodatnog grijača	[L]	220
Snaga pumpe	[W]	35
Snaga dodatnog grijača	[kW]	3

4. RAČUNALNI MODEL SIMULACIJE RADA SUSTAVA

Računalni model termotehničkog sustava nZEB obiteljske kuće je izrađen u računalnom programu MATLAB, dok su podaci o potrebnoj energiji za grijanje i hlađenje dobiveni prethodnom simulacijom provedenom u Projektu PE korištenjem računalnog programa TRNSYS. Računalni model opisuje predaju toplinske/rashladne energije na ventilokonvektorima i dizalici topline te potrošnju električne energije. Analiza potrošnje energije provedena je za standardni način upravljanja sustava, s regulacijom temperature polaza vode prema krivulji grijanja (u ovisnosti o vanjskoj temperaturi), odnosno s konstantnom temperaturom polaza vode od 7°C u režimu hlađenja. Također je razvijen algoritma koji omogućuje optimizaciju temperature polaza, a u svrhu smanjenja pogonskih troškova sustava.

4.1. Model ventilokonvektora

Dok je temperatura prostorije konstantna u režimu grijanja (20°C), odnosno hlađenja (22°C), učinkovitost ventilokonvektora i toplinski kapacitet struje zraka su različiti za minimalnu, srednju i maksimalnu brzinu ventilatora ventilokonvektora. Također, predani toplinski/rashladni učin na ventilokonvektoru mijenjaju se u ovisnosti o temperaturi polaza. Temperatura vode u režimu grijanje je različita u svakom satu i regulira se pomoću krivulje grijanja na način da temperatura polaza vode ovisi o temperaturi okolišnog zraka (Slika 5). To znači da će toplinski učin ventilokovektora pri grijanju neizravno ovisiti o temperaturi vanjskog zraka i biti će različit za svaki sat. U slučaju hlađenja, temperatura polaza vode ima konstantnu vrijednost od 7°C te će se rashladni učin ventilokovektora pri hlađenju mijenjati isključivo u ovisnosti brzine vrtnje ventilatora.

Proračun predane toplinske/rashladne energije ventilokonvektora za različite režime rada određen je korištenjem NTU metode. Prema spomenutoj metodi učinkovitost je definirana kao odnos stvarno izmijenjene i maksimalno moguće izmijenjene topline:

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{max}} \tag{4}$$

pri čemu se maksimalno moguća izmijenjena toplina izračunava na temelju maksimalne temperaturne razlike između dvije struje fluida u izmjenjivaču topline.

Osnovni parametar koji se koristi u ovom pristupu jest NTU (eng. *Number Of Transfer Units*) koji ovisi o koeficijentu prolaza topline, izmjenjivačkoj površini i toplinskom kapacitetu slabije struje:

$$NTU = \frac{kA}{(mc)_{min}} \tag{5}$$

$k - koeficijent\ prolaza\ topline\ [\frac{W}{m^2K}]$

$A - površina\ izmjenjivača\ [m^2]$

$(mc)_{min} - toplinski\ kapacitet\ slabije\ struje\ [\frac{W}{K}]$

U slučaju ventilokonvektora kao izmjenjivača topline, može se koristiti formula za protusmjerni izmjenjivač topline prema kojoj se učinkovitost izmjenjivača računa kao:

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{[-NTU*(1-C)]}}{1 - C * e^{[-NTU*(1-C)]}} \tag{6}$$

gdje je:

$$C = \frac{(mc)_{min}}{(mc)_{max}};$$

$(mc)_{min} - toplinski\ kapacitet\ slabije\ struje\ [\frac{W}{K}]$

$(mc)_{max} - toplinski\ kapacitet\ snažnije\ struje\ [\frac{W}{K}]$

Za proračun NTU vrijednosti potrebno je imati podatak o umnošku koeficijenta prolaza topline i površine izmjenjivača (kA). Vrijednost za odabrani ventilokonvektor izračunata je korištenjem formule za izmjenu topline (7) te podataka (temperature vode, zraka i učina pri ispitnim uvjetima) iz kataloga proizvođača.

$$Q = k * A * \Delta t_m \tag{7}$$

Vrijednosti umnoška kA za svaku od 3 brzine rada ventilatora prikazane su u Tablici 9 te su korištene za simulaciju rada ventilokonvektora odnosno za proračun predane toplinske/rashladne energije za različite režime rada.

Tablica 9 Vrijednosti umnoška kA ventilokonvektora

Stupanj rada ventilokonvektora	**kA**	
	Grijanje	Hlađenje
-	[W/K]	[W/K]
1	0,08	0,10
2	0,11	0,14
3	0,15	0,17

Slijedeće vrijednosti ventilokonvektora izračunate su za svaki od 8760 sati u godini i svaku od 3 različite brzine rada ventilokonvektora za sve grijane odnosno hlađene zone:

- toplinski učin ventilokonvektora
- potrebno vrijeme rada u satu
- potrebni utrošak električne energije za rad ventilatora.

Potreba za tim se javlja zbog načina na koji algoritam odabire na kojem će opterećenju raditi ventilokonvektor. Prije odabira opterećenja na kojem ventilokonvektor radi, mora se imati na raspolaganju izračunato vrijeme koje govori koliko dugo ventilokonvektor mora raditi na pojedinoj brzini, a kako bi predao potrebnu energiju. Jednadžba za izračun toplinskog učina je:

$$\dot{Q}_{ventilokonvektora} = \varepsilon * (mc)_{min} * (T_{zraka} - T_{vode}) \tag{8}$$

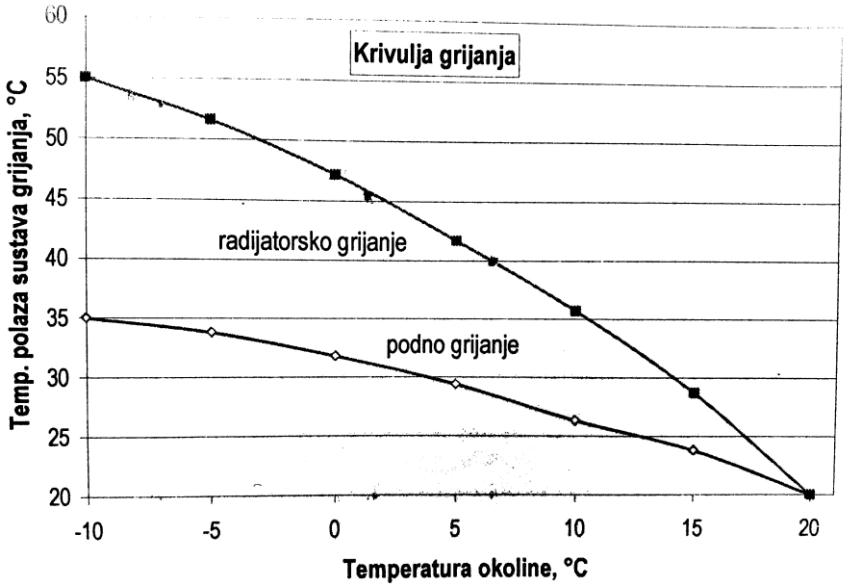
$\dot{Q}_{ventilokonvektora} - toplinski\ učin\ [W]$

$\varepsilon - učinkovitost\ [-]$

$(mc)_{min} - toplinski\ kapacitet\ zraka\ \left[\frac{W}{K}\right]$

$T_{zraka} - temperatura\ zraka\ u\ prostoriji\ [°C]$

$T_{vode} - temperatura\ vode\ na\ ulazu\ u\ ventilokonvektora\ [°C]$.



Slika 5 Krivulja grijanja [5]

Slika 5 pokazuje krivulju koja za režim grijanja opisuje temperaturu polaza vode u ovisnosti o temperaturi okoliša. Za krivulju grijanja u ovom radu uzeta je krivulja grijanja za radijatorsko grijanje. Kada ima potrebe za grijanjem ili hlađenjem, pretpostavljeno je da u slučaju više ventilokonvektora po zoni svi ventilokovektori pojedine zone rade na istoj brzini vrtnje ventilatora. Potrebno vrijeme rada ventilokonvektora u satu se računa kao:

$$t_{rada} = \frac{Q_{nd}}{n_{VK} * \dot{Q}_{ventilokonvektora}} \tag{9}$$

$Q_{nd} - potrebna\ toplinska\ energija\ za\ grijanje\ ili\ hlađenje\ u\ satu\ [J]$

$n_{VK} - broj\ ventilokovektora\ u\ određenoj\ zoni$

$\dot{Q}_{ventilokonvektora} - toplinski\ učin\ [W].$

Iz navedene jednadžbe računa se potrebno vrijeme rada svih ventilokonvektora u pojedinoj zoni na određenoj brzini rada ventilatora, kako bi se zadovoljila potreba za toplinskom/rashladnom energijom u tom satu. Rad ventilokonvektora na većoj brzini znači veću predanu toplinu u kraće vrijeme, ali i višu potrošnju električne energije za rad ventilatora. Potrošnja električne energije na ventilatoru umnožak je snage ventilatora na određenom opterećenju (Tablica 4), vremena rada i ukupnog broja ventilokonvektora u zoni:

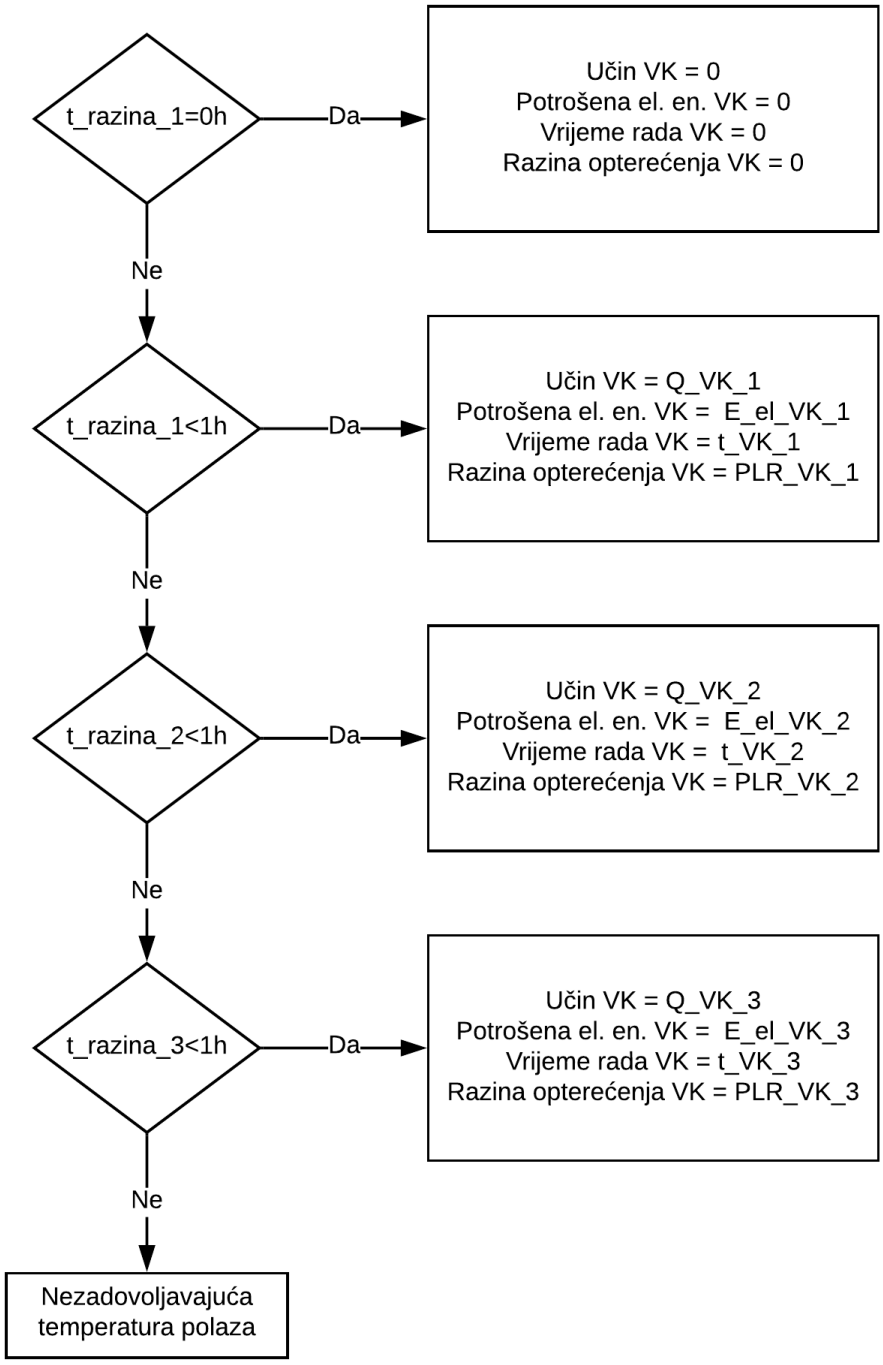
$$E_{el} = n_{VK} * P_{ventilatora} * t_{rada}\ [J] \tag{10}$$

$n_{VK} - ukupni\ broj\ ventilokovektora\ [-]$

$P_{ventilatora} - snaga\ ventilatora\ na\ određenoj\ razini\ [W]$

$t_{rada} - potrebno\ vrijeme\ rada\ [s]$

Za odabir razine rada ventilokonvektora u rasponu od 1 sat na raspolaganju su prethodno izračunati toplinski učinci, potrebno vrijeme rada i utrošena električna energija za svaku od 3 različite brzine vrtnje ventilokonvektora: minimalna, srednja ili maksimalna. Za odabir optimalne brzine, u MATLAB skripti je razvijen algoritam koji određuje brzinu na kojoj ventilokonvektor radi u određenom satu. S obzirom na brzinu rada, algoritam definira ostale relevantne parametre rada ventilokonvektora za svaki sat u godini. Dijagram toka koda prikazan je na Slici 6.



Slika 6 Dijagram toka za odabir brzine ventilokonvektora

Algoritam u prvom koraku provjerava ima li potrebe za radom ventilokonvektora. U slučaju da je potrebna energija za grijanje ili hlađenje 0, vrijeme rada je također 0 te se vrijednostima ogrjevnog ili rashladnog učina, učinkovitosti, potrošnji električne energije i vremenu rada pripisuje vrijednost 0. U slučaju da je vrijeme rada veće od 0, nastavlja se s odabirom razine rada. Proračun počinje s prvom razinom i provjerava se da li ventilokonvektori na toj brzini ventilatora mogu predati potrebnu satnu energiju za grijanje ili hlađenje. Ako da, proračun završava izračunom ostalih relevantnih parametra ventilokonvektora za minimalnu brzine vrtnje. U slučaju da rad na minimalnoj brzini ventilokonvektora nije dostatan, nastavlja se proračun za slijedeću razinu i tako dalje. U slučaju da ventilokonvektor ni uz maksimalnu brzinu vrtnje ne može predati potrebnu energiju o određenom satu, to bi značilo da temperatura polaza nije dovoljno visoka za režim grijanja, odnosno dovoljno niska za režim hlađanja. Opisani proračun se vrši za svaki od 8760 sati u godini za grijanje i za hlađenje te za svaku od zona s obzirom da svaka zona ima različite satne vrijednosti potrebne energije za grijanje i hlađenje.

4.2. Model dizalice topline

Potrošnja električne energije dizalice topline modelirana je za svaki sat u godini u ovisnosti o tri parametra koji utječu na COP, odnosno EER vrijednosti: temperaturu polaza vode, temperaturu vanjskog zraka i stupanj djelomičnog opterećenja. Pri tome su zanemareni gubici sustava distribucije i proizvodnje, odnosno, pretpostavka je da je toplinska energija koju ventilokovektori predaju kući za svaki sat u godini jednaka toplinskoj energiji koju isporučuje dizalica topline. Potrošnja električne energije pri tome ovisi o iznosu COP-a i EER-a, a računa se kao:

$$Potrošnja\ el.en.DT = \frac{Predana\ energija\ ventilokovektorima}{Faktor\ grijanja/hlađenja}\ . \qquad (11)$$

Vrijednosti COP-a u slučaju grijanja i EER-a u slučaju hlađenja računaju se za svaki sat u godini zbog različite vrijednosti parametara o kojima ovise (opterećenje, vanjska temperatura zraka i temperatura polaza vode), a koji se mijenjaju svaki sat.

Promjena COP i EER vrijednosti za različite radne točke opisana je matematičkim funkcijama:

$$COP = 0.00097514 * X1.^2 - 0.0098575 * X1 * X2 - 0.0015661 * X1 * X3 + 0.13753 * X1 + 0.354 * X2.^2 - 0.0027963 * X2 * X3 - 0.38783 * X2 + 0.0004899 * X3.^2 - 0.097433 * X3 + 6.3516 \quad (12)$$

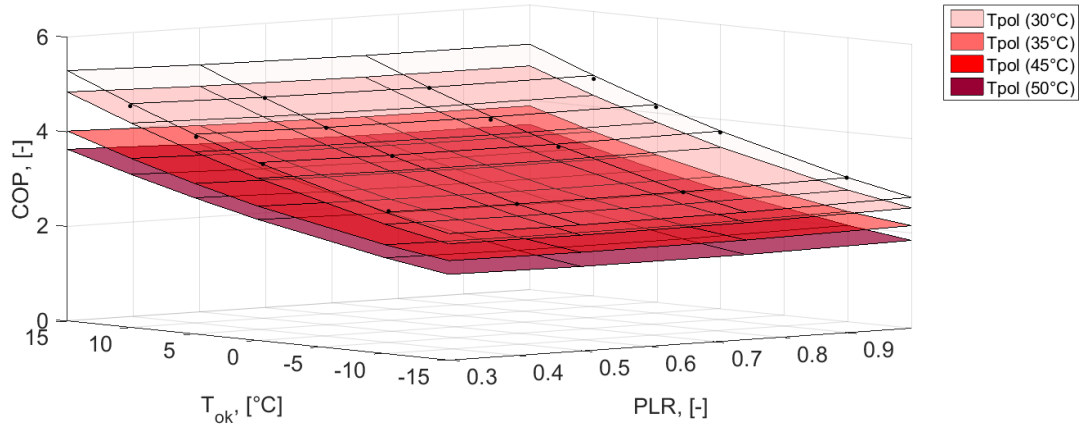
$$EER = -0.0019123 * X1.^2 - 0.035304 * X1 * X2 + 6.3051e-05 * X1 * X3 + 0.049711 * X1 - 0.46476 * X2.^2 - 0.0057768 * X2 * X3 + 1.281 * X2 - 0.0035835 * X3^2 + 0.15152 * X3 + 3.2448 \quad (13)$$

$X1 - temperatura\ okoliša\ [°C]$

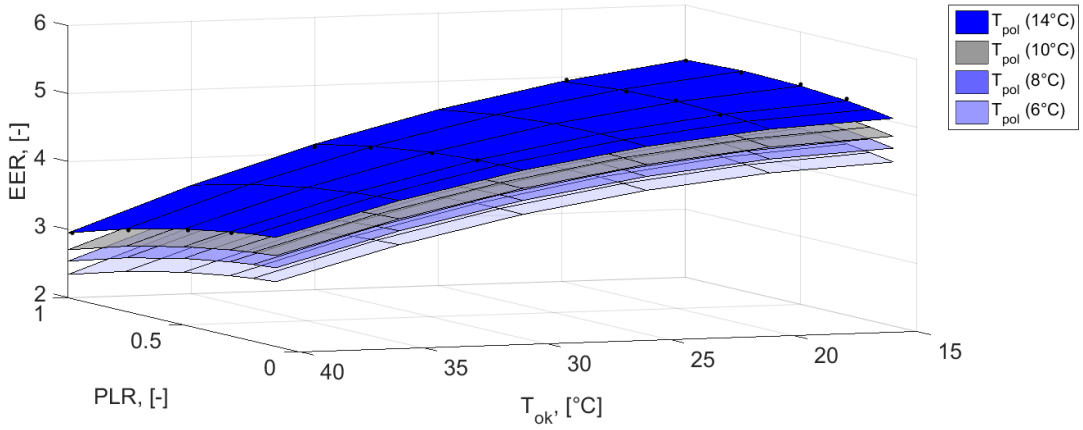
$X2 - djelomično\ opterećenje\ dizalice\ topline\ [-]$

$X3 - temperatura\ polaza\ vode\ [°C]$.

Jednadžbe koje opisuju COP i EER su polinomi drugog stupnja koji aproksimiraju rezultate mjerenja COP-a i EER-a u ovisnosti o tri nezavisne varijable: temperaturi polaza vode, temperaturi okoliša i djelomičnom opterećenju dizalice topline. Polinomi su dobiveni linearnom regresijom korištenjem funkcije „polyfitn“ u MATLABU-a, a koja aproksimira dane vrijednosti polinomom željene potencije. Za linearnu regresiju su korišteni podaci proizvođača *Daikin*. Na Slici 7 i Slici 8 su grafički prikazane vrijednosti COP-a i EER-a za različite temperature polaza vode, stanja okoliša i djelomičnog opterećenja.



Slika 7 Ovisnost COP-a o temperaturama zraka, vode i djelomičnom opterećenju

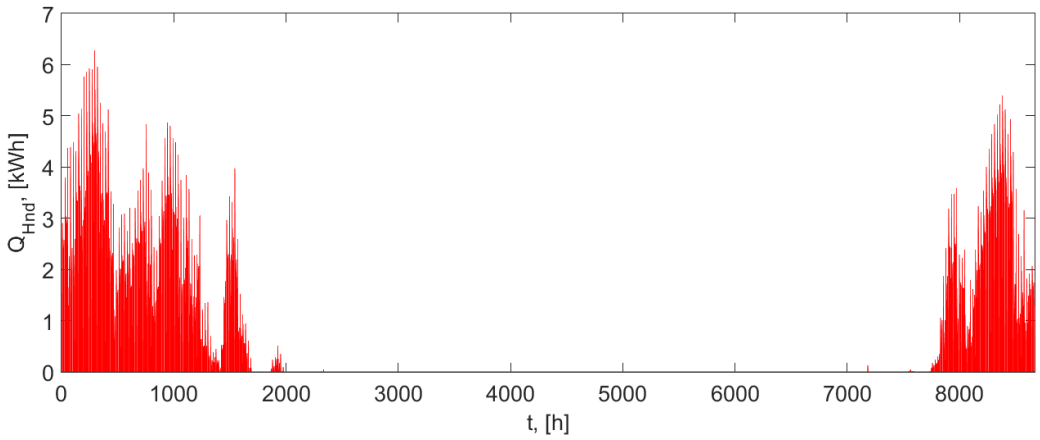


Slika 8 Ovisnost EER-a o temperaturama zraka, vode i djelomičnom opterećenju

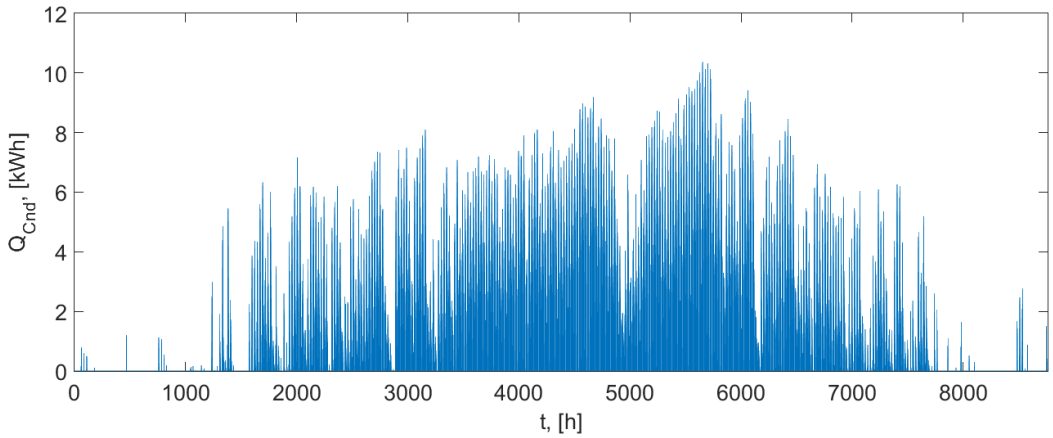
5. REZULTATI

5.1. Potrošnja električne energije za grijanje i hlađenje

Ukupna energija predana na ventilokonvektoru odgovara potrebnoj satnoj energiji za grijanje i hlađenje dobivenoj simulacijom u TRNSYS-u, u Projektu PE. Broj sati u godini kada ima potrebe za grijanjem iznosi 2012, a za hlađenje iznosi 4367 sati u godini. Na Slikama 9 i 10 prikazana je ukupna potrebna energija za grijanje odnosno hlađenje, za cijelu kuću tijekom godine. Maksimalna satna potrebna energija za grijanje iznosi 6,3 kWh, u 269. satu (1. mjesec) u godini, dok maksimalna potrebna energija za hlađenje iznosi 10,4 kWh u 5654. satu (8. mjesec) u godini.

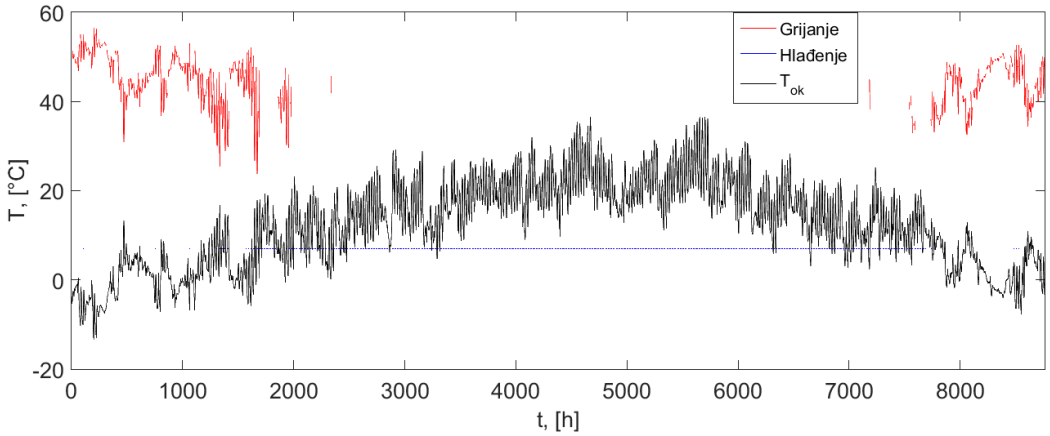


Slika 9 Potrebna energija za grijanje



Slika 10 Potrebna energija za hlađenje

Na Slici 11, prikazana je temperatura polaza vode u režimu grijanja za standardni način regulacije sustava. Temperatura vode u režimu grijanja se kreće od maksimalnih 56,5°C u 200. satu, do najnižih 22,5°C u 844. satu. Prosječna temperatura polaza u slučaju grijanja iznosi 45,0°C. Temperatura vode u režimu hlađenja za standardni način regulacije sustava je konstantna i iznosi °C.



Slika 11 Temperatura polaza bez optimizacije

U Tablici 10 je prikazana brzina vrtnje ventilokonvektora, odnosno brzina vrtnje ventilatora po pojedinim zonama. U slučaju grijanja, ventilokonvektori rade isključivo na minimalnoj brzini, što je očekivano uzevši u obzir da su ventilokonvektori dimenzionirani prema potrebama hlađenja, koje je značajno veće od potrebe za grijanjem. Kod hlađenja, ventilokonvektori rade na sve 3 brzine vrtnje. U Zoni 4 i 6 postoji potreba za srednjom i maksimalnom brzinom kako bi se predala potrebna količina energije. Sve ostale zone se uspješno hlade pri minimalnoj brzini vrtnje ventilokonvektora.

Tablica 10 Broj sati s niskom/srednjom/maksimalnom brzinom rada ventilokonvektora

	Grijanje			**Hlađenje**		
Razina opterećenja	Niska	Srednja	Maksimalna	Niska	Srednja	Maksimalna
	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]
Z1	1413	0	0	4289	0	0
Z2	1886	0	0	3027	0	0
Z3	1832	0	0	3208	0	0
Z4	1396	0	0	3828	158	376
Z5	1969	0	0	2938	0	0
Z6	1505	0	0	3698	149	292
Z7	2008	0	0	2949	0	0
Z8	1927	0	0	3095	0	0

Ukupni broj ventilokonvektora u kući iznosi 12, od čega svaki ima po jedan električni ventilator maksimalne snage 26 W. Ukupan trošak električne energije potrebne za rad ventilokonvektora iznosi 138 kWh, dok je ukupno vrijeme rada 2899 h. Potrošnja i vrijeme rada tijekom grijanja odnosno hlađenja, prikazani su u Tablici 11.

Tablica 11 Potrošnja električne energije i ukupno vrijeme rada ventilokovektora

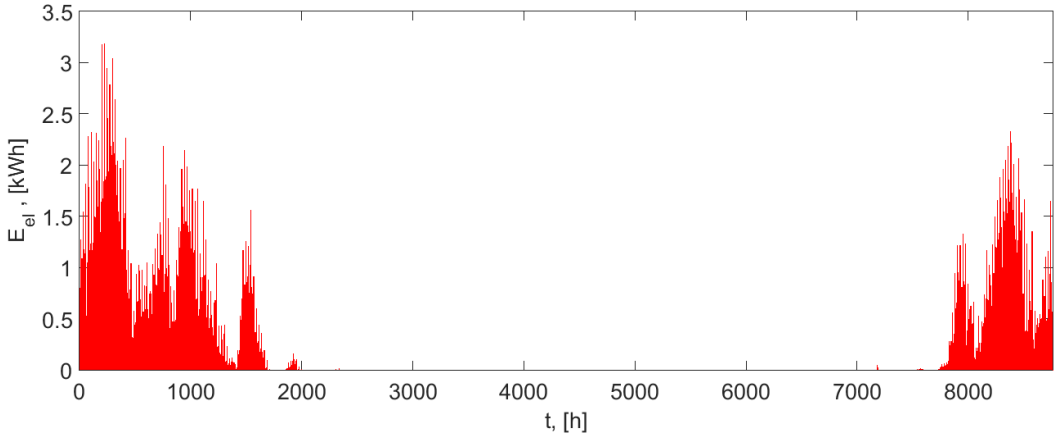
	Jedinice	**Grijanje**	**Hlađenje**
Trošak električne energije	[kWh]	16	122
Ukupno vrijeme rada	[h]	521	2387

Vrijednosti COP-a i EER-a su izračunate za svaki sat u godini kada postoji potreba za radom dizalice topline. U slučaju grijanja, vrijednosti COP-a kreću su se od minimalne vrijednosti od 1,81 u 200. satu (siječanj), do maksimalne od 6,4 u 1672. satu (ožujak) godine. Minimalna vrijednost EER-a iznosi 3,0 u 5703. satu (kolovoz), a maksimalna 4,7 u 2318 satu (travanj). Broj sati u godini kada je dizalica topline radi u režimu grijanja iznosi 2012, dok u režimu hlađenja radi 4367 sati u godini. Izračunata sezonska vrijednost za analiziranu kuću iznosi 3,0 za SCOP, dok SEER-a iznosi 4,5.

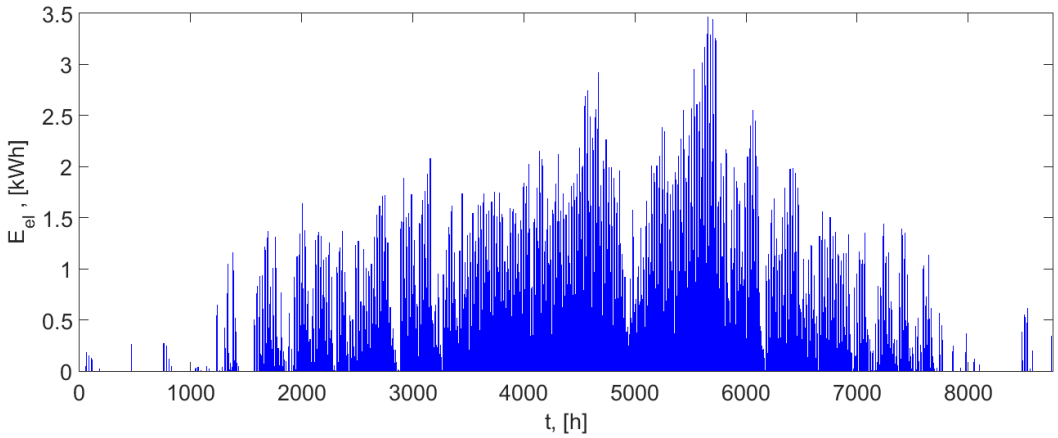
Tablica 12 Izračunati parametri dizalice topline

	COP	**EER**
Maksimalni	6,4	4,7
Minimalni	1,81	3,0
Sezonski	3,1	4,4

Potrošnja električne energije dizalice topline izračunata je korištenjem podataka o isporučenoj toplinskoj/rashladnoj energiji od strane dizalice topline i vrijednosti faktora COP-a i EER-a za svaki sat u godini. Potrošnja električne energije dizalice topline je prikazana na Slikama 12 i 13.



Slika 12 Potrošnja električne energije dizalice topline u režimu grijanja



Slika 13 Potrošnja električne energije dizalice topline u režimu hlađenja

Potrošnja električne energije dizalice topline za grijanje iznosi 1453 kWh dok predana toplinska energija iznosi 3868 kWh. Dizalica topline ima potrebe raditi u režimu grijanja 2012 sata u godini. U slučaju hlađenja, ostvaren je rashladni učin od 15563 kWh za potrošnju električne energije od 3523 kWh. Ukupna potrošnja električne energije dizalice topline za potrebe grijanja i hlađenja vode, iznosi 4976 kWh.

Ukupna potrošnja električne energije za grijanje i hlađenje kuće uključuje električnu energiju dizalice topline te ventilatora ventilokonvektora prikazana je u Tablici 13. Ukupna potrošnja iznosi

1469 kWh (9,5 kWh/m^2) za grijanje, 3645 kWh (23,7 kWh/m^2) za hlađenje, odnosno 5114 kWh (33,2 kWh/m^2) ukupno za grijanje i hlađenje. Od toga potrošnja električne energije dizalice topline iznosi 97% od ukupne potrošnje energije zbog relativno male snagu ventilatora ventilokonvektora.

Tablica 13 Potrošnja dizalice topline

	Jedinica	**Grijanje**	**Hlađenje**
Potrebna godišnja toplinska energija	[kWh]	3868	15563
Ukupna godišnja potrošnja električne energije dizalice topline	[kWh]	1453	3523
Ukupni broj sati rada dizalice topline	[h]	2012	4367

Tablica 14 Ukupna potrošnja električne energije sustava grijanja i hlađenja

	Grijanje		**Hlađenje**	
Jedinica	[kWh]	[kWh/m^2]	[kWh]	[kWh/m^2]
Ventilokonvektori	16	0,1	122	0,7
Dizalica topline	1453	8,2	3523	19,9
Ukupno	1469	8,2	3645	20,6

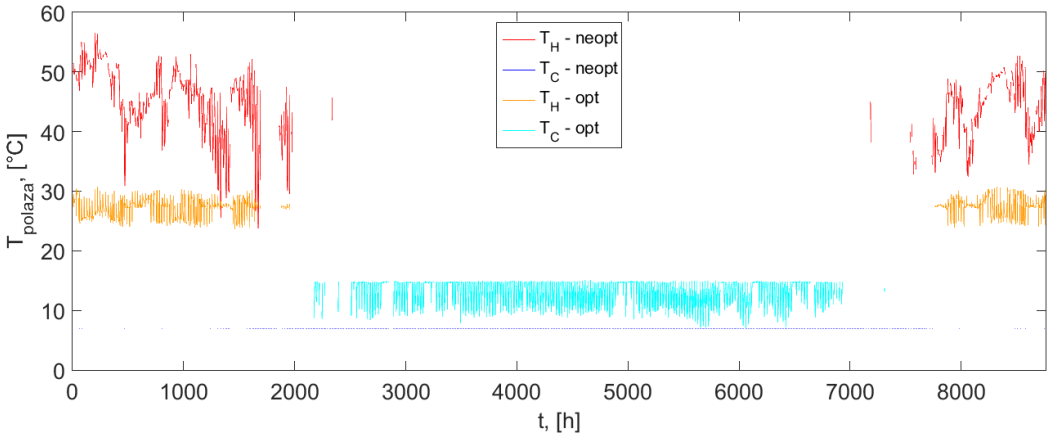
5.2. Potrošnja električne energije u slučaju optimizacije temperature polaza

Temperatura polaza vode jedan je od faktora koji znatno utječe na ogrjevni i rashladni učin ventilokonvektora te potrošnju energije sustava. S jedne strane, veća razlika između temperature prostorije i vode u ventilokonvektoru omogućuje da ventilokovektor preda potrebnu energiju za grijanje ili hlađenje koristeći nižu brzinu rada, pri čemu radi s manjom snagom i ima nižu potrošnju energije. S druge strane u slučaju grijanja, povećanje temperature polaza vode narušava iskoristivost termodinamičkog ciklusa, odnosno dolazi do pada vrijednosti COP-a. Isto se događa i prilikom snižavanja temperature polaza u slučaju hlađenja, pri čemu pada vrijednost EER-a.

U svrhu smanjenja utroška električne energije, izvedena je optimizacija temperature polaza vode. Cilj je bio pronaći temperaturu polaza za za svaki sat u godini za koju je ukupna potrošnja električne energije minimalna. Pri tome se ukupna potrošnja energije sastoji od električne energije koju koriste ventilokonvektori i dizalica topline. Potrošnja električne energije ventilokonvektora ovisi o brzini vrtnje ventilatora i eksponencijalno raste s povećanjem vrtnje. Potrošnja električne energije dizalice topline ovisi o tri varijable (temperaturi vanjskog zraka, opterećenju i temperaturi polaza vode), a računa se pomoću vrijednosti COP-a i EER-a opisanih polinomima 2. stupnja. Optimizacija je provedena za svaki sat u godini.

Optimizacija je provedena na način da je u prvom koraku izračunata minimalna vrijednost temperature polaza za koju ventilokonvektori i dalje mogu predati potrebnu energiju unutar promatranog sata. S obzirom da potrebe za energijom za grijanje i hlađenje različitih zona nisu jednake, a dizalica topline isporučuje vodu jedinstvene temperature polaza svim ventilokonvektorima, minimalna vrijednost temperature polaza je određena prema ventilokonvektoru koji mora predati najveću energiju za grijanje/hlađenje u promatranom satu. Nakon određene minimalne vrijednosti temperature polaza, izračunata je ukupna potrošnja električne energije u satu za određeni raspon temperatura polaza. Raspon temperatura je bio od minimalne potrebne temperature polaza do 55°C, za slučaj grijanja, odnosno od maksimalne izračunate temperature polaza do 7°C, za slučaj hlađenja. Kako optimalna temperatura polaza za promatrani sat odabrana je temperatura pri kojoj je suma potrošnje ventilokonvektora i dizalice topline u tom satu minimalna.

Temperature polaza prije i poslije optimizacije su prikazane na Slici 14 te se vidi značajna razlika u temperaturama polaza i za režim hlađenja, a pogotovo za režim grijanja. Temperatura polaza za slučaj grijanja iznosi i prosjeku 28°C, što je 17°C niže od prosječne temperature polaza opisane krivuljom grijanja. Temperatura vode za slučaj hlađenja iznosi u prosjeku 13°C, što je 8°C više od fiksno zadane temperature hlađenja. Raspon temperatura nakon optimizacije u slučaju grijanja je između 31°C i 24°C, a u slučaju hlađenja između 7°C i 15°C. Značajna razlika između temperature polaza prije i poslije optimizacije se može pripisati predimenzioniranosti ventilokonvektora, s obzirom da je dimenzioniranje provedeno prema najvećoj satnoj potrebnoj energiji za grijanje i hlađenje.



Slika 14 Usporedba temperatura polaza prije i poslije optimizacije

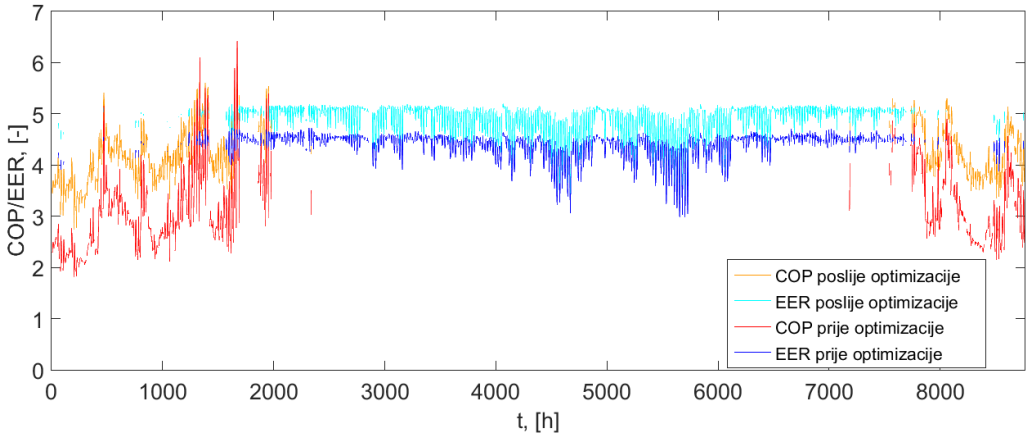
Tablica 15 Usporedba potrošnje električne energije prije i poslije optimizacije

	Potrebna električna energija prije optimizacije	**Potrebna električna energija poslije optimizacije**	**Razlika**
	[kWh]	[kWh]	
Ventilokonvkektori	138	316	+129%
Dizalica topline	5097	4330	-15%
Ukupno	5235	4646	-11%

Usporedba vrijednosti COP-a i EER-a prije i poslije optimizacije prikazana je na Slici 15. Iz Slike 17 se jasno vidi kako su više vrijednosti postignute nakon optimizacije i smanjivanja temperature polaza kod grijanja, odnosno povećavanja u slučaju hlađenja. U odnosu na prosječne vrijednosti prije optimizacije od 3,1 za COP i 4,4 za EER, vrijednost COP-a se povećala za 35%, a vrijednost EER-a za 14%.

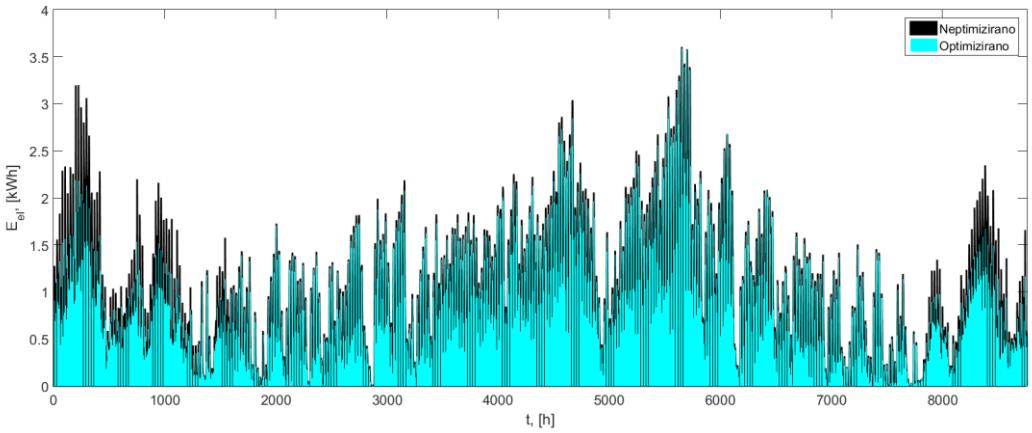
Tablica 16 Vrijednosti COP-a i EER-a nakon optimizacije

	COP	**EER**
Maksimalni	6,0	5,2
Minimalni	2,7	3,0
Sezonski	4,2	5,0



Slika 15 Usporedba iznosa COP-a i EER-a prije i poslije optimizacije

Na Slici 16 vidi se razlika između potrošnje električne energije po satu, prije i poslije optimizacije. Ukupna potrošnja električna energija prije optimizacije iznosi 5235 kWh. Uz optimizaciju temperature polaza ta vrijednost je snižena na 4646 kWh, što je smanjenje od 589 kWh, odnosno 11%. Pri tome potrebna električna energija za rad ventilokonvektora iznosi 316 kWh, što je povećanje u odnosu na potrošnju prije optimizacije od 129%, dok električna energija potrebna za rad dizalice topline nakon optimizacije iznosi 4330 kWh, što je smanjenje od 15%. Rezultati ukazuju na značajnu uštedu primjenjujući optimizaciju temperature polaza. Optimiziranje temperature polaza ima svoja ograničenja u slučaju hlađenja s obzirom da se temperaturom polaza nižom od točke rosišta postiže odvlaživanje prostora. Međutim i dalje je vidljiva značajna ušteda s optimizacijom temperature polaza pri režimu grijanja.



Slika 16 Usporedba potrošnje električne energije prije i poslije optimizacije

5.3. Potrošnja električne energije za pripremu PTV-a

Potrošnja energije sustava za pripremu potrošne tople vode je izračunata prema normi HRN EN 15316-4-3:2008. Proračun je proveden za solarni sustav za pripremu potrošne tople vode koji se sastoji od 2 solarna kolektora ukupne površine 4,8 m^2 i spremnika za vodu od 320 L, s pomoćnim električnim grijačem. Ukupna površina kolektora je određena optimizacijom kapaciteta kolektora kako bi se izbjeglo da u ljetnim mjesecima solarni sustav proizvodi više tople vode nego što se potrebno. Pri biranju veličine spremnika je vođeno računa o tome da veći spremnici vode povećavaju iskoristivost solarnog sustava, što je opisano u Diplomskom radu kolege Marka Hećimovića[6]. Gubici spremnika su uzeti u obzir, a gubici razvoda nisu s obzirom da je u cijelom radu zanemaren gubitak sustava distribucije. Spremnik se nalazi u grijanom prostoru te je za temperaturu zraka uzeta vrijednost od 20°C za razdoblje od prosinca do ožujka, a za ostalo razdoblje uzeta je temperatura od 22°C. Vodu je potrebno zagrijavati na 60°C. Potrebna toplinska energija za pripremu potrošne tople vode pretpostavljena je prema HRN EN 15316-3-1:2008 normi i iznosi 12,5 kWh/m^2a za stambene zgrade s manje od 3 jedinice, što daje godišnju potrebu od 1925 kWh toplinske energije za pripremu PTV. Rezultati potrebne energije za zagrijavanje PTV-a na mjesečnoj razini su prikazani u Tablici 17. Izračun solarne energije isporučene u sustav izračunat je pomoću formula 14 – 16.

$$Q_{W,sol,out,m} = Q_{W,sol,us,m} * \left(aY_W + bX_W + cY_W{}^2 + dX_W{}^2 + eY_W{}^3 + fX_W{}^3\right) \quad [kWh] \quad (14)$$

$Q_{W,sol,us,m} - potrebna\ energija\ za\ zagrijavanje\ PTV\ [kWh]$

$a, b, c, d, e, f - koeficijenti\ [-]$

$Y_W, X_W - bezdimenzijski\ faktori\ [-]$

$$X_W = A_W * U_{loop} * \eta_{loop} * \Delta T * f_{st} * t_m/(Q_{W.sol.us.m} * 1000)\ [kWh] \quad (15)$$

$A_W - svijetla\ površina\ kolektora$

$U_{loop} - koeficijent\ toplinskih\ gubitaka\ kolektorskog\ kruga\ [\frac{W}{m^2K}]$

$\eta_{loop} - faktor\ učinkovitosti\ kolektorskog\ kruga\ [-]$

$\Delta T - referentna\ razlika\ temperatura\ [T]$

$f_{st} - korekcijski\ faktor\ zapremine\ spremnika\ [-]$

$t_m - broj\ sati\ pojedinog\ mjeseca\ [h]$

$$Y_W = A_W * IAM * \eta_0 * \eta_{loop} * I_m * t_m/(Q_{W.sol.us.m} * 1000) \quad [kWh] \quad (16)$$

$IAM - faktor\ promjene\ kuta\ upadnog\ zračenja$

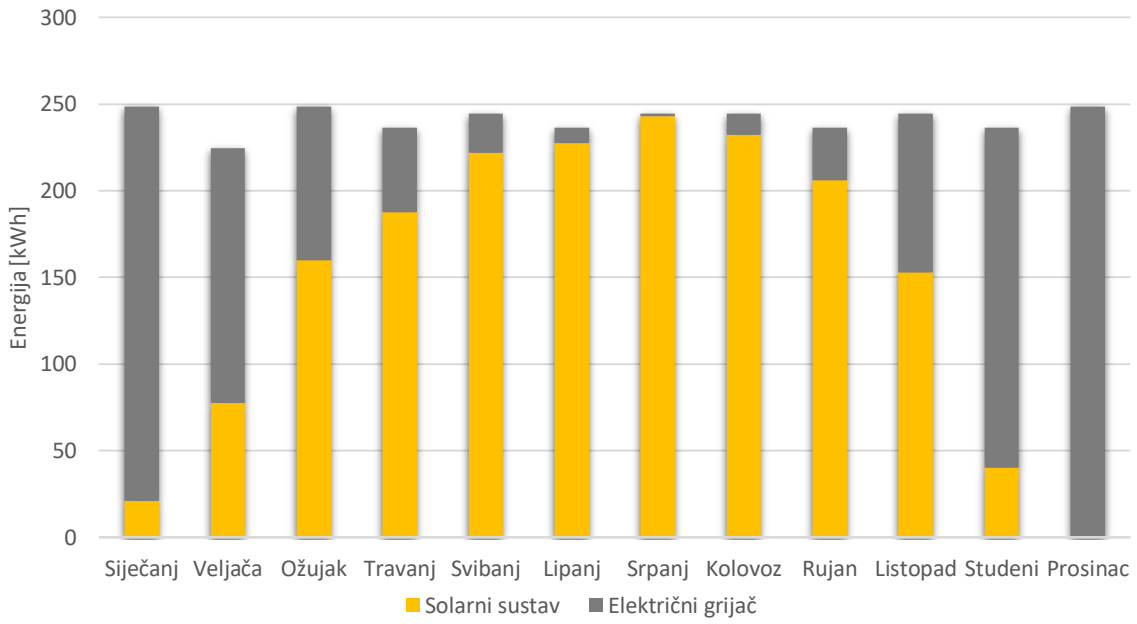
$\eta_0 - učinkovitost\ kolektora\ pri\ razlici\ srednje\ temperature\ radnog\ medija\ i\ zraka\ [-]$

$I_m - prosječno\ Sunčevo\ zračenje\ tijekom\ promatranog\ mjeseca\ [\frac{W}{m^2}]$

Tablica 17 Rezultati proračuna za sustav pripreme PTV-a

Mjesec	**Potrebna energija za PTV**	**Solarni sustav**	**Električni grijač**	**Potrošnja električne energije pumpe**
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Siječanj	249	21	228	3
Veljača	225	78	147	4
Ožujak	249	160	89	6
Travanj	237	188	49	7
Svibanj	244	222	22	8
Lipanj	237	228	9	8
Srpanj	244	243	1	9
Kolovoz	244	232	12	8
Rujan	237	206	31	7
Listopad	244	153	92	5
Studeni	237	40	196	3
Prosinac	249	0	249	2
∑	2894	1770	1124	69

Ukupna potrebna energija za zagrijavanje PTV-a iznosi 2894 kWh, od kojih solarni sustav pokriva 1770 kWh, što iznosi 61% od ukupne potrebe. Najveći toplinski dobici solarnog sustava su ostvareni u srpnju kada je energija solarnog sustava bila dostatna za 99% potrebne energije. Potrošnja električne energije za pripremu PTV-a, a koja obuhvaća potrošnju električnog grijača i pumpe, iznosi 1193 kWh, što je 26% energije potrebne za grijanje i hlađenje (za slučaj s optimizacijom temperature polaza).



Slika 17 Potrebna energija za PTV po mjesecima

6. ZAKLJUČAK

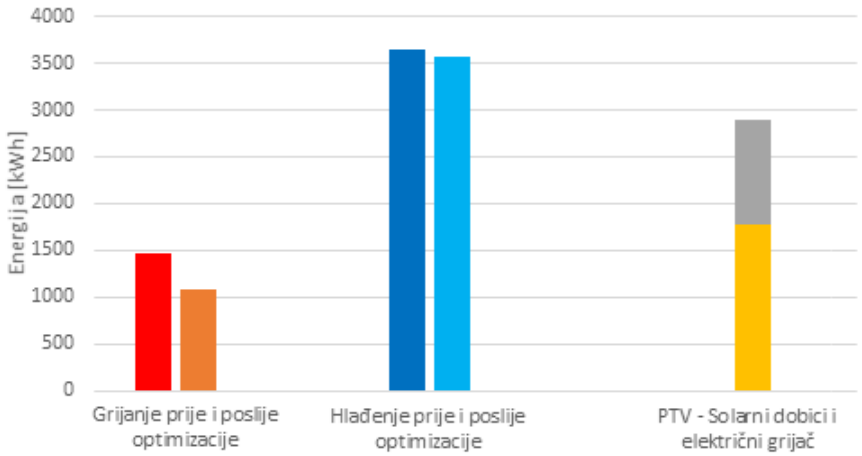
U radu je izvršeno modeliranje i optimizacija rada termotehničkog sustava niskoenergetske referentne obiteljske kuća za područje kontinentalne Hrvatske. U tu svrhu razvijeni su algoritmi u računalnom programu MATLAB, a koji omogućuju izračun i optimizaciju potrebne energiji za rad sustava na satnoj i godišnjoj razini. Modeliranje je izvršeno na temelju ulaznih podataka dobivenih prethodnom simulacijom godišnjih satnih potreba za grijanje i hlađenje u Projektu PE. Ukupna godišnja potrebna energija za grijanje je 3868 kWh, odnosno 22 kWh/m^2. Ukupna godišnja potrebna energija za hlađenje iznosi 15563 kWh, odnosno 88 kWh/m^2.

Na temelju izračunatih potreba odabran je broj i tip ventilokonvektora te je modeliran njihov rad u ovisnosti o relevantnim parametrima (temperatura polaza vode i brzina vrtnje ventilatora) te potrebama kuće (satne potrebe za toplinskom/rashladnom energijom i postavna temperatura). Regulacija predanog učina na ventilokonvektoru vrši se pomoću temperature polaza vode i promjenom brzine vrtnje ventilatora. Pri tome je za modeliranje standardnog načina regulacije pretpostavljeno da se temperatura polaza mijenja prema krivulji grijanja za režim grijanja (u ovisnosti o vanjskoj temperaturi), odnosno iznosi konstantnih 7^{o}C u režimu hlađenja. Na temelju rezultata simulacije može se zaključiti da pri ovakvom načinu regulacije ventilokonvektori rade isključivo na najnižoj brzini vrtnje ventilatora u režimu grijanja, dok se za potrebe hlađenja također koriste srednja i maksimalna brzina vrtnje. U radu je također opisana ovisnost COP-a i EER-a o relevantnim parametrima za rad dizalice topline zrak-voda (temperatura polaza vode, temperatura okoliša i djelomično opterećenje), a koja je bila potrebna za izračun potrošnje električne energije dizalice topline u različitim radnim uvjetima. Prosječne vrijednosti COP-a i EER-a za simulirane radne uvjete iznose 3,1 odnosno 4,4 , dok maksimumi iznose 6,4 u slučaju grijanja i 4,7 u slučaju hlađenja.

Ukupna potrošnja električne energije sustava za grijanje i hlađenje sastoji se od energije za pogon ventilokonvektora i energije za pogon dizalice topline. Ukupna potrošnja električne energije za sustav grijanja i hlađenja iznosi 5235 kWh (30 kWh/m^2), od čega je 97% za pogon dizalice topline, a 3% za pogon ventilokonvektora. Potrošnja električne energije u režimu grijanja iznosi 1469 kWh, dok za hlađenje iznosi 3645 kWh.

Nakon simulacije rada sustava za standardni način regulacije, provedena je optimizacija potrošnje sustava u ovisnosti o temperaturi polaza. Smanjenjem temperature polaza u režimu grijanja smanjuje se potrošnja energije za pogon dizalice topline (uslijed povećanja COP-a), ali se također povećava potrošnja električne energije na ventilatoru ventilokonvektora. Slično vrijedi i za režim hlađenja, gdje se povećanjem temperature polaza povećava EER sustava i posljedično smanjuje potrošnja energije za pogon dizalice topline, dok potrošnja energije na ventilatoru ventilokonvektora raste. Nakon provedene optimizacije u režimu grijanja se utrošak električne energije za pogon ventilokonvektora povećao na 316 kWh (povećanje od 129%), dok se utrošak energije za dizalicu topline smanjio na 4330 kWh (smanjenje od 15%). Ukupna ušteda električne energije iznosi 595 kWh, odnosno 11% ukupnog iznosa za sustav grijanja i hlađenja u odnosu na slučaj bez optimizacije temperaturom polaza.

Sustav za zagrijavanje potrošne tople vode ima potrebe za 2894 kWh toplinske energije, od kojih se 1770 kWh (61%) pokriva pomoću solarnih kolektora, a 1124 kWh pomoću dodatnog električnog grijača. Proračun je izvršen prema normi HRN EN 15316-4-3:2008 za svaki mjesec u godini. Solarni sustav u svim mjesecima samo djelomično pokriva potrebe za zagrijavanje PTV-a, s najvećom pokrivenosti u mjesecu srpnju, u iznosu od 99% potrebne energije.



Slika 18 Prikaz potrebne električne energije za sustav grijanja i hlađenja te solarne i električne energije za pripremu PTV-a

LITERATURA

[1] Plenković A.: Projekt PE. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2020.

[2] Katalog VAILLANT ventilokonvektori – aroVAIR

[3] Žakula T.: Podaci o COP-u i EER-u; dizalica topline zrak-voda

[4] Balen, I. Podloge za predavanja iz kolegija "Grijanje". Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje.

[5] Dović D., Horvat I., Rodić A., Soldo V., Švaić Š.: Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama, Sustavi grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2017.

[6] Hećimović M. Optimizacija sunčanog sustava za zagrijavanje potrošne tople vode korištenjem detaljnog energijskog modela [diplomski rad]. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2017.

PRILOG 1 – GLAVNI KOD (BEZ OPTIMIZACIJE)

```
%Diplomski rad - Antun
clc
clear all

tic

%--------------UCITAVANJE REZULTATA SIMULACIJE-------------------
----------
% (QHND, QCND)

 no_zones = 9;

 Building_output = csvread('Rezultati_simualcija.dat');

% % reshape to 3D matrix -- M = reshape(M, [size_x1 size_x2
size_x3]);

Building_output = reshape(Building_output, [8760 no_zones
size(Building_output,2)/no_zones]);


%Tz      = Building_output (:,:,1); % temperatura zona (degC)

QHnd    = Building_output (:,:,2); % potrebna toplinska energija
(kWh)

QCnd    = Building_output (:,:,3); % potrebna rashladna energija
(kWh)

QHnd_god_kuca = sum(sum(QHnd));
QCnd_god_kuca = sum(sum(QCnd));



QHnd_uk_h = sum(QHnd,2).'; %za 9 zona 9. je 0 [kWh]
QCnd_uk_h = sum(QCnd,2).'; %za 9 zona 9. je 0 [kWh]

%Q_Hnd = QHnd_uk_h*3600; % [kJ]
Q_Cnd = QCnd_uk_h*3600; % [kJ]
```

```
%----------UCITAVANJE TEMPERATURE OKOLISA-----------------------
----------
% IZ Podaci_Tea

Y = csvread('Podaci_Tea.dat');
    %Q_Hnd = Y(:,1);
    %Q_Cnd = Y(:,2);
    T_amb = Y(:,3);
        T_ok = T_amb.';


%--------------Parametri zraka i vode---------------------------
---------
roz=1.20; %[kg/m3] 20STUP
cz=1.004; % [kJ/kgK] cp zraka  20STUP
rov=996; %[kg/m3] gustoca vode 30STUP
cv=4.183; % [kJ/kgK] c vode 20 STUP


%--------------BROJ VENTILOKOVEKTORA----------------------------
---------
n_VK = 12; %11 STAVLJENO DA ZADOVOLJI POTREBE HLAĐENJA U
SPAVACAMA I KUHINJI
Vw_VK = 0.520/3600; %[m3/s] -protok vode iz kataloga 520 l/h

n_VK_Z = [2 1 1 2 1 3 1 1 ]; %broj VK po zonama


%---------------VDT - protok vode DIZALICE TOPLINE---------------
---------
V_DT = n_VK*Vw_VK; %[m3/s]
% protok kroz DT mora biti zbroj protoka kroz sve VK
% to bi bilo VDT=n_VK*protok kroz VK
% Nazivni protok vode u pogonu hlađenja 378 l/h --- iz kataloga
za 1 VK
%TDT_pol=45; %°C
Cmax=cv*rov*Vw_VK; %[kW/kg]


%------PODACI O REZIMIMA RADA VK iz kataloga--------------------
----

%VK: VA 1-030 CN
```

```
    %TEMPERATURE POLAZA I POVRATA IZ KATALOGA

    %ZA GRIJANJE
    Tw_H=45; %iz kataloga
    Tr_H=40;
    Ta_H=20; %iz kataloga

    deltaTm_H=(Tw_H-Tr_H)/log((Tw_H-Ta_H)/(Tr_H-Ta_H));

    %ZA HLADJENJE
    Tw_C=7; %iz kataloga
    Tr_C=12;
    Ta_C=27; %iz kataloga

    deltaTm_C=(Tw_C-Tr_C)/log((Tw_C-Ta_C)/(Tr_C-Ta_C));

    %UCIN GRIJANJA
    Ucin_H_1=1.87; %[kW] iz kataloga pri 45 polaz,20 okolina
    Ucin_H_2=2.54; %[kW] iz kataloga pri 45 polaz,20 okolina
    Ucin_H_3=3.30; %[kW] iz kataloga pri 45 polaz,20 okolina

    %UCIN HLADJENJA
    Ucin_C_1=-1.82; %[kW] iz kataloga
    Ucin_C_2=-2.39; %[kW] iz kataloga
    Ucin_C_3=-2.97; %[kW] iz kataloga

    %PROTOK zraka I SNAGA VENTILATORA
    VVK_1=319/3600; %[m3/s] podatci iz kataloga 319m3/h
    VVK_2=407/3600; %[m3/s] podatci iz kataloga
    VVK_3=560/3600; %[m3/s] podatci iz kataloga
    PVK_1=6;%W podatak procjenjen iz kataloga
    PVK_2=13;%W podatak procjenjen iz kataloga
    PVK_3=26;%W podatak procjenjen iz kataloga  ---> NAZIVNI
PRIKLJUCAK


%---PROJEKTNI MAX UCINAK VK-------------------------------------
------

    %korjen iz
n(Ucin_MAX_H_realni)=Ucin_H_3*(deltaTm_H_projektni/deltaTm_H)
    %deltaT1=(40-35)/log((40-16)/(35-16)) % 2,87kW
    %deltaT2=(45-40)/log((45-16)/(40-16)) % 3,55kW
```

```
    %n=1.01; %exponent grijača VK

    % za -10°C 55 45
    %deltaTm_H_projektni=(55-45)/log((55-20)/(45-20));

%Ucin_MAX_H_realni=Ucin_H_3*(deltaTm_H_projektni/deltaTm_H).^n

    % 7 polaz 12 povrat
    %deltaTm_C_projektni=(7-12)/log((7-22)/(12-22));

%Ucin_MAX_C_realni=Ucin_C_3*(deltaTm_C_projektni/deltaTm_C).^n;
    %-----------------------------------------------------------------
----------


global Tok
%-----------------------------------------------------------------------
----------
%---------------------------GRIJANJE------------------------------------
----------
%-----------------------------------------------------------------------
----------
global i

  Tz=20; %[°C] (POSTAVNA temperatura grijanja)

  %deltaTm_H=

    kA_1=Ucin_H_1/deltaTm_H; %[kW/°C]

    Cmin_1=roz*cz*VVK_1; %[kW/°C]
    NTU_1=kA_1/(Cmin_1);
    C_1=Cmin_1/Cmax;
    epsilon_1_H=(1-exp(-NTU_1*(1-C_1)))/(1-C_1*exp(-NTU_1*(1-
C_1)));


    kA_2=Ucin_H_2/deltaTm_H; %[kW/°C]

    Cmin_2=roz*cz*VVK_2; % [kW/°C]
    NTU_2=kA_1/(Cmin_2);
    C_2=Cmin_2/Cmax;
    epsilon_2_H=(1-exp(-NTU_2*(1-C_2)))/(1-C_2*exp(-NTU_2*(1-
C_2)));
```

```
    kA_3=Ucin_H_3/deltaTm_H; %[kW/°C]

    Cmin_3=roz*cz*VVK_3; %[kW/°C]
    NTU_3=kA_3/(Cmin_3);
    C_3=Cmin_3/Cmax;
    epsilon_3_H=(1-exp(-NTU_3*(1-C_3)))/(1-C_3*exp(-NTU_3*(1-
C_3)));


%PRORACUN SNAGE VK I POTREBNO VRIJEME RADA I ODABIR RAZINE RADA
global TDT_pol_H

    for z = 1:8;
    Q_Hnd = QHnd(:,z).'*3600; %[kJ]
    n_VK = n_VK_Z(z);


    for i=1:8760

%TEMPERATURA OKOLIŠA
    Tok=T_ok(i);

%TDT_pol = temp_kotla; DOVRSITI OVO!!!
    TDT_pol_H(i) = Krivulja_grijanja;
    %TDT_pol_H(i) = 45;

%VK - 1° REZIM RADA

    QVK_1_H=-epsilon_1_H*Cmin_1*(Tz-TDT_pol_H(i)); %[kW] STAVIO
MINUS
    tVK_1_H(i)=Q_Hnd(i)/(n_VK*QVK_1_H); %[s]          ukljuceni
SVI VK
    Pel_1(i)=n_VK*PVK_1*tVK_1_H(i)/1000; %[kJ]     ukljuceni SVI
VK

%VK - 2° REZIM RADA

    QVK_2_H=-epsilon_2_H*Cmin_2*(Tz-TDT_pol_H(i)); %STAVIO MINUS
[kW]
    tVK_2_H(i)=Q_Hnd(i)/(n_VK*QVK_2_H); %[s]
    Pel_2(i)=n_VK*PVK_2*tVK_2_H(i)/1000; %[kJ]
```

```
%VK - 3° REZIM RADA

    QVK_3_H=-epsilon_3_H*Cmin_3*(Tz-TDT_pol_H(i)); %[kW] STAVIO
MINUS
    tVK_3_H(i)=Q_Hnd(i)/(n_VK*QVK_3_H); %[s]
    Pel_3(i)=n_VK*PVK_3*tVK_3_H(i)/1000; %[kJ]

%Q max - VENTILOKONVEKOTRA
%QVKmax=-Cmin_3*(Tz-TDT_pol);

%--------------ODABIR RAZINE RADA VENTILOKONVEKTORA--------------
---------

%ovdje odabire s kojom razinom radi tako da traži potrebno
vrijeme od najmanje do najveće i staje na najmanjoj mogućoj
razini i racuna s njom

%Qh=0 onda da i epsilon bude 0
    if tVK_1_H(i) == 0
        TOPL_SNAGA_VK_h_H(i,z)=0; %[kW]
        EL_EN_VK_h_HEATING(i,z)=Pel_1(i); %[kJ] ovo ce biti nula
jer se množi s vremenom
        tVK_H(i,z)=tVK_1_H(i); %[s]  ovo ce biti nula jer je qhnd
nula
        epsilon_H(i,z)=0; %on mora biti nula jer ner radi

%Qh/c 1°
    elseif tVK_1_H(i) < 3600

        TOPL_SNAGA_VK_h_H(i,z)=n_VK*QVK_1_H; %[kW]
        EL_EN_VK_h_HEATING(i,z)=Pel_1(i); %[kJ]
        tVK_H(i,z)=tVK_1_H(i); %[s]
        epsilon_H(i,z)=epsilon_1_H;

%Qh/c 2°
    elseif tVK_2_H(i)<3600

        TOPL_SNAGA_VK_h_H(i,z)=n_VK*QVK_2_H; %[kW]
        EL_EN_VK_h_HEATING(i,z)=Pel_2(i); %[kJ]
        tVK_H(i,z)=tVK_2_H(i); %[s]
        epsilon_H(i,z)=epsilon_2_H;

%Qh/c 3°
    elseif tVK_3_H(i)<3600
```

```
        TOPL_SNAGA_VK_h_H(i,z)=n_VK*QVK_3_H; %[kW]
        EL_EN_VK_h_HEATING(i,z)=Pel_3(i); %[kJ]
        tVK_H(i,z)=tVK_3_H(i); %[s]
        epsilon_H(i,z)=epsilon_3_H;

    else
        fprintf('Ne zadovoljava u koraku: %d', i)
        disp(' -> PREMALI BROJ VENTILOKONVEKTORA ')
    end

%temp povrata DT-a

    TDT_pov_H(i)=epsilon_H(i)*(Tz-TDT_pol_H(i))+TDT_pol_H(i);


%-----------------DIZALICA TOPLINE-------------------------------
--


%     if TOPL_SNAGA_VK_h_H(i)==0;
%         COP(i)=0;
%         PDT(i)=0;
%         EL_EN_DT_h_HEATING(i)=0;
%
%     else
%         COP(i)=COP_funkcija;
%
%         PDT_H(i)=TOPL_SNAGA_VK_h_H(i)/COP(i); %[kW]
%
%         EL_EN_DT_h_HEATING(i)=PDT_H(i)*tVK_H(i); %[kJ]
%     end
    end

end



%-----------------------------------------------------------------
----------
%---------------------------HLADJENJE-----------------------------
----------
%-----------------------------------------------------------------
----------
```

```
global j

  Tz=22; %[°C]


        kA_1=Ucin_C_1/deltaTm_C; %[kW/°C]

        Cmin_1=roz*cz*VVK_1; % [kW/°C]
        NTU_1=kA_1/(Cmin_1);
        C_1=Cmin_1/Cmax;
        epsilon_1_C=(1-exp(-NTU_1*(1-C_1)))/(1-C_1*exp(-NTU_1*(1-
C_1)));

        kA_2=Ucin_C_2/deltaTm_C; %[kW/°C]

        Cmin_2=roz*cz*VVK_2; % [kJ/°C]
        NTU_2=kA_1/(Cmin_2);
        C_2=Cmin_2/Cmax;
        epsilon_2_C=(1-exp(-NTU_2*(1-C_2)))/(1-C_2*exp(-NTU_2*(1-
C_2)));

        kA_3=Ucin_C_3/deltaTm_C; %[kW]

        Cmin_3=roz*cz*VVK_3; % [kJ/°C]
        NTU_3=kA_3/(Cmin_3);
        C_3=Cmin_3/Cmax;
        epsilon_3_C=(1-exp(-NTU_3*(1-C_3)))/(1-C_3*exp(-NTU_3*(1-
C_3)));


%PRORACUN SNAGE VK I POTREBNO VRIJEME RADA I ODABIR RAZINE RADA
global TDT_pol_C

for z = 1:8;
    Q_Cnd = QCnd(:,z).'*3600; %[kJ]
    n_VK = n_VK_Z(z);



   for j=1:8760

        %--------------------
```

```
        Tok=T_ok(j);

        TDT_pol_C = 7;

      %VK - 1° REZIM RADA HLADENJA

        QVK_1_C=epsilon_1_C*Cmin_1*(Tz-TDT_pol_C); % [kW]
        tVK_1_C(j)=Q_Cnd(j)/(QVK_1_C*n_VK); %[s]
        Pel_1(j)=n_VK*PVK_1*tVK_1_C(j)/1000; %[kJ]


    %VK - 2° REZIM RADA HLADENJA

        QVK_2_C=epsilon_2_C*Cmin_2*(Tz-TDT_pol_C); % [kW]
        tVK_2_C(j)=Q_Cnd(j)/(n_VK*QVK_2_C);
        Pel_2(j)=n_VK*PVK_2*tVK_2_C(j)/1000;


    %VK - 3° REZIM RADA HLADENJA

        QVK_3_C=epsilon_3_C*Cmin_3*(Tz-TDT_pol_C); % [kW]
        tVK_3_C(j)=Q_Cnd(j)/(n_VK*QVK_3_C);
        Pel_3(j)=n_VK*PVK_3*tVK_3_C(j)/1000; %[kJ]

     %Q max - VENTILOKONVEKOTRA --- PROVJERIT MALO OVO
     %QVKmax=Cmin_3*(Tz-TDT_pol_C); %[kW]

%ODABIR RAZINE 1/2/3
%ovdje odabire s kojom razinom radi tako da traži potrebno
vrijeme od
%najmanje do najveće i staje na najmanjoj mogućoj razini i racuna
s njom

%Qh=0 onda da i epsilon bude 0
    if tVK_1_C(j) == 0
        TOPL_SNAGA_VK_h_C(j,z)=0; %[kW]
        EL_EN_VK_h_COOLING(j,z)=Pel_1(j); %[kJ] ovo ce biti nula
jer se množi s vremenom
        tVK_C(j,z)=tVK_1_C(j); %[s]  ovo ce biti nula jer je qhnd
nula
        epsilon_C(j,z)=0; %on mora biti nula jer ner radi

%Qh/c 1°
    elseif tVK_1_C(j)<3600
```

```
        TOPL_SNAGA_VK_h_C(j,z)=n_VK*QVK_1_C; %[kW]
        EL_EN_VK_h_COOLING(j,z)=Pel_1(j); %[kJ]
        tVK_C(j,z)=tVK_1_C(j); %[s]
        epsilon_C(j,z)=epsilon_1_C;


%Qh/c 2°
    elseif tVK_2_C(j)<3600

        TOPL_SNAGA_VK_h_C(j,z)=n_VK*QVK_2_C; %[kW]
        EL_EN_VK_h_COOLING(j,z)=Pel_2(j); %[kJ]
        tVK_C(j,z)=tVK_2_C(j);
        epsilon_C(j,z)=epsilon_2_C;


%Qh/c 3°
    elseif tVK_3_C(j)<3600

        TOPL_SNAGA_VK_h_C(j,z)=n_VK*QVK_3_C; %[kW]
        EL_EN_VK_h_COOLING(j,z)=Pel_3(j); %[kJ]
        tVK_C(j,z)=tVK_3_C(j);
        epsilon_C(j,z)=epsilon_3_C;


else
        fprintf('Ne zadovoljava u koraku: %d', j)
        disp(' ')
end

%temp povrata DT-a

TDT_pov_C(j)=epsilon_C(j)*(Tz-TDT_pol_C)+TDT_pol_C;



%-----------------------------------------------------------------
--
%DIZALICA TOPLINE
%-----------------------------------------------------------------
--
```

```
%  if TOPL_SNAGA_VK_h_C(j)==0;
%         EER(j)=0;
%         PDT_C(j)=0;
%         EL_EN_DT_h_COOLING(i)=0;
%
%     else
%
% EER(j)=EER_funkcija;
%
% %ELEKTRIČNA ENERGIJA DIZALICE TOPLINE
% PDT_C(j)=TOPL_SNAGA_VK_h_C(j)/EER(j); %[kW]
% EL_EN_DT_h_COOLING(j)=PDT_C(j)*tVK_C(j); %[kJ]
%  end
end

end



%-----------------------------------------------------------------
---------
%--------------------------------DT-------------------------------
---------
%-----------------------------------------------------------------
---------
global PLR_H
global PLR_C

QDT_H_max= 11; %SNAGA GRIJANJA DT[kW] > max(QHnd_uk_h)=6.3
QDT_C_max= 11; %SNAGA HLAĐENJA DT[kW] > max(QCnd_uk_h)=10.4


%DT - POTROŠNJA STRUJE GRIJANJE
    for i=1:8760

        %TEMPERATURA OKOLIŠA
        Tok=T_ok(i);

        %GRIJANJE
            TDT_pol_H(i) = Krivulja_grijanja;

            if QHnd_uk_h(i)==0; %[kWh]

                PLR_H(i) = 0;
```

```
                COP(i)=0;
                EL_EN_DT_h_HEATING(i)=0;
                T_H_neopt(i)=NaN;

            else

                PLR_H(i) = QHnd_uk_h(i)/ QDT_H_max; % MOGU li
računati preko E a ne P?
                COP(i)=COP_funkcija;
                EL_EN_DT_h_HEATING(i) = QHnd_uk_h(i)/COP(i);
%[kWh]
                T_H_neopt(i)=TDT_pol_H(i);

            end

    end

%DT - POTROŠNJA STRUJE HLAĐENJE
     for i=1:8760

        %TEMPERATURA OKOLIŠA
        Tok=T_ok(i);

        %HLAĐENJE
            TDT_pol_C(i) = 7;

            if QCnd_uk_h(i)==0; %[kWh]

                PLR_C(i) = 0;
                EER(i)=0;
                EL_EN_DT_h_COOLING(i)=0;
                T_C_neopt(i)=NaN;

            else

                PLR_C(i) = QCnd_uk_h(i)/ QDT_C_max;
                EER(i)= EER_funkcija;
                EL_EN_DT_h_COOLING(i)= QCnd_uk_h (i)/EER(i);
%[kWh]
                T_C_neopt(i)=TDT_pol_C(i);

            end
     end
```

```
 EL_EN_h_neopt= EL_EN_DT_h_COOLING' +
sum(EL_EN_VK_h_COOLING,2)/3600 + EL_EN_DT_h_HEATING' +
sum(EL_EN_VK_h_HEATING,2)/3600


%RAZINE RADA VENTILOKONVEKTORA PO ZONAMA
for z=1:8
n_h_VK1_H_Z(z) = nnz(epsilon_H(:,z)==epsilon_1_H);
n_h_VK2_H_Z(z) = nnz(epsilon_H(:,z)==epsilon_2_H);
n_h_VK3_H_Z(z) = nnz(epsilon_H(:,z)==epsilon_3_H);

n_h_VK1_C_Z(z) = nnz(epsilon_C(:,z)==epsilon_1_C);
n_h_VK2_C_Z(z) = nnz(epsilon_C(:,z)==epsilon_2_C);
n_h_VK3_C_Z(z) = nnz(epsilon_C(:,z)==epsilon_3_C);
end

n_h_VK_H=[n_h_VK1_H_Z;n_h_VK2_H_Z;n_h_VK3_H_Z];
n_h_VK_C=[n_h_VK1_C_Z;n_h_VK2_C_Z;n_h_VK3_C_Z];
%-------------------------------------------------



% %disp('Potrosnja el energije ventilokonvektora [kJ]: ')
%disp(EL_EN_VK_h_HEATING)

%figure(2)
%plot(t,EL_EN_VK_potosena_u_satu,'linewidth',2),xlabel('t,
h'),ylabel('E_{vk}, kJ'),grid on

% disp('Potrosnja el energije dizalice topline [kJ]: ')
% disp(EL_EN_DT_h)

%figure(1)
%plot(t,EL_EN_DT_potr_h,'linewidth',2),xlabel('t,
h'),ylabel('E_{dt}, kJ'),grid on


%ZBROJ

 disp('Godisnja potrosnja el. energije za VK grijanje UKUPNA
[kWh]: ');
 sum(sum(EL_EN_VK_h_HEATING))/3600 %[kWh] TOCNO!
```

```
 disp('Godisnja potrosnja el. energije za VK hladjenje UKUPNA
[kWh]: ');
 sum(sum(EL_EN_VK_h_COOLING))/3600 %[kWh] TOCNO!
 disp('Godisnja potrosnja el. energije za DT grijanje UKUPNA
[kWh]: ');
 sum(EL_EN_DT_h_HEATING) %[kWh] TOČNO
 disp('Godisnja potrosnja el. energije za DT hladjenje UKUPNA
[kWh]: ');
 sum(EL_EN_DT_h_COOLING) %[kWh];
 disp('UKUPNA godisnja potrosnja el. energije[kWh]: ');

UK_EL=sum(sum(EL_EN_VK_h_HEATING))/3600+sum(sum(EL_EN_VK_h_COOLIN
G))/3600+sum(EL_EN_DT_h_HEATING)+sum(EL_EN_DT_h_COOLING)
% disp('Godisnja potrosnja el. energije UKUPNA [kWh]: ');
% GOD_EL_EN= A + B + C + D; %[kWh]

%E_DT_H_kWh=EL_EN_DT_h_HEATING/3600; %satna potrošnja struje u
kWh
%E_DT_C_kWh=EL_EN_DT_h_COOLING/3600;

%broj sati grijanja
%nnz(Q_Hnd) 2012
%broj sati hlađenja
%nnz(Q_Cnd) 4367
%broj sati rada
%356*(24-7) 6205
%neradnih 2555


toc


%PROVJERA REZUTATA

    %PROvjera OKVIRNA!
    %PROVJERA_SCOP=QHnd_god_kuca/C
    %PROSJECNI SEER
    %PROVJERA_SEER=QCnd_god_kuca/D


    %nnz(Q_Hnd);
    %Broj_sati_hladjenja=nnz(Q_Cnd);

    sCOP=sum(COP)/nnz(COP)
```

```
    sEER=sum(EER)/nnz(EER)


    %max(TOPL_SNAGA_VK_h_H)
    %min(TOPL_SNAGA_VK_h_H(TOPL_SNAGA_VK_h_H>0))

    %max(tVK_H)
%min(COP)
%linearIndices = find(COP>6,19)
%[val,ind] = min(COP(~ismember(COP,0))) naci lokaciju

Ukupna_snaga_H=sum(TOPL_SNAGA_VK_h_H,2)';
Ukupna_snaga_C=sum(TOPL_SNAGA_VK_h_C,2)';
%plot([1:8760],Ukupna_snaga_H);
%plot([1:8760],Ukupna_snaga_C);

for i=1:8760
if Q_Hnd(i)==0;

    Tgraf(i)=0;

else
Tgraf(i)=TDT_pol_H(i);
end
if Q_Cnd(i)==0;

    T_C(i)=0;
else
    T_C(i)=7;
end
end

%plot([1:8759],Tgrijanjagraf);

%plot([1:8760],EL_EN_DT_h_COOLING);
%plot([1:8760],EL_EN_DT_h_HEATING);

for l=1:8760
    if COP(l)==0
        COPbezopt(l)=NaN;
    else
        COPbezopt(l)=COP(l);
    end
    if EER(l)==0
```

```
        EERbezopt(l)=NaN;
    else
        EERbezopt(l)=EER(l);
    end

    maxtVKH(l)=max(tVK_H(l,:));
    maxtVKC(l)=max(tVK_C(l,:));

end

%maks rwmp polaza i sat
max(T_H_neopt)
[val,ind] = max(T_H_neopt)
%srednja temp polaza grijanja
median(T_H_neopt,'omitnan');
```

PRILOG 2 – GLAVNI KOD (S OPTIMIZACIJOM)

```
%Diplomski rad - Antun
clc
clear all

tic

%--------------UCITAVANJE REZULTATA SIMULACIJE-------------------
----------
% (QHND, QCND)

 no_zones = 9;

 Building_output = csvread('Rezultati_simualcija.dat');

% % reshape to 3D matrix -- M = reshape(M, [size_x1 size_x2
size_x3]);

Building_output = reshape(Building_output, [8760 no_zones
size(Building_output,2)/no_zones]);


%Tz      = Building_output (:,:,1); % temperatura zona (degC)

QHnd    = Building_output (:,:,2); % potrebna toplinska energija
(kWh)

QCnd    = Building_output (:,:,3); % potrebna rashladna energija
(kWh)

QHnd_god_kuca = sum(sum(QHnd));
QCnd_god_kuca = sum(sum(QCnd));

% QHnd_1 = QHnd(:,1).';
% QHnd_2 = QHnd(:,2);
% QHnd_3 = QHnd(:,3);
% QHnd_4 = QHnd(:,4);
% QHnd_5 = QHnd(:,5);
% QHnd_6 = QHnd(:,6);
% QHnd_7 = QHnd(:,7);
% QHnd_8 = QHnd(:,8);

% QCnd_1 = max(QCnd(:,1));
```

```
% QCnd_2 = max(QCnd(:,2));
% QCnd_3 = max(QCnd(:,3));
% QCnd_4 = max(QCnd(:,4));
% QCnd_5 = max(QCnd(:,5));
% QCnd_6 = max(QCnd(:,6));
% QCnd_7 = max(QCnd(:,7));
% QCnd_8 = max(QCnd(:,8));

QHnd_uk_h = sum(QHnd,2).'; %za 9 zona 9. je 0 [kWh]
QCnd_uk_h = sum(QCnd,2).'; %za 9 zona 9. je 0 [kWh]

%Q_Hnd = QHnd_uk_h*3600; % [kJ]
Q_Cnd = QCnd_uk_h*3600; % [kJ]


%----------UCITAVANJE TEMPERATURE OKOLISA-----------------------
----------
% IZ Podaci_Tea

Y = csvread('Podaci_Tea.dat');
    %Q_Hnd = Y(:,1);
    %Q_Cnd = Y(:,2);
    T_amb = Y(:,3);
        T_ok = T_amb.';


%--------------Parametri zraka i vode-----------------------------
---------
roz=1.20; %[kg/m3] 20STUP
cz=1.004; % [kJ/kgK] cp zraka  20STUP
rov=996; %[kg/m3] gustoca vode 30STUP
cv=4.183; % [kJ/kgK] c vode 20 STUP


%---------------BROJ VENTILOKOVEKTORA----------------------------
---------
n_VK = 12; %11 STAVLJENO DA ZADOVOLJI POTREBE HLAĐENJA U
SPAVACAMA I KUHINJI
Vw_VK = 0.520/3600; %[m3/s] -protok vode iz kataloga 520 l/h

n_VK_Z = [2 1 1 2 1 3 1 1 0]; %broj VK po zonama
```

```
%---------------VDT - protok vode DIZALICE TOPLINE---------------
---------
V_DT = n_VK*Vw_VK; %[m3/s]
% protok kroz DT mora biti zbroj protoka kroz sve VK, zar ne?
% to bi bilo VDT=n_VK*protok kroz VK
% Nazivni protok vode u pogonu hlađenja 378 l/h --- iz kataloga
za 1 VK
%TDT_pol=45; %°C
Cmax=cv*rov*Vw_VK; %[kW/kg]


%------PODACI O REZIMIMA RADA VK iz kataloga--------------------
----

%VK: VA 1-030 CN

    %TEMPERATURE POLAZA I POVRATA IZ KATALOGA

    %ZA GRIJANJE
    Tw_H=45; %iz kataloga
    Tr_H=40;
    Ta_H=20; %iz kataloga

    deltaTm_H=(Tw_H-Tr_H)/log((Tw_H-Ta_H)/(Tr_H-Ta_H));

    %ZA HLADJENJE
    Tw_C=7; %iz kataloga
    Tr_C=12;
    Ta_C=27; %iz kataloga

    deltaTm_C=(Tw_C-Tr_C)/log((Tw_C-Ta_C)/(Tr_C-Ta_C));

    %UCIN GRIJANJA
    Ucin_H_1=1.87; %[kW] iz kataloga pri 45 polaz,20 okolina
    Ucin_H_2=2.54; %[kW] iz kataloga pri 45 polaz,20 okolina
    Ucin_H_3=3.30; %[kW] iz kataloga pri 45 polaz,20 okolina

    %UCIN HLADJENJA
    Ucin_C_1=-1.82; %[kW] iz kataloga
    Ucin_C_2=-2.39; %[kW] iz kataloga
    Ucin_C_3=-2.97; %[kW] iz kataloga

    %PROTOK zraka I SNAGA VENTILATORA
    VVK_1=319/3600; %[m3/s] podatci iz kataloga 319m3/h
```

```
    VVK_2=407/3600; %[m3/s] podatci iz kataloga
    VVK_3=560/3600; %[m3/s] podatci iz kataloga
    PVK_1=6;%W podatak procjenjen iz kataloga
    PVK_2=13;%W podatak procjenjen iz kataloga
    PVK_3=26;%W podatak procjenjen iz kataloga  ---> NAZIVNI
PRIKLJUCAK


%---PROJEKTNI MAX UCINAK VK-------------------------------------
------

    %korjen iz
n(Ucin_MAX_H_realni)=Ucin_H_3*(deltaTm_H_projektni/deltaTm_H)
    %deltaT1=(40-35)/log((40-16)/(35-16)) % 2,87kW
    %deltaT2=(45-40)/log((45-16)/(40-16)) % 3,55kW

    %n=1.01; %exponent grijača VK

    % za -10°C 55 45
    %deltaTm_H_projektni=(55-45)/log((55-20)/(45-20));

%Ucin_MAX_H_realni=Ucin_H_3*(deltaTm_H_projektni/deltaTm_H).^n

    % 7 polaz 12 povrat
    %deltaTm_C_projektni=(7-12)/log((7-22)/(12-22));

%Ucin_MAX_C_realni=Ucin_C_3*(deltaTm_C_projektni/deltaTm_C).^n;
    %-----------------------------------------------------------
----------


global Tok
%-----------------------------------------------------------------
----------
%---------------------------GRIJANJE-----------------------------
----------
%-----------------------------------------------------------------
----------
global i

  Tz=20; %[°C] (POSTAVNA temperatura grijanja)

  %deltaTm_H=
```

```
    kA_1=Ucin_H_1/deltaTm_H; %[kW/°C]

    Cmin_1=roz*cz*VVK_1; %[kW/°C]
    NTU_1=kA_1/(Cmin_1);
    C_1=Cmin_1/Cmax;
    epsilon_1_H=(1-exp(-NTU_1*(1-C_1)))/(1-C_1*exp(-NTU_1*(1-
C_1)));


    kA_2=Ucin_H_2/deltaTm_H; %[kW/°C]

    Cmin_2=roz*cz*VVK_2; % [kW/°C]
    NTU_2=kA_1/(Cmin_2);
    C_2=Cmin_2/Cmax;
    epsilon_2_H=(1-exp(-NTU_2*(1-C_2)))/(1-C_2*exp(-NTU_2*(1-
C_2)));


    kA_3=Ucin_H_3/deltaTm_H; %[kW/°C]

    Cmin_3=roz*cz*VVK_3; %[kW/°C]
    NTU_3=kA_3/(Cmin_3);
    C_3=Cmin_3/Cmax;
    epsilon_3_H=(1-exp(-NTU_3*(1-C_3)))/(1-C_3*exp(-NTU_3*(1-
C_3)));

%Povećanje/smanjenje temperature polaza u %
%K=[ 0.00 0.05 0.10 0.15 0.20 0.25 0.30 0.35 0.40 0.45 0.50];
    K=[0:1:10]; %inace 30, stavio do 10 jer je max delta T 8 pa
da krace vrti

%Izračunavanje svih varijabli za različita povećanja/smanjenja
temp. polaza
 for k=1:length(K);

   %PRORACUN SNAGE VK I POTREBNO VRIJEME RADA I ODABIR RAZINE
RADA


global TDT_pol_H

%Matrica broja VK
G=repmat(n_VK_Z,8760,1);
```

```
%Minimalna potrebna snaga VK u pojedinoj zoni (potrebna
toplina/broj VK u zoni)
minsnaga1VK_H=QHnd./G; %[kW]!!!

%Računanje varijabli za svaku zonu
    for z = 1:8;
    Q_Hnd = QHnd(:,z).'*3600; %[kJ]
    n_VK = n_VK_Z(z);

%Računanje varijabli za svaki sat
    for i=1:8760

%TEMPERATURA OKOLIŠA
    Tok=T_ok(i);

%Temperatura polaza
    %TDT_pol_H(i) = Krivulja_grijanja;
    %[val,ind] = max(QHnd(i,:));
    QVK_maxZone_H(i)=max(minsnaga1VK_H(i,:))+0.0001; %Određuje
koji VK ima najveći učin među zonama
    %TDT_pol_H(i)=(1+K(k))*(Tz-QVK_maxZone_H(i)/(-
epsilon_3_H*Cmin_3)); %Ista za svaku zonu

    TDT_pol_H(i)=K(k)+(Tz-QVK_maxZone_H(i)/(-
epsilon_3_H*Cmin_3));

    %brine se da temp polazna ne bude veća od 55
    if  TDT_pol_H(i)>55;
        TDT_pol_H(i)=55;
    end

    %Zapisivanje temp polaza ta različite K po satima
    TDT_pol_Htrans=TDT_pol_H';
    TDT_pol_HH(i,k)=TDT_pol_Htrans(i);

%VK - 1° REZIM RADA
    QVK_1_H=-epsilon_1_H*Cmin_1*(Tz-TDT_pol_H(i)); %[kW] STAVIO
MINUS
    tVK_1_H(i)=Q_Hnd(i)/(n_VK*QVK_1_H); %[s]          ukljuceni
SVI VK
    Pel_1(i)=n_VK*PVK_1*tVK_1_H(i)/1000; %[kJ]     ukljuceni SVI
VK

%VK - 2° REZIM RADA
```

```
    QVK_2_H=-epsilon_2_H*Cmin_2*(Tz-TDT_pol_H(i)); %STAVIO MINUS
[kW]
    tVK_2_H(i)=Q_Hnd(i)/(n_VK*QVK_2_H); %[s]
    Pel_2(i)=n_VK*PVK_2*tVK_2_H(i)/1000; %[kJ]

%VK - 3° REZIM RADA
    QVK_3_H=-epsilon_3_H*Cmin_3*(Tz-TDT_pol_H(i)); %[kW] STAVIO
MINUS
    tVK_3_H(i)=Q_Hnd(i)/(n_VK*QVK_3_H); %[s]
    Pel_3(i)=n_VK*PVK_3*tVK_3_H(i)/1000; %[kJ]

%Q max - VENTILOKONVEKOTRA
%QVKmax=-Cmin_3*(Tz-TDT_pol);

%--------------ODABIR RAZINE RADA VENTILOKONVEKTORA--------------
---------

%ovdje odabire s kojom razinom radi tako da traži potrebno
vrijeme od najmanje do najveće i staje na najmanjoj mogućoj
razini i racuna s njom

%Qh=0 onda da i epsilon bude 0
    if tVK_1_H(i) == 0
        TOPL_SNAGA_VK_h_H(i,z)=0; %[kW]
        EL_EN_VK_h_HEATING(i,z)=Pel_1(i); %[kJ] ovo ce biti nula
jer se množi s vremenom
        tVK_H(i,z)=tVK_1_H(i); %[s]  ovo ce biti nula jer je qhnd
nula
        epsilon_H(i,z)=0; %on mora biti nula jer ner radi

%Qh/c 1°
    elseif tVK_1_H(i) < 3600

        TOPL_SNAGA_VK_h_H(i,z)=n_VK*QVK_1_H; %[kW]
        EL_EN_VK_h_HEATING(i,z)=Pel_1(i); %[kJ]
        tVK_H(i,z)=tVK_1_H(i); %[s]
        epsilon_H(i,z)=epsilon_1_H;

%Qh/c 2°
    elseif tVK_2_H(i)<3600

        TOPL_SNAGA_VK_h_H(i,z)=n_VK*QVK_2_H; %[kW]
        EL_EN_VK_h_HEATING(i,z)=Pel_2(i); %[kJ]
        tVK_H(i,z)=tVK_2_H(i); %[s]
```

```
        epsilon_H(i,z)=epsilon_2_H;

%Qh/c 3°
    elseif tVK_3_H(i)<3600

        TOPL_SNAGA_VK_h_H(i,z)=n_VK*QVK_3_H; %[kW]
        EL_EN_VK_h_HEATING(i,z)=Pel_3(i); %[kJ]
        tVK_H(i,z)=tVK_3_H(i); %[s]
        epsilon_H(i,z)=epsilon_3_H;

    else
        fprintf('Ne zadovoljava u koraku: %d', i)
        disp(' -> PREMALI BROJ VENTILOKONVEKTORA ')
    end

%temp povrata DT-a

    TDT_pov_H(i)=epsilon_H(i)*(Tz-TDT_pol_H(i))+TDT_pol_H(i);


%-----------------DIZALICA TOPLINE-------------------------------
--

%...
    end

    end



%Ukupna EL. EN. VK za grijanje svih zona po satu za svako
EL_EN_VK_h_H_Z(:,k)=sum(EL_EN_VK_h_HEATING,2)/3600; %[kWh]


%----------------------------------------------------------------
----------
%--------------------------HLADJENJE-----------------------------
----------
%----------------------------------------------------------------
----------
global j

  Tz=22; %[°C]
```

```
        kA_1=Ucin_C_1/deltaTm_C; %[kW/°C]

        Cmin_1=roz*cz*VVK_1; % [kW/°C]
        NTU_1=kA_1/(Cmin_1);
        C_1=Cmin_1/Cmax;
        epsilon_1_C=(1-exp(-NTU_1*(1-C_1)))/(1-C_1*exp(-NTU_1*(1-
C_1)));

        kA_2=Ucin_C_2/deltaTm_C; %[kW/°C]

        Cmin_2=roz*cz*VVK_2; % [kJ/°C]
        NTU_2=kA_1/(Cmin_2);
        C_2=Cmin_2/Cmax;
        epsilon_2_C=(1-exp(-NTU_2*(1-C_2)))/(1-C_2*exp(-NTU_2*(1-
C_2)));

        kA_3=Ucin_C_3/deltaTm_C; %[kW]

        Cmin_3=roz*cz*VVK_3; % [kJ/°C]
        NTU_3=kA_3/(Cmin_3);
        C_3=Cmin_3/Cmax;
        epsilon_3_C=(1-exp(-NTU_3*(1-C_3)))/(1-C_3*exp(-NTU_3*(1-
C_3)));


%PRORACUN SNAGE VK I POTREBNO VRIJEME RADA I ODABIR RAZINE RADA
global TDT_pol_C

minsnaga1VK_C=QCnd./G;

for z = 1:8;
    Q_Cnd = QCnd(:,z).'*3600; %[kJ]
    n_VK = n_VK_Z(z);



   for j=1:8760

        %--------------------

        Tok=T_ok(j);
```

```
        %TDT_pol_C = 7;
        QVK_maxZone_C(j)=max(minsnaga1VK_C(j,:))+0.0001;
    TDT_pol_C(j)=(Tz-QVK_maxZone_C(j)/(epsilon_3_C*Cmin_3))-K(k);

    %brine se da temp polazna ne bude niza od 6
    if  TDT_pol_C(j)<6;
        TDT_pol_C(j)=6;
    end


    %Zapisivanje temp polaza ta različite K po satima
    TDT_pol_Ctrans=TDT_pol_C';
    TDT_pol_CC(j,k)=TDT_pol_Ctrans(j);


      %VK - 1° REZIM RADA HLADENJA

        QVK_1_C=epsilon_1_C*Cmin_1*(Tz-TDT_pol_C(j)); % [kW]
        tVK_1_C(j)=Q_Cnd(j)/(QVK_1_C*n_VK); %[s]
        Pel_1(j)=n_VK*PVK_1*tVK_1_C(j)/1000; %[kJ]


    %VK - 2° REZIM RADA HLADENJA

        QVK_2_C=epsilon_2_C*Cmin_2*(Tz-TDT_pol_C(j)); % [kW]
        tVK_2_C(j)=Q_Cnd(j)/(n_VK*QVK_2_C);
        Pel_2(j)=n_VK*PVK_2*tVK_2_C(j)/1000;


    %VK - 3° REZIM RADA HLADENJA

        QVK_3_C=epsilon_3_C*Cmin_3*(Tz-TDT_pol_C(j)); % [kW]
        tVK_3_C(j)=Q_Cnd(j)/(n_VK*QVK_3_C);
        Pel_3(j)=n_VK*PVK_3*tVK_3_C(j)/1000; %[kJ]

     %Q max - VENTILOKONVEKOTRA --- PROVJERIT MALO OVO
     %QVKmax=Cmin_3*(Tz-TDT_pol_C); %[kW]

%ODABIR RAZINE 1/2/3
%ovdje odabire s kojom razinom radi tako da traži potrebno
vrijeme od
%najmanje do najveće i staje na najmanjoj mogućoj razini i racuna
s njom
```

```
%Qh=0 onda da i epsilon bude 0
    if tVK_1_C(j) == 0
        TOPL_SNAGA_VK_h_C(j,z)=0; %[kW]
        EL_EN_VK_h_COOLING(j,z)=Pel_1(j); %[kJ] ovo ce biti nula
jer se množi s vremenom
        tVK_C(j,z)=tVK_1_C(j); %[s]  ovo ce biti nula jer je qhnd
nula
        epsilon_C(j,z)=0; %on mora biti nula jer ner radi

%Qh/c 1°
    elseif tVK_1_C(j)<3600


        TOPL_SNAGA_VK_h_C(j,z)=n_VK*QVK_1_C; %[kW]
        EL_EN_VK_h_COOLING(j,z)=Pel_1(j); %[kJ]
        tVK_C(j,z)=tVK_1_C(j); %[s]
        epsilon_C(j,z)=epsilon_1_C;


%Qh/c 2°
    elseif tVK_2_C(j)<3600

        TOPL_SNAGA_VK_h_C(j,z)=n_VK*QVK_2_C; %[kW]
        EL_EN_VK_h_COOLING(j,z)=Pel_2(j); %[kJ]
        tVK_C(j,z)=tVK_2_C(j);
        epsilon_C(j,z)=epsilon_2_C;


%Qh/c 3°
    elseif tVK_3_C(j)<3600

        TOPL_SNAGA_VK_h_C(j,z)=n_VK*QVK_3_C; %[kW]
        EL_EN_VK_h_COOLING(j,z)=Pel_3(j); %[kJ]
        tVK_C(j,z)=tVK_3_C(j);
        epsilon_C(j,z)=epsilon_3_C;


else
        fprintf('Ne zadovoljava u koraku: %d', j)
        disp(' ')
end

%temp povrata DT-a
```

```
TDT_pov_C(j)=epsilon_C(j)*(Tz-TDT_pol_C(j))+TDT_pol_C(j);



%-------------------------------------------------------------------
--
%DIZALICA TOPLINE
%-------------------------------------------------------------------
--


%...

end

end

%Ukupna EL. EN. VK za grijanje svih zona po satu za svaki K
EL_EN_VK_h_C_Z(:,k)=sum(EL_EN_VK_h_COOLING,2)/3600; %[kWh]


%-------------------------------------------------------------------
---------
%-------------------------------DT----------------------------------
---------
%-------------------------------------------------------------------
---------
global PLR_H
global PLR_C

QDT_H_max= 11; %SNAGA GRIJANJA DT[kW] > max(QHnd_uk_h)=6.3
QDT_C_max= 11; %SNAGA HLAĐENJA DT[kW] > max(QCnd_uk_h)=10.4


%DT - POTROŠNJA STRUJE GRIJANJE
    for i=1:8760

        %TEMPERATURA OKOLIŠA
        Tok=T_ok(i);

        %GRIJANJE
            %TDT_pol_H(i) = Krivulja_grijanja;
```

```
            if QHnd_uk_h(i)==0; %[kWh]

                PLR_H(i) = 0;
                COP(i)=0;
                EL_EN_DT_h_HEATING(i,k)=0;

            else

                PLR_H(i) = QHnd_uk_h(i)/ QDT_H_max; % MOGU li
računati preko E a ne P?
                COP(i)=COP_funkcija;
                EL_EN_DT_h_HEATING(i,k) = QHnd_uk_h(i)/COP(i);
%[kWh]

            end


    end




   %DT - POTROŠNJA STRUJE HLAĐENJE
     for i=1:8760

        %TEMPERATURA OKOLIŠA
        Tok=T_ok(i);

        %HLAĐENJE
            %TDT_pol_C(i) = 7;

            if QCnd_uk_h(i)==0; %[kWh]

                PLR_C(i) = 0;
                EER(i)=0;
                EL_EN_DT_h_COOLING(i,k)=0;

            else

                PLR_C(i) = QCnd_uk_h(i)/ QDT_C_max;
                EER(i)= EER_funkcija;
                EL_EN_DT_h_COOLING(i,k)= QCnd_uk_h (i)/EER(i);
%[kWh]
```

```
            end
        end

        EL_EN_UK_h_H=EL_EN_VK_h_H_Z+EL_EN_DT_h_HEATING; %[kWh]
        EL_EN_UK_h_C=EL_EN_VK_h_C_Z+EL_EN_DT_h_COOLING; %[kWh]


%RAZINE RADA VENTILOKONVEKTORA PO ZONAMA
for z=1:8
n_h_VK1_H_Z(z) = nnz(epsilon_H(:,z)==epsilon_1_H);
n_h_VK2_H_Z(z) = nnz(epsilon_H(:,z)==epsilon_2_H);
n_h_VK3_H_Z(z) = nnz(epsilon_H(:,z)==epsilon_3_H);

n_h_VK1_C_Z(z) = nnz(epsilon_C(:,z)==epsilon_1_C);
n_h_VK2_C_Z(z) = nnz(epsilon_C(:,z)==epsilon_2_C);
n_h_VK3_C_Z(z) = nnz(epsilon_C(:,z)==epsilon_3_C);
end

n_h_VK_H=[n_h_VK1_H_Z;n_h_VK2_H_Z;n_h_VK3_H_Z];
n_h_VK_C=[n_h_VK1_C_Z;n_h_VK2_C_Z;n_h_VK3_C_Z];
%-------------------------------------------------



% %disp('Potrosnja el energije ventilokonvektora [kJ]: ')
%disp(EL_EN_VK_h_HEATING)

%figure(2)
%plot(t,EL_EN_VK_potosena_u_satu,'linewidth',2),xlabel('t,
h'),ylabel('E_{vk}, kJ'),grid on

% disp('Potrosnja el energije dizalice topline [kJ]: ')
% disp(EL_EN_DT_h)

%figure(1)
%plot(t,EL_EN_DT_potr_h,'linewidth',2),xlabel('t,
h'),ylabel('E_{dt}, kJ'),grid on


%ZBROJ

%  disp('Godisnja potrosnja el. energije za VK grijanje UKUPNA
[kWh]: ');
%  sum(sum(EL_EN_VK_h_HEATING))/3600; %[kWh] TOCNO!
```

```
%  disp('Godisnja potrosnja el. energije za VK hladjenje UKUPNA
[kWh]: ');
%  sum(sum(EL_EN_VK_h_COOLING))/3600; %[kWh] TOCNO!
%  disp('Godisnja potrosnja el. energije za DT grijanje UKUPNA
[kWh]: ');
%  sum(EL_EN_DT_h_HEATING); %[kWh] TOČNO
%  disp('Godisnja potrosnja el. energije za DT hladjenje UKUPNA
[kWh]: ');
%  sum(EL_EN_DT_h_COOLING); %[kWh];
% disp('UKUPNA godisnja potrosnja el. energije[kWh]: ');
%
UK_EL(k,l)=sum(sum(EL_EN_VK_h_HEATING))/3600+sum(sum(EL_EN_VK_h_C
OOLING))/3600+sum(EL_EN_DT_h_HEATING)+sum(EL_EN_DT_h_COOLING);



 end

% disp('Godisnja potrosnja el. energije UKUPNA [kWh]: ');
% GOD_EL_EN= A + B + C + D; %[kWh]

%E_DT_H_kWh=EL_EN_DT_h_HEATING/3600; %satna potrošnja struje u
kWh
%E_DT_C_kWh=EL_EN_DT_h_COOLING/3600;

%broj sati grijanja
%nnz(Q_Hnd) 2012
%broj sati hlađenja
%nnz(Q_Cnd) 4367
%broj sati rada
%356*(24-7) 6205
%neradnih 2555


toc



    %nnz(Q_Hnd);
    %Broj_sati_hladjenja=nnz(Q_Cnd);

    sCOP=sum(COP)/nnz(COP)
    sEER=sum(EER)/nnz(EER)
```

```
Ukupna_snaga_H=sum(TOPL_SNAGA_VK_h_H,2)';
Ukupna_snaga_C=sum(TOPL_SNAGA_VK_h_C,2)';
%plot([1:8760],Ukupna_snaga_H);
%plot([1:8760],Ukupna_snaga_C);

%Pronalaženje lokacije minimalne vrijednosti potrošnje
struje(trazim svaki
%redak da pronađem stupac s min vrijednosti
[valH,indH] = min(EL_EN_UK_h_H,[],2);
[valC,indC] = min(EL_EN_UK_h_C,[],2);

minEL_EN_UK_h_H = min(EL_EN_UK_h_H,[],2);
minEL_EN_UK_h_C = min(EL_EN_UK_h_C,[],2);



%Ukupna minimalna energija satna nakon optimiziranja
minEL_EN_h=minEL_EN_UK_h_H + minEL_EN_UK_h_C;

%Ukupna minimalna energija godišnja nakon optimiziranja
minEL_EN_UK=sum(minEL_EN_UK_h_H) + sum(minEL_EN_UK_h_C)



%Graf optimizirane temperature polaska po satu
for l=1:8760
    a=indH(l);
    if Q_Hnd(l)==0
        T_pol_H_opt(l)=NaN;
    else

T_pol_H_opt(l)=TDT_pol_HH(l,a);
    end

    b=indC(l);
    if Q_Cnd(l)==0;
        T_pol_C_opt(l)=NaN;
    else
T_pol_C_opt(l)=TDT_pol_CC(l,b);
```

```
    end

    %Potrošnja struje VK REALNA za minimalnu Ukupnu potrošnju
(VK+DT) u satu(ne min
    %potrošnja)!
minEL_EN_VK_h_H_Z(l)=EL_EN_VK_h_H_Z(l,indH(l));
minEL_EN_VK_h_C_Z(l)=EL_EN_VK_h_C_Z(l,indC(l));



end
%plot([1:8760],T_pol_H_opt)
%plot([1:8760],T_pol_C_opt)


%potrošnja DT (izračunato preko oduzimanja VK od ukupne
potrošnje)
minEL_EN_DT_h_H=minEL_EN_UK_h_H-minEL_EN_VK_h_H_Z';
minEL_EN_DT_h_C=minEL_EN_UK_h_C-minEL_EN_VK_h_H_Z';


%potrošnja VK za grijanje i hlađenje
sum(min(EL_EN_VK_h_H_Z,[],2));
sum(min(EL_EN_VK_h_C_Z,[],2));

%potrošnja DT (izračunato preko oduzimanja VK od ukupne
potrošnje)
minEL_EN_DT_h_H=minEL_EN_UK_h_H-minEL_EN_VK_h_H_Z';
minEL_EN_DT_h_C=minEL_EN_UK_h_C-minEL_EN_VK_h_C_Z';

for l=1:8760
COPopt(l)=QHnd_uk_h(l)'/minEL_EN_DT_h_H(l);
EERopt(l)=QCnd_uk_h(l)'/minEL_EN_DT_h_C(l);

%temperatura rada GRIJANJE
tVK_H_opt(l)=tVK_H(l,indH(l));
tVK_C_opt(l)=tVK_C(l,indC(l));
end

%max(T_pol_C_opt(~ismember(T_pol_C_opt,0)))
%min(T_pol_C_opt(~ismember(T_pol_C_opt,0)))
```

PRILOG 3 – COP FUNKCIJA

```
function COP = COP_funkcija

% x = [10, 1, 35;
%      10, 0.75, 35;
%      10, 0.5, 35;
%      10, 0.3, 35;
%      5, 1, 35;
%      5, 0.75, 35;
%      5, 0.5, 35;
%      5, 0.3, 35;
%      0, 1, 35;
%      0, 0.75, 35;
%      0, 0.5, 35;
%      0, 0.3, 35;
%      -10, 1, 35
%      -10, 0.75, 35;
%      -10, 0.5,  35;
%      -10, 0.3,  35;
%
%      10, 1, 45;
%      10, 0.75, 45;
%      10, 0.5, 45;
%      10, 0.3, 45;
%      5, 1, 45;
%      5, 0.75, 45;
%      5, 0.5, 45;
%      5, 0.3, 45;
%      0, 1, 45;
%      0, 0.75, 45;
%      0, 0.5, 45;
%      0, 0.3, 45;
%      -10, 1, 45
%      -10, 0.75, 45;
%      -10, 0.5,  45;
%      -10, 0.3,  45;
%
%      10, 1, 50;
%      10, 0.75, 50;
%      10, 0.5, 50;
%      10, 0.3, 50;
%      5, 1, 50;
%      5, 0.75, 50;
```

```
%      5, 0.5, 50;
%      5, 0.3, 50;
%      0, 1, 50;
%      0, 0.75, 50;
%      0, 0.5, 50;
%      0, 0.3, 50];
%
%
%
% y = [4.223; 4.239; 4.320; 4.32;
%      3.786; 3.784; 3.749; 3.847;
%      3.409; 3.392; 3.338; 3.434;
%      2.789; 2.753; 2.67; 2.758;
%
%      3.459; 3.483; 3.491; 3.579;
%      3.108; 3.118; 3.107; 3.194;
%      2.803; 2.802; 2.774; 2.857;
%      2.3; 2.282; 2.231; 2.306;
%
%      3.109; 3.135; 3.149; 3.231;
%      2.801; 2.813; 2.809; 2.889;
%      2.531; 2.533; 2.513; 2.591];

%p = polyfitn(x,y,3)
%polyn2sympoly(p)

global PLR_H
global Tok
global i
global TDT_pol_H


X1 = Tok;
X2 = PLR_H(i);
X3 = TDT_pol_H(i);

%   X1 = 15;
%   X2 = 1;
%   X3 = 30;

COP=0.00097514*X1.^2 - 0.0098575*X1*X2 - 0.0015661*X1*X3 +
0.13753*X1 + 0.354*X2.^2 - 0.0027963*X2*X3 - 0.38783*X2 +
0.0004899*X3.^2 - 0.097433*X3 + 6.3516;
```

PRILOG 4 – EER FUNKCIJA

```
%EER

function EER = EER_funkcija

% x = [40, 1, 6;
%      40, 0.75, 6;
%      40, 0.5, 6;
%      40, 0.3, 6;
%      30, 1, 6;
%      30, 0.75, 6;
%      30, 0.5, 6;
%      30, 0.3, 6;
%      20, 1, 6;
%      20, 0.75, 6;
%      20, 0.5, 6;
%      20, 0.3, 6;
%      15, 1, 6
%      15, 0.75, 6;
%      15, 0.5,  6;
%      15, 0.3,  6;
%
%      40, 1, 8;
%      40, 0.75, 8;
%      40, 0.5, 8;
%      40, 0.3, 8;
%      30, 1, 8;
%      30, 0.75, 8;
%      30, 0.5, 8;
%      30, 0.3, 8;
%      20, 1, 8;
%      20, 0.75, 8;
%      20, 0.5, 8;
%      20, 0.3, 8;
%      15, 1, 8;
%      15, 0.75, 8;
%      15, 0.5,  8;
%      15, 0.3,  8;
%
%      40, 1, 10;
%      40, 0.75, 10;
%      40, 0.5, 10;
%      40, 0.3, 10;
```

```
%      30, 1, 10;
%      30, 0.75, 10;
%      30, 0.5, 10;
%      30, 0.3, 10;
%      20, 1, 10;
%      20, 0.75, 10;
%      20, 0.5, 10;
%      20, 0.3, 10;
%      15, 1, 10;
%      15, 0.75, 10;
%      15, 0.5,  10;
%      15, 0.3,  10;
%
%      40, 1, 14;
%      40, 0.75, 14;
%      40, 0.5, 14;
%      40, 0.3, 14;
%      30, 1, 14;
%      30, 0.75, 14;
%      30, 0.5, 14;
%      30, 0.3, 14;
%      20, 1, 14;
%      20, 0.75, 14;
%      20, 0.5, 14;
%      20, 0.3, 14;
%      15, 1, 14;
%      15, 0.75, 14;
%      15, 0.5,  14;
%      15, 0.3,  14];
%
%
% y = [2.521; 2.680; 2.807; 2.869;
%      3.358; 3.661; 3.596; 3.661;
%      4.296; 4.492; 4.621; 4.690;
%      4.620; 4.621; 4.365; 4.407;
%
%      2.659; 2.837; 2.990; 3.058;
%      3.536; 3.717; 3.827; 3.902;
%      4.520; 4.747; 4.875; 4.963;
%      4.832; 4.820; 4.537; 4.588;
%
%      2.777; 2.976; 3.152; 3.222;
%      3.686; 3.890; 4.028; 4.102;
%      4.704; 4.924; 5.075; 5.165;
```

```
%     5.001; 5.114; 4.658; 4.699;
%
%     2.985; 3.228; 3.451; 3.510;
%     3.945; 4.195; 4.381; 4.426;
%     5.008; 5.239; 5.381; 5.408;
%     5.265; 5.199; 4.804; 4.789];


%p = polyfitn(x,y,2);

%polyn2sympoly(p);

global PLR_C
global Tok
global i
global TDT_pol_C

X1 = Tok;
X2 = PLR_C(i);
X3 = TDT_pol_C(i);

EER=-0.0019123*X1.^2 - 0.035304*X1*X2 + 6.3051e-05*X1*X3 +
0.049711*X1 - 0.46476*X2.^2 - 0.0057768*X2*X3 + 1.281*X2 -
0.0035835*X3^2 + 0.15152*X3 + 3.2448;
```