

# Simulacija godišnje potrošnje energije u zgradi sa solarnim toplovodnim sustavom

---

Hunić, Domagoj

Master's thesis / Diplomski rad

2017

*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:235:275980>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-27**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Domagoj Hunić**

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Damir Dović, dipl. ing.

Student:

Domagoj Hunić

Zagreb, 2017.

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

Zahvaljujem se svojem mentoru prof. dr. sc. Damiru Doviću na pruženoj pomoći i podršci tijekom izrade rada.

Posebno se zahvaljujem svojim roditeljima, bratu i bakama na pruženoj podršci tijekom studiranja.

Domagoj Hunić



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, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur. broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Domagoj Hunić**

Mat. br.: 0035181696

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Simulacija godišnje potrošnje energije u zgradi sa solarnim toplovodnim sustavom**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Simulation of annual energy consumption in building with solar hot water system**

Opis zadatka:

U ovom radu potrebno je izraditi računalni program za simulaciju godišnje potrošnje isporučene i primarne energije za grijanje i pripremu potrošne tople vode (PTV) u odabranoj zgradi. Osnovni dijelovi termotehničkog sustava su:

- podsustav predaje
- podsustav razvoda
- podsustav proizvodnje sa solarnim kolektorima i spremnikom toplinske energije
- podsustav proizvodnje sa toplovodnim kotlom na biomasu.

Proračun je potrebno provesti pri dvije različite razine potrebne godišnje toplinske energije za grijanje, i to od 10 kWh/m<sup>2</sup> i 70 kWh/m<sup>2</sup> stambene površine. Proračune je potrebno provesti za klimatska područja Zagreba i Splita.

Dijelove, dimenzije i toplinski kapacitet sustava prilagoditi veličini i toplinskim potrebama zgrade.

Za navedene proračune koristiti:

- javno dostupne algoritme prema važećim normama skupine HRN EN 15316
- nove norme iz skupine EN 15316:2017
- mjesečnu i satnu metodu za proračun solarnog toplovodnog sustava prema EN 15316-4-3:2017
- satnu metodu za proračun spremnika tople vode prema EN 15316-5:2017 s podjelom spremnika na jedan i više volumnih dijelova.

Temeljem izračunatih vrijednosti toplinskih gubitaka potrebno je:

- izračunati ukupno isporučenu i primarnu energiju zgrade
- usporediti rezultate proračuna dobivene navedenim metodama.

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

Zadatak zadan:

28. rujna 2017.

Datum predaje rada:

30. studenog 2017.

Predviđeni datum obrane:

6., 7. i 8. prosinca 2017.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Damir Dović

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA .....	VI
SAŽETAK.....	XX
SUMMARY .....	XXI
1. UVOD.....	1
2. PREGLED KORIŠTENIH NORMI.....	2
2.1. Javno dostupni algoritmi prema važećim normama skupine HRN EN 15316.....	2
2.1.1. HRN EN 15316-1:2008 Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - 1. Dio: Općenito.....	2
2.1.2. HRN EN 15316-2-1:2008 Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 2-1: Sustavi za grijanje prostora zračenjem topline .....	4
2.1.3. HRN EN 15316-2-3:2008 Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 2-3: Razvodi sustava grijanja prostora .....	5
2.1.4. HRN EN 15316-4-7:2008 Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 4-7: Sustavi za proizvodnju topline izgaranjem biomase .....	8
2.1.5. HRN EN 15316-3-1:2008 Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 3-1: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, pokazatelji potreba prema izljevnome mjestu .....	12
2.1.6. HRN EN 15316-3-2:2008 Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 3-2: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, razvod .....	13
2.1.7. HRN EN 15316-3-3:2008 Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 3-3: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, zagrijavanje .....	16
2.1.8. HRN EN 15316-4-3:2008 Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 4-3: Sustavi za proizvodnju topline, toplinski sustavi sunčevog zračenja .....	17
2.1.9. Proračun isporučene i primarne energije.....	22
2.2. Nove norme iz skupine EN 15316:2016 .....	22
2.2.1. Mjesečni proračun solarnog toplovodnog sustava prema normi FprEN 15316-4-3:2016 .....	22
2.2.2. Satni proračun solarnog toplovodnog sustava prema normi FprEN 15316-4-3:2016 .....	27
2.2.3. Satni proračun spremnika tople vode s podjelom spremnika na jedan volumni dio prema normi FprEN 15316-5:2016.....	28
2.2.4. Satni proračun spremnika tople vode s podjelom spremnika na više volumnih dijelova prema normi FprEN 15316-5:2016.....	30

---

3. OPIS SUSTAVA I ULAZNI PODACI .....	34
4. USPOREDBA REZULTATA PO PODSUSTAVIMA .....	38
4.1. Podsustav predaje .....	38
4.2. Podsustav razvoda - grijanje.....	41
4.3. Podsustav proizvodnje - kotao na biomasu .....	44
4.4. Podsustav razvoda - potrošna topla voda (PTV).....	47
4.5. Solarni sustav .....	50
5. USPOREDBA UKUPNIH REZULTATA - ISPORUČENA I PRIMARNA ENERGIJA	62
6. KRITIČKI OSVRT NA NOVE NORME IZ SKUPINE EN 15316:2016 .....	72
7. ZAKLJUČAK.....	74
LITERATURA.....	76
PRILOZI.....	77

## POPIS SLIKA

Slika 1. Osnovni tokovi energije i smjer proračuna potrebne energije za grijanje zgrade .....	3
Slika 2. Mjesečna raspodjela potrebne toplinske energije za grijanje (Zagreb, 70 kWh/m <sup>2</sup> ) ..	34
Slika 3. Mjesečna raspodjela potrebne toplinske energije za grijanje (Split, 10 kWh/m <sup>2</sup> ) .....	35
Slika 4. Satna raspodjela potrebne toplinske energije za grijanje za karakterističan dan u ožujku (Zagreb, 70 kWh/m <sup>2</sup> ).....	35
Slika 5. Satna raspodjela potrebne toplinske energije za grijanje za karakterističan dan u ožujku (Split, 10 kWh/m <sup>2</sup> ).....	36
Slika 6. Mjesečna raspodjela potrebne toplinske energije za pripremu PTV-a .....	36
Slika 7. Satna raspodjela potrebne toplinske energije za pripremu PTV-a u danu .....	37
Slika 8. Rezultati - isporučena Sunčeva energija u sustav (Zagreb, 70 kWh/m <sup>2</sup> ).....	51
Slika 9. Rezultati - isporučena Sunčeva energija u sustav (Zagreb, 10 kWh/m <sup>2</sup> ).....	52
Slika 10. Rezultati - isporučena Sunčeva energija u sustav (Split, 70 kWh/m <sup>2</sup> ).....	52
Slika 11. Rezultati - isporučena Sunčeva energija u sustav (Split, 10 kWh/m <sup>2</sup> ).....	53
Slika 12. Temperatura vode u spremniku - (proračun S1, karakterističan dan u veljači) .....	53
Slika 13. Podrška solarnog sustava i kotla na biomasu - (proračun S1, karakterističan dan u veljači) .....	54
Slika 14. Temperatura vode u spremniku - (proračun S1, karakterističan dan u kolovozu)....	54
Slika 15. Podrška solarnog sustava i kotla na biomasu - (proračun S1, karakterističan dan u kolovozu).....	55
Slika 16. Temperatura vode u spremniku - (proračun S2, karakterističan dan u veljači) .....	55
Slika 17. Podrška solarnog sustava i kotla na biomasu (proračun S2, karakterističan dan u veljači) .....	56
Slika 18. Temperatura vode u spremniku - (proračun S2, karakterističan dan u kolovozu)....	56
Slika 19. Podrška solarnog sustava i kotla na biomasu - (proračun S2, karakterističan dan u kolovozu).....	57
Slika 20. Toplinska energija koju je potrebno isporučiti dodatnim generatorom topline (Zagreb, 70 kWh/m <sup>2</sup> ).....	60
Slika 21. Toplinska energija koju je potrebno isporučiti dodatnim generatorom topline (Zagreb, 10 kWh/m <sup>2</sup> ).....	60
Slika 22. Toplinska energija koju je potrebno isporučiti dodatnim generatorom topline (Split, 70 kWh/m <sup>2</sup> ) .....	61
Slika 23. Toplinska energija koju je potrebno isporučiti dodatnim generatorom topline (Split, 10 kWh/m <sup>2</sup> ) .....	61
Slika 24. Rezultati - godišnja isporučena energija (Zagreb, 70 kWh/m <sup>2</sup> ).....	63
Slika 25. Rezultati - godišnja primarna energija (Zagreb, 10 kWh/m <sup>2</sup> ).....	63
Slika 26. Rezultati - godišnja isporučena energija (Zagreb, 10 kWh/m <sup>2</sup> ).....	65
Slika 27. Rezultati - godišnja primarna energija (Zagreb, 10 kWh/m <sup>2</sup> ).....	65
Slika 28. Rezultati - godišnja isporučena energija (Split, 70 kWh/m <sup>2</sup> ).....	67
Slika 29. Rezultati - godišnja primarna energija (Split, 70 kWh/m <sup>2</sup> ) .....	67
Slika 30. Rezultati - godišnja isporučena energija (Split, 10 kWh/m <sup>2</sup> ).....	69
Slika 31. Rezultati - godišnja primarna energija (Split, 10 kWh/m <sup>2</sup> ) .....	69



## POPIS TABLICA

Tablica 1. Rezultati - toplinska energija na izlazu iz podsustava predaje (Zagreb).....	38
Tablica 2. Rezultati - toplinska energija na izlazu iz podsustava predaje (Split).....	39
Tablica 3. Rezultati - toplinski gubici podsustava predaje (Zagreb).....	39
Tablica 4. Rezultati - toplinski gubici podsustava predaje (Split) .....	40
Tablica 5. Rezultati - toplinska energija koju je potrebno isporučiti podsustavu predaje (Zagreb) .....	40
Tablica 6. Rezultati - toplinska energija koju je potrebno isporučiti podsustavu predaje (Split) .....	41
Tablica 7. Rezultati - toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda grijanja (Zagreb).....	42
Tablica 8. Rezultati - toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda grijanja (Split).....	42
Tablica 9. Rezultati - toplinski gubici razvoda grijanja (Zagreb) .....	43
Tablica 10. Rezultati - toplinski gubici razvoda grijanja (Split) .....	43
Tablica 11. Rezultati - toplinska energija koju je potrebno isporučiti podsustavima razvoda kotlom na biomasu (Zagreb) .....	44
Tablica 12. Rezultati - toplinska energija koju je potrebno isporučiti podsustavima razvoda kotlom na biomasu (Split) .....	45
Tablica 13. Rezultati - ukupni toplinski gubici podsustava proizvodnje (Zagreb) .....	45
Tablica 14. Rezultati - ukupni toplinski gubici podsustava proizvodnje (Split).....	46
Tablica 15. Rezultati - toplinska energija koju je potrebno gorivom isporučiti podsustavu proizvodnje (Zagreb).....	46
Tablica 16. Rezultati - toplinska energija koju je potrebno gorivom isporučiti podsustavu proizvodnje (Split).....	47
Tablica 17. Rezultati - toplinski gubici podsustava razvoda PTV-a (Zagreb).....	48
Tablica 18. Rezultati - toplinski gubici podsustava razvoda PTV-a (Split).....	48
Tablica 19. Rezultati - toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda PTV-a (Zagreb).....	49
Tablica 20. Rezultati - toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda PTV-a (Split).....	49
Tablica 21. Rezultati - isporučena Sunčeva energija u sustav (Zagreb) .....	50
Tablica 22. Rezultati - isporučena Sunčeva energija u sustav (Split) .....	51
Tablica 23. Rezultati - toplinski gubici spremnika (Zagreb) .....	57
Tablica 24. Rezultati - toplinski gubici spremnika (Split) .....	58
Tablica 25. Rezultati - toplinska energija koju je potrebno dovesti dodatnim generatorom topline u termotehnički sustav zgrade (Zagreb) .....	58
Tablica 26. Rezultati - toplinska energija koju je potrebno isporučiti dodatnim generatorom topline u termotehnički sustav zgrade (Split).....	59
Tablica 27. Ukupni rezultati za Zagreb (70 kWh/m <sup>2</sup> ).....	62
Tablica 28. Ukupni rezultati za Zagreb (10 kWh/m <sup>2</sup> ).....	64
Tablica 29. Ukupni rezultati za Split (70 kWh/m <sup>2</sup> ).....	66
Tablica 30. Ukupni rezultati za Split (10 kWh/m <sup>2</sup> ).....	68
Tablica 31. Ukupni godišnji rezultati isporučene sunčeve energije i odstupanje u odnosu na proračun M1 (Zagreb) .....	70
Tablica 32. Ukupni godišnji rezultati isporučene sunčeve energije i odstupanje u odnosu na proračun M1 (Split).....	70

---

Tablica 33. Ukupni rezultati isporučene energije i odstupanje u odnosu na proračun M1 (Zagreb) .....	70
Tablica 34. Ukupni rezultati isporučene sunčeve energije i odstupanje u odnosu na proračun M1 (Split) .....	70
Tablica 35. Ukupni rezultati primarne energije i odstupanje u odnosu na proračun M1 (Zagreb) .....	71
Tablica 36. Ukupni rezultati primarne energije i odstupanje u odnosu na proračun M1 (Split) .....	71

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$A_k$	$m^2$	korisna površina zgrade
$a, b, c, d, e$	-	faktori sunčanog spremnika
$A_H$	$m^2$	svijetla površina kolektora za potrebe grijanja prostora
$A_W$	$m^2$	svijetla površina kolektora za pripremu PTV-a
$a_1$	-	koeficijent toplinskih gubitaka kolektora prvog reda
$a_2$	-	koeficijent toplinskih gubitaka kolektora prvog reda
$A_{sol, mod}$	$m^2$	referentna površina kolektora
$A_{x, sol, m}$	$m^2$	efektivna površina kolektora za potrebe grijanja i PTV-a
$A_{sol}$	$m^2$	ukupna instalirana površina kolektora
$b$	-	faktor koji uzima u obzir starost zgrade
$b_{brm}$	-	faktor smanjenja temperature u ovisnosti o lokaciji kotla
$C_{P1}$	-	konstanta koja uzima u obzir način regulacije pumpe
$C_{P2}$	-	konstanta koja uzima u obzir način regulacije pumpe
$c_1$	%	koeficijent za proračun učinkovitosti kotla
$c_2$	%	koeficijent za proračun učinkovitosti kotla
$c_3$	%	koeficijent za proračun učinkovitosti kotla
$c_4$	%	koeficijent za proračun učinkovitosti kotla
$c_5$	%	koeficijent za proračun gubitaka topline u stanju pripravnosti
$c_6$	%	koeficijent za proračun gubitaka topline u stanju pripravnosti
$c_7$	W	parametar za proračun potrebne energije za pogon pomoćnih uređaja
$c_8$	W	parametar za proračun potrebne energije za pogon pomoćnih uređaja
$C_{pmp}$	-	faktor regulacije pumpe
$C_{p,i}$	-	faktor pretvorbe za i-ti izvor energije
$C_{el}$	-	faktor pretvorbe za električnu energiju
$c_w$	J/kgK	specifični toplinski kapacitet
$c_{p,w}$	J/kgK	specifični toplinski kapacitet
$d$	dan	broj dana u promatranom periodu
$d_{mj}$	dan	broj dana u mjesecu
$e_{dis}$	-	faktor energetskeg utroška
$e_{pmp, eff}$	-	faktor energetskeg utroška
$E_{sol, in, m}$	kWh/m <sup>2</sup>	mjesečno sunčevo ozračenje na plohu kolektora
$E_{sol, in, a}$	kWh/m <sup>2</sup>	ukupno godišnje Sunčevo ozračenje na plohu

		kolektora
$E_{H,del}$	kWh	isporučena energija - sustav grijanja
$E_{W,del}$	kWh	isporučena energija - sustav pripreme PTV-a
$E_{del}$	kWh	ukupno isporučena energija u termotehnički sustav zgrade
$E_{H,prim}$	kWh	primarna energija - sustav grijanja
$E_{W,prim}$	kWh	primarna energija - sustav pripreme PTV-a
$E_{prim}$	kWh	ukupna primarna energija za termotehnički sustav zgrade
$e_p$	-	koeficijent utroška primarne energije
$f_{hydr}$	-	faktor hidrauličke ravnoteže razvoda radnog medija
$f_{im}$	-	faktor intermitentnog rada
$f_{rad}$	-	faktor utjecaja zračenja
$f_{NET}$	-	korekcijski faktor hidrauličke mreže
$f_{HB}$	-	korekcijski faktor hidrauličke ravnoteže mreže
$f_{G,PM}$	-	korekcijski faktor za generatore topline s integriranom pumpom
$f_e$	-	faktor učinkovitosti
$f_{corr,Pn}$	%/°C	faktor korekcije
$f_{corr,Pint}$	%/°C	faktor korekcije
$f_{rvd,aux}$	-	dio pomoćne energije predan podsustavu razvoda
$f_{rbl,aux}$	-	dio pomoćne energije predan grijanom prostoru toplinski gubici kroz ovojnici kotla, izraženi kao dio ukupnih toplinskih gubitaka kotla u stanju pripravnosti
$f_{gnr,env}$	-	faktor učinkovitosti
$f_{eff}$	-	faktor koji se odnosi na direktan spoj kolektora na cijevi podnog grijanja koje djeluju kao spremnik
$f$	-	efektivni udio
$f_{aux}$	-	udio isporučene sunčeve energije u toplinskom opterećenju
$f_{sol,m}$	-	faktor primarne energije za i-ti izvor energije
$f_{p,i}$	-	faktor primarne energije za električnu energiju
$f_{p,el}$	-	faktor utjecaja orijentacije kolektora
$f_{col}$	-	faktor učinka korištenog sustava regulacije pomoćnog grijača
$f_{bu}$	-	faktor učinka korištenja izolacije na cijevima pomoćne petlje
$f_{bu,ins}$	-	faktor iskoristivih gubitaka sustava
$f_{rbl}$	-	korekcijski faktor
$f_{app}$	-	faktor korištenja solarnog sustava za pokrivanje grijanja i PTV-a
$f_{x,use,m}$	-	udio spremnika koji se zagrijava pomoćnim grijačem - grijanje i PTV
$f_{x,aux}$	-	korekcijski faktor zapremine spremnika - grijanje i
$f_{x,sto,m}$	-	

		PTV
$f_{x,tmp,m}$	-	udio isporučene Sunčeve energije u toplinskom opterećenju - grijanje i PTV (prva procjena solarnog doprinosa)
$f_{sto,bacc,acc}$	-	faktor gubitaka topline za stanje pripravnosti
$f_{sto,dis,ls}$	-	faktor gubitaka topline razvoda spojenog sa spremnikom
$f_{rvd,aux}$	-	udio pomoćne energije vraćene radnom mediju
$f_{sto,rm}$	-	udio iskorištenih toplinskih gubitaka prema grijanom prostoru
$h_{lev}$	m	visina kata
$H_{sto,ls,tot}$	W/K	ukupni koeficijent toplinskih gubitaka spremnika
$H_{sto,hx}$	W/K	toplinski koeficijent izmjenjivača topline
$H_{loop,p}$	W/K	ukupni koeficijent toplinskih gubitaka svih cijevi u kolektorskom krugu
$H_{x,sto,ls}$	W/K	gubici spremnika prema udjelu potrebe za grijanjem i PTV-om
$H_{x,loop}$	W/m <sup>2</sup> K	koeficijent toplinskih gubitaka kolektorskog kruga – grijanje i PTV
$H_{sol,loop}$	W/K	koeficijent toplinskih gubitaka solarnog kruga
$H_{sto,ls}$	W/K	koeficijent izmjene topline za stanje pripravnosti
$H_{exh}$	W/K	koeficijent izmjene topline izmjenjivača topline
$IAM$	-	faktor promjene kuta upadnog zračenja
$I_m$	W/m <sup>2</sup>	prosječno sunčevo zračenje tijekom promatranog mjeseca koji ima $t_m$ sati
$I_{sol,S45,m}$	W/m <sup>2</sup>	prosječno Sunčevo zračenje na kolektor tijekom promatranog vremena
$I_{sol,m}$	W/m <sup>2</sup>	korrigirano prosječno Sunčevo zračenje na površinu kolektora
$I_{sol,h}$	W/m <sup>2</sup>	prosječno Sunčevo zračenje na kolektor u promatranom satu
$k_1$	-	udio iskoristivih gubitaka u ukupnim za pojedinu dionicu u ovisnosti o vrsti prostora
$k_2$	-	udio iskoristivih gubitaka u ukupnim za pojedinu dionicu u ovisnosti o načinu ugradnje
$k$	-	udio iskoristivih gubitaka u ukupnim
$K_{hem(50)}$	-	faktor polukružne promjene kuta upadnog zračenja
$L_j$	m	duljina pojedine dionice cjevovoda
$L_{max}$	m	najveća duljina kruga grijanja u promatranom zoni
$l_c$	m	dodatna duljina cijevi za dvocijevni sustav
$L_L$	m	najveća razvijena duljina zgrade ili zone
$L_w$	m	najveća razvijena širina zgrade ili zone
$L_{W,dis,hs,i}$	m	duljina dionice razvodnog cjevovoda izvan cirkulacijske petlje u grijanom prostoru
$L_{W,dis,nhs,i}$	m	duljina dionice razvodnog cjevovoda izvan cirkulacijske petlje u negrijanom prostoru

$L_{W,i}$	m	duljina dionice petlje $i$
$L_W$	m	ukupna duljina cjevovoda u petlji
$L_{W,dis,col,max}$	m	najveća duljina cjevovoda u cirkulacijskoj petlji
$L_{H,m}$	d/mj	broj dana kad ima potrebe za grijanjem u pojedinom mjesecu
$L_{W,dis,hs,avg}$	m	duljina razvodnog cjevovoda izvan cirkulacijske petlje u grijanom prostoru
$L_{W,dis,nhs,avg}$	m	duljina razvodnog cjevovoda izvan cirkulacijske petlje u negrijanom prostoru
$L_{W,p}$	m	ukupna duljina cjevovoda primarne cirkulacije
$m_{col}$	kg/s	maseni protok kroz kolektor
$n_{fan}$	-	broj ventilatora
$n_{pmp}$	-	broj dodatnih pumpi
$n$	-	eksponent sustava predaje (podsustav predaje)
$N_{lev}$	-	broj etaža
$n$	-	koeficijent za proračun potrebne energije za pogon pomoćnih uređaja (podsustav proizvodnje)
$N_{col}$	-	broj instaliranih kolektora
$P_{ctr}$	W	električna snaga sustava regulacije
$P_{fan}$	W	nazivna potrošnja električne energije
$P_{pmp}$	W	nazivna električna snaga pumpe
$P_{hydr,des}$	W	projektna hidraulička snaga
$P_{aux,P(n,int,0)}$	W	potrebna pomoćna energija svakog kotla kod sva tri stanja opterećenja
$P_{aux,off}$	W	pomoćna energija tijekom mirovanja sustava
$P_{bg,nom}$	kW	projektno toplinsko opterećenje
$P_{hydr}$	W	hidraulička snaga cirkulacijske pumpe
$P_{gen,nom}$	kW	nazivna snaga generatora
$P_H$	-	udio isporučene energije za grijanje u ukupnoj
$P_W$	-	udio isporučene energije za pripremu PTV-a u ukupnoj
$P_{aux,nom}$	W	nazivna snaga pumpe
$P_{bu,aux,nom}$	W	nazivna snaga pumpe
$P_{sol,pmp}$	W	snaga pumpe kolektora
$P_{x,sol,pmp}$	W	snaga pumpe solarnog kruga raspodijeljena prema udjelu potrebe za grijanjem i PTV-om
$P_{sol,ctr}$	W	električna snaga sustava regulacije
$Q_{em,out}$	kWh	toplinska energija na izlazu iz podsustava predaje
$Q_{H,nd}$	kWh	potrebna toplinska energija za grijanje prostora
$Q_{rbl,i}$	kWh	pojedini iskoristivi gubitak
$Q_{in}$	kWh	toplinska energija na ulazu u podsustav
$Q_{out}$	kWh	toplinska energija na izlazu iz podsustava
$Q_{aux,rvd,i}$	kWh	vraćena pomoćna energija u podsustav

$Q_{ls}$	kWh	ukupni toplinski gubici podsustava toplinska energija koju je potrebno dovesti
$Q_{em,in}$	kWh	pod sustavu predaje toplinske energije u grijani prostor
$Q_{em,aux,rvd}$	kWh	vraćena pomoćna energija
$Q_{em,ls}$	kWh	toplinski gubici podsustava predaje
$\dot{Q}_{LH}$	kW	nazivna potrošnja električne energije grijača zraka
$Q_{em,aux,rbl}$	kWh	iskoristiva pomoćna energija koja se vraća u prostor u promatranom periodu za podsustav predaje
$Q_{em,rbl}$	kWh	iskoristivi toplinski gubici koji se vraćaju u prostor u promatranom periodu za podsustav predaje
$Q_{H,dis,ls}$	kWh	toplinski gubici svih dionica cjevovoda u promatranom periodu
$Q_{H,dis,out}$	kWh	toplinska energija na izlazu iz podsustava razvoda
$Q_{H,dis,rbl}$	kWh	iskoristivi toplinski gubici podsustava razvoda koji se vraćaju u grijani prostor
$Q_{H,dis,aux,rvd}$	kWh	vraćena pomoćna energija radnom mediju u promatranom periodu za podsustav razvoda
$Q_{H,dis,aux,rbl}$	kWh	iskoristiva pomoćna energija radnom mediju u promatranom periodu za podsustav razvoda
$Q_{H,dis,in}$	kWh	toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda grijanja
$Q_{H,gen,out}$	kWh	toplinska energija koju je potrebno isporučiti podsustavu razvoda
$Q_{H,gnr,out}$	kWh	toplinska energija koju je potrebno isporučiti podsustavu razvoda
$Q_{gnr,ls}$	kWh	ukupni toplinski gubici kotla tijekom ukupnog vremena rada kotla
$Q_{H,gen,ls}$	kWh	ukupni toplinski gubici podsustava proizvodnje
$Q_{gnr,aux,rvd}$	kWh	vraćena pomoćna energija, predana ogrjevnom mediju
$Q_{gnr,aux,rbl}$	kWh	iskoristiva pomoćna energija koja se predaje grijanom prostoru
$Q_{gnr,ls,env,rbl}$	kWh	iskoristivi toplinski gubici kroz ovojnici kotla
$Q_{H,gen,aux,rvd}$	kWh	ukupna vraćena pomoćna energija radnom mediju u promatranom periodu
$Q_{H,gen,aux,rbl}$	kWh	ukupna iskoristiva pomoćna energija koja se vraća u prostor u promatranom periodu za podsustav proizvodnje
$Q_{H,gen,ls,env,rbl}$	kWh	ukupni iskoristivi toplinski gubici kroz ovojnice kotlova (u kotlovnici) koji se vraćaju u prostor u promatranom periodu za podsustav proizvodnje
$Q_{H,gen,in}$	kWh	toplinska energija koju je potrebno gorivom isporučiti podsustavu proizvodnje
$Q_{sto,ls,ta}$	kW	toplinski gubitak kroz ovojnici akumulacijskog spremnika
$Q_{sto,ls,pip}$	kW	toplinski gubitak u primarnoj cirkulaciji akumulacijskog sustava

$Q_{sto,ls}$	kW	ukupni toplinski gubici akumulacijskog sustava
$Q_{sto,ls,rbl}$	kW	iskoristivi toplinski gubici koji se vraćaju u prostor u promatranom periodu za podsustav proizvodnje
$Q_{sto,aux,pu,rvd}$	kWh	proračun vraćene pomoćne energije pumpe primarne cirkulacije radnom mediju
$Q_{sto,aux,pu,rbl}$	kWh	proračun iskoristivih toplinskih gubitaka pumpe primarne cirkulacije koji se vraćaju u prostor u promatranom periodu
$Q_W$	kWh	toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a u promatranom periodu
$Q_{W,A,a}$	kWh/m <sup>2</sup> a	specifična toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a
$Q_{W,dis,ls,nc}$	kWh	toplinski gubici dijelova sustava razvoda izvan cirkulacijske petlje
$Q_{W,day}$	kWh/dan	toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a u promatranom periodu, svedena na dnevne vrijednosti
$Q_{W,dis,ls,col}$	kWh	toplinski gubici cirkulacijske petlje koja se sastoji od više dionica
$Q_{W,dis,ls,i}$	kWh	toplinski gubici dionice petlje (tijekom perioda cirkulacije)
$Q_{W,dis,aux,rbl}$	kWh	iskoristiva pomoćna energija koja se vraća u prostor u promatranom periodu za podsustav razvoda
$Q_{W,dis,ls}$	kWh	ukupni toplinski gubici podsustava razvoda
$Q_{W,dis,aux,rvd}$	kWh	vraćena pomoćna energija radnom mediju u promatranom periodu za podsustav razvoda (u cirkulacijskoj petlji)
$Q_{W,dis,in}$	kWh	toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda potrošne tople vode
$Q_{W,st,ls}$	kWh	toplinski gubici indirektno grijanog spremnika potrošne tople vode
$Q_{W,gen,out}$	kWh	toplinska energija koju generator predaje u sustav razvoda PTV-a
$Q_{HW,gen,out}$	kWh	toplinska energija koju generator predaje u sustav razvoda PTV-a i grijanje prostora
$Q_{W,gnr,ls}$	kWh	toplinski gubici generatora uslijed pripreme PTV-a
$Q_{HW,gen,ls}$	kWh	toplinski gubici generatora uslijed pripreme PTV-a i grijanja prostora
$Q_{W,gnr,out}$	kWh	potrebna toplinska energija za pripremu PTV-a
$Q_{H,sol,us,m}$	kWh	toplinsko opterećenje sunčanog sustava odnosno toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda grijanja
$Q_{W,sol,us,m}$	kWh	toplinsko opterećenje sunčanog sustava odnosno toplinska energija koju je potrebno isporučiti za pripremu PTV-a
$Q_{H,sol,out,m}$	kWh	isporučena sunčeva energija u sustav grijanja
$Q_{W,sol,out,m}$	kWh	isporučena sunčeva energija u sustav pripreme PTV-a
$Q_{W,sol,st,ls,m}$	kWh	toplinski gubici sunčanog spremnika - priprema PTV-a



$Q_{H,sol,st,ls,m}$	kWh	toplinski gubici sunčanog spremnika - grijanje prostora
$Q_{st,ls,m}$	kWh	ukupni toplinski gubici spremnika
$Q_{H,bu,dis,ls,m}$	kWh	toplinski gubici razvoda između solarnog sustava i dodatnog generatora topline - grijanje prostora
$Q_{W,bu,dis,ls,m}$	kWh	toplinski gubici razvoda između solarnog sustava i dodatnog generatora topline - priprema PTV-a
$Q_{bu,ls,m}$	kWh	smanjenje iznosa isporučene energije dodatnom generatoru topline
$Q_{gen,in,ns,m}$	kWh	mjesečna potrošnja energije na generatoru u slučaju bez instaliranog sunčanog sustava
$Q_{gen,in,m}$	kWh	mjesečna potrošnja energije na generatoru u slučaju s instaliranim sunčanim sustavom
$Q_{sol,aux,rvd,m}$	kWh	vraćena pomoćna energija radnom mediju u pojedinom mjesecu za sunčani sustav
$Q_{sol,aux,rbl,m}$	kWh	iskoristiva pomoćna energija koja se vraća u prostor u pojedinom mjesecu za sunčani sustav
$Q_{sol,st,ls,rbl,m}$	kWh	iskoristivi toplinski gubici sunčanog sustava
$Q_{H,bu,dis,ls,rbl,m}$	kWh	iskoristivi toplinski gubici razvoda između sunčanog spremnika i dodatnog generatora (grijanje prostora)
$Q_{W,bu,dis,ls,rbl,m}$	kWh	iskoristivi toplinski gubici razvoda između sunčanog spremnika i dodatnog generatora (priprema PTV-a)
$Q_{sol,rvd/rbl,m}$	kWh	ukupno vraćena i iskorištena toplinska energija - Sunčani sustav
$Q_{gen,sol,m}$	kWh	toplinski gubici spremnika i primarne cirkulacije u Sunčanom sustavu koje nadoknađuje dodatni generator
$Q_{bu,m}$	kWh	toplinska energija koju je potrebno dovesti dodatnim generatorom topline u termotehnički sustav zgrade
$Q_{gen,in,m}$	kWh	toplinska energija koju je potrebno isporučiti podsustavu proizvodnje odnosno dodatnom generatoru
$Q_{gen,out,m}$	kWh	toplinska energija na izlazu iz podsustava proizvodnje odnosno dodatnog generatora
$Q_{gen,aux,rvd,m}$	kWh	vraćena energija za pogon pomoćnih uređaja generatora
$Q_{gen,ls,m}$	kWh	ukupni toplinski gubici generatora
$Q_{sol,renew,m}$	kWh	ukupna korisna obnovljiva energija prikupljena sunčevim sustavom
$Q_{W,gen,in}$	kWh	toplinska energija koju je potrebno gorivom isporučiti podsustavu proizvodnje - za pripremu PTV-a
$Q_{x,bu,sto,ls,m}$	kWh	toplinski gubici dijela spremnika zagrijavanog pomoćnim grijačem - grijanje i PTV
$Q_{x,sol,ls,us}$	kWh	korigirano toplinsko opterećenje solarnog sustava - grijanje i PTV
$Q_{x,sol,tmp,m}$	kWh	prva procjena solarnog doprinosa - grijanje i PTV
$Q_{x,sol,sto,ls,m}$	kWh	toplinski gubici Sunčanog spremnika (kojeg namiruje Sunčani sustav) - grijanje i PTV

$Q_{x,bu,out,m}$	kWh	toplinska energija koju je potrebno dovesti dodatnim generatorom - grijanje i PTV
$Q_{x,bu,dis,ls,m}$	kWh	toplinski gubici razvoda između solarnog sustava i dodatnog generatora topline - grijanje i PTV
$Q_{x,sol,ls,rbl,m}$	kWh	iskoristivi toplinski gubici koji se vraćaju u prostor u pojedinom mjesecu za Sunčani sustav - grijanje i PTV
$Q_{x,bu,ls,nom,m}$	kWh	gubici dodatnog generatora - grijanje i PTV
$Q_{x,bu,ls,m}$	kWh	smanjeni toplinski gubici dodatnog generatora topline - grijanje i PTV
$Q_{x,sol,us,h}$	kWh	toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda grijanja i PTV-a u promatranom satu
$Q_{sol,gen,h}$	kWh	toplinska energija na apsorberu kolektora u promatranom satu
$Q_{sol,out,h}$	kWh	toplinska energija na izlazu iz kolektora u promatranom satu
$Q_{sol,loop,ls,h}$	kWh	gubici topline solarne petlje u promatranom satu
$Q_{sol,loop,out,h}$	kWh	toplinska energija na izlazu iz solarne petlje u promatranom satu
$Q_{sol,loop,out,h,min}$	kWh	toplinska energija na izlazu iz solarne petlje - minimalna vrijednost u promatranom satu
$Q_{sol,loop,rbl,h}$	kWh	iskoristivi gubici topline u promatranom satu
$Q_{x,sol,out,m}$	kWh	isporučena sunčeva energija u sustav grijanja i PTV-a
$Q_{W,sto,out}$	kWh	potrebna toplinska energija za PTV
$Q_{W,sto,out,tmp1}$	kWh	ograničenje toplinske energije dobivene iz solarnog sustava za pripremu PTV-a
$Q_{H,sto,out,tmp2}$	kWh	ograničenje toplinske energije iz solarnog sustava za grijanje prostora
$Q_{H,sto,bu,in,tmp}$	kWh	potrebna toplinska energija iz pomoćnog sustava
$Q_{sto,ls,tot}$	kWh	toplinski gubici spremnika
$Q_{H,sto,aux,rvd}$	kWh	iskorištena pomoćna energija solarnog sustava
$Q_{H,sto,aux,rbl}$	kWh	iskoristiva pomoćna energija solarnog sustava
$Q_{H,sto,rbl,env}$	kWh	iskoristivi gubici topline spremnika
$Q_{H,sto,out}$	kWh	potrebna toplinska energija za grijanje
$Q_{exh}$	kWh	izmijenjena toplina na izmjenjivaču topline
$Q_{W(t0)}$	kWh	toplinska energija za pripremu potrošne tople vode
$Q_{sto,H}$	kWh	akumulirana toplinska energija u spremniku
$Q_{W,dis,out,req}$	kWh	potrebna toplinska energija za pripremu PTV-a
$Q_{sto,ls,vol,i}$	kWh	toplinski gubici za svaki volumen vode u spremniku
$t_{rad}$	h	vrijeme rada u promatranom periodu
$t_{uk}$	h	broj sati u promatranom periodu
$t_{ci}$	h	broj sati u promatranom periodu
$t_{uk,W}$	h	broj sati u promatranom periodu
$t_W$	h	dnevni broj sati rada cirkulacijske pumpe

$t_d$	h	dnevni broj sati rada sustava
$t_{w,gen,nom}$	h	period rada pumpe
$t_m$	h	broj sati pojedinog mjeseca
$t_{aux,m}$	h	mjesečno vrijeme rada pumpe
$t_{bu,aux,m}$	h	mjesečno vrijeme rada pumpe
$t_{aux}$	h	ukupno godišnje vrijeme rada pumpe
$t_{ci,m}$	h	broj sati u promatranom mjesecu
$t_{ci}$	h	promatrani sat
$T^*_h$	Km <sup>2</sup> /W	reducirana temperatura razlika kolektora
$t_{sto,H,aux}$	h	vrijeme rada pumpe solarnog kruga
$t_{sto,H,aux,bu}$	h	vrijeme rada pumpe pomoćnog generatora
$U_{W,i}$	W/mK	koeficijent toplinskih gubitaka pojedine dionice petlje
$U_{W,st}$	W/K	ukupni koeficijent toplinskih gubitaka spremnika
$U_{loop,p}$	W/m <sup>2</sup> K	ukupni koeficijent toplinskih gubitaka svih cjevovoda u kolektorskom krugu
$U_{loop}$	W/m <sup>2</sup> K	koeficijent toplinskih gubitaka kolektorskog kruga
$U_{st}$	W/K	ukupni koeficijent toplinskih gubitaka spremnika
$V_{des}$	m <sup>3</sup> /h	projektirani volumni protok
$V_{lob,ta}$	l	volumen akumulacijskog spremnika kod kotlova s automatskim punjenjem biomase
$V$	m <sup>3</sup> /h	volumni protok u cirkulacijskoj petlji
$V_{W,st}$	l	zapremina spremnika
$V_{nom}$	l	nazivna zapremina sunčanog spremnika
$V_{bu}$	l	zapremina dijela spremnika između vrha spremnika i donjeg dijela dodatnog grijačkog elementa
$V_{sol}$	l	zapremina dijela sunčanog spremnika koji nije grijan dodatnim generatorom topline
$V_{ref}$	l	referentna vrijednost zapremine sunčanog spremnika u odnosu na svjetlu površinu kolektora
$V_{sto,tot}$	l	nazivni volumen sunčanog spremnika
$V_{sto,bu}$	l	volumen spremnika zagrijavan pomoćnim grijačem
$V_{x,sto,sol}$	l	zapremina dijela sunčanog spremnika koji nije grijan dodatnim generatorom - grijanje i PTV
$V_{x,sto,tot}$	l	volumen solarnog spremnika za potrebe grijanja i PTV-a
$V_{x,sto,bu}$	l	volumen spremnika koji se zagrijava dodatnim grijačem za potrebe grijanja i PTV-a
$V_{sto,i}$	l	volumen spremnika vode <i>i</i>
$V_{sto,use,W}$	l	volumen vode koji je potrebno povući iz spremnika za PTV
$V_{sto,vol,4}$	l	volumen spremnika vode 4
$V_{sto,vol,3}$	l	volumen spremnika vode 3
$V_{sto,vol,1}$	l	volumen spremnika vode 1

$V_{sto,vol,i+1}$	l	gornji volumen spremnika vode
$W_{em,aux}$	kWh	ukupna pomoćna energija za podsustav predaje topline
$W_{ctr}$	kWh	pomoćna energija sustava regulacije u promatranom periodu
$W_{others}$	kWh	pomoćna energija za ventilatore i dodatne pumpe u promatranom periodu
$W_{H,dis,aux}$	kWh	pomoćna energija potrebna za (kontinuirani) pogon pumpi u promatranom periodu
$W_{gnr,aux}$	kWh	ukupna pomoćna energija za kotao
$W_{H,gen,aux}$	kWh	ukupna pomoćna energija podsustava proizvodnje
$W_{sto,aux,pu}$	kWh	pomoćna energija potrebna za pogon pumpe
$W_{W,dis,aux}$	kWh	pomoćna energija potrebna za pogon pojedine cirkulacijske pumpe u cirkulacijskoj petlji u promatranom periodu
$W_{col,aux,m}$	kWh	pomoćna energija za pogon pumpi kruga kolektora
$W_{bu,aux,nom,m}$	kWh	pomoćna energija za pogon pumpe primarne cirkulacije između spremnika i dodatnog generatora smanjeni iznos mjesečne potrošnje električne energije za pogon pomoćnih uređaja dodatnog generatora uslijed rada sunčanog sustava
$W_{bu,aux,m}$	kWh	energije za pogon pomoćnih uređaja dodatnog generatora uslijed rada sunčanog sustava
$W_{sol,aux,m}$	kWh	ukupna pomoćna energija sunčanog sustava
$W_{W,dis,aux}$	kWh	pomoćna energija potrebna za (kontinuirani) pogon pumpi u promatranom periodu (priprema PTV-a)
$W_{W,gen,aux}$	kWh	ukupna pomoćna energija podsustava proizvodnje (priprema PTV-a)
$W_{x,sol,aux,m}$	kWh	proračun pomoćne energije za pogon pumpi kruga kolektora - grijanje i PTV
$W_{x,bu,aux,nom,m}$	kWh	pomoćna energija dodatnog generatora - grijanje i PTV
$W_{x,bu,aux,m}$	kWh	smanjeni iznos mjesečne potrošnje električne energije za pogon pomoćnih uređaja dodatnog generatora uslijed rada Sunčanog sustava - grijanje i PTV
$W_{sol,aux,h}$	kWh	potrebna pomoćna energija u promatranom satu
$W_{H,sto,aux}$	kWh	pomoćna energija solarnog sustava
$X$	-	bezdimenzijski faktor
$x$	-	regulacijski koeficijent
$X_x$	-	bezdimenzijski faktor - grijanje i PTV
$Y$	-	bezdimenzijski faktor
$Y_x$	-	bezdimenzijski faktor - grijanje i PTV
$\alpha_{w,dis}$	-	faktor gubitka toplinske energije
$\alpha_{w,dis,2}$	-	faktor gubitka toplinske energije za program korištenja PTV-a No.2 s $Q_{W,2} = 5,845$ kWh/dan
$\beta_{dis}$	-	faktor opterećenja
$\beta_{gnr}$	-	faktor opterećenja kotla

$\beta_D$	-	faktor opterećenja je omjer stvarnog i najvećeg protoka pumpe
$\Delta\theta_{des}$	°C	razlika projektne srednje temperature sustava predaje i temperature prostorije
$\Delta p_{des}$	kPa	projektni pad tlaka
$\Delta p_{FH}$	kPa	dodatni pad tlaka za sustave podnog grijanja
$\Delta p_G$	kPa	pad tlaka generatora topline
$\Delta\theta_{dis,des}$	K	projektna razlika temperatura
$\Delta\theta_{W,gen}$	K	najveća razlika temperatura kroz generator
$\Delta p_{W,fittings}$	kPa	pad tlaka na armaturi
$\Delta p_{W,gen}$	kPa	pad tlaka generatora topline
$\Delta p$	kPa	pad tlaka u cirkulacijskoj petlji
$\Delta T$	K	referentna razlika temperatura
$\Delta\theta_{exh}$	°C	razlika temperature zbog izmjenjivača topline
$\Delta\theta_{sto,H,vol,i}$	°C	teorijska promjena temperature za svaki volumen vode u spremniku
$\Delta\theta_{sto,vol,i}$	°C	promjena temperature zbog toplinskih gubitaka za svaki volumen vode
$\eta_{rvd}$	-	stupanj iskorištenja iskoristivih gubitaka
$\eta_{str}$	-	učinkovitost predaje uslijed vertikalne raspodjele temperatura
$\eta_{ctr}$	-	učinkovitost predaje uslijed djelovanja regulacije temperature prostorije
$\eta_{emb}$	-	učinkovitost predaje uslijed specifičnih gubitaka kroz vanjske površine
$\eta_{Pn}$	%	učinkovitost pri punom opterećenju sa standardnim ispitnim uvjetima uz prosječnu temperaturu vode
$\eta_{Pn,add}$	%	učinkovitost pri punom opterećenju uz prosječnu temperaturu vode
$\eta_{gnr,Pn}$	%	učinkovitost kotla pri punom opterećenju, u ovisnosti o učinku
$\eta_{gnr,Pn,corr}$	%	korrigirana učinkovitost na 100% opterećenja
$\eta_{Pint}$	%	učinkovitost pri djelomičnom opterećenju sa standardnim ispitnim uvjetima uz prosječnu temperaturu vode
$\eta_{Pint,add}$	%	učinkovitost pri punom opterećenju uz prosječnu temperaturu vode
$\eta_{gnr,Pint}$	%	učinkovitost kotla pri djelomičnom opterećenju u ovisnosti o učinku
$\eta_{gnr,Pint,corr}$	%	korrigirana učinkovitost pri djelomičnom opterećenju
$\eta_{loop}$	-	faktor učinkovitosti kolektorskog kruga
$\eta_0$	-	učinkovitost kolektora pri razlici srednje temperature radnog medija i zraka od 0 K
$\eta_{col,h}$	-	učinkovitost kolektora u promatranom satu
$\theta_m$	°C	prosječna temperatura ogrjevnog medija
$\theta_{i,j}$	°C	temperatura okolišnog zraka pojedine dionice

$\theta_{s,des}$	°C	projektna temperatura polaza ogrjevnog medija u sustav
$\theta_{r,des}$	°C	projektna temperatura povrata ogrjevnog medija iz sustava
$\theta_i$	°C	temperatura prostorije
$\theta_{gnr,w,m}$	°C	radna temperatura vode u kotlu
$\theta_{gnr,w,min}$	°C	ograničenje pogonske temperature za svaki kotao
$\theta_{gnr,w,m}$	°C	temperatura ogrjevnog medija u podsustavu razvoda i akumulacijskom spremniku tijekom promatranog perioda
$\theta_{gnr,w,test,Pn}$	°C	srednja temperatura vode u kotlu, u uvjetima ispitivanja pri punom opterećenju
$\theta_{gnr,w,test,Pn,add}$	°C	prosječna temperatura vode
$\theta_{gnr,w,test,Pint}$	°C	srednja temperatura vode u kotlu pri ispitnim uvjetima, u uvjetima ispitivanja pri djelomičnom opterećenju
$\theta_{gnr,w,test,Pint,add}$	°C	prosječna temperatura vode
$\theta_{gnr,w,x}$	°C	radna temperatura vode u kotlu
$\theta_{gnr,test,P0}$	°C	razlika između prosječne temperature kotla i temperature prostorije u kojoj se nalazi kotao
$\theta_{i,bm}$	°C	unutarnja temperatura prostorije u kojoj je kotao smješten
$\theta_{W,dis,avg}$	°C	prosječna temperatura tople vode u petlji
$\theta_{amb,i}$	°C	temperatura okolišnog zraka pojedine dionice
$\theta_{W,st,av}$	°C	prosječna temperatura vode u spremniku
$\theta_{amb,avg}$	°C	prosječna temperatura okolišnog zraka
$\theta_{ref}$	°C	referentna temperatura
$\theta_w$	°C	tražena temperatura PTV-a
$\theta_{cw}$	°C	temperatura svježe hladne vode
$\theta_{e,avg}$	°C	prosječna vanjska temperatura u promatranom periodu
$\theta_{setpoint,W}$	°C	referentna temperatura PTV-a
$\theta_{setpoint,H}$	°C	referentna temperatura sustava grijanja
$\theta_{a,avg}$	°C	prosječna temperatura okolišnog zraka
$\theta_{H,dis,rtm}$	°C	projektna povratna temperatura sustava grijanja
$\theta_{W,bu,set}$	°C	postavna temperatura vode za pomoćni grijač - PTV
$\theta_{H,bu,set}$	°C	postavna temperatura vode za pomoćni grijač - grijanje prostora
$\theta_{W,hw}$	°C	temperatura potrošne tople vode
$\theta_{W,srv}$	°C	temperatura PTV-a nakon miješanja s hladnom vodom
$\theta_{i,hr}$	°C	temperatura zraka (sobna)
$\theta_{e,em}$	°C	prosječna vanjska temperatura u mjesecu
$\theta_{W,cw,em}$	°C	temperatura hladne vode

$\theta_{sto,amb,em}$	°C	prosječna okolišnja temperatura oko opreme
$\theta_{H,ref,m}$	°C	referentna temperatura - grijanje
$\theta_{W,ref,em}$	°C	referentna temperatura - PTV
$\theta_{e,m}$	°C	prosječna vanjska temperatura
$\theta_{sol,amb,h}$	°C	prosječna okolišna temperatura zraka oko opreme
$\theta_{sto,vol1,h}$	°C	temperatura najnižeg volumena spremnika
$\theta_{sol,loop,in,h-1}$	°C	ulazna temperatura vode u kolektor u prethodnom satu
$\theta_{sol,loop,in,h}$	°C	ulazna temperatura vode u kolektor u tekućem satu
$\theta_{col,avg,h}$	°C	prosječna temperatura vode u kolektoru
$\theta_{sto,W,tmp1}$	°C	temperatura u spremniku nakon korištenja PTV-a
$\theta_{sto,H,0}$	°C	početna temperatura spremnika u satu
$\theta_{sto,set}$	°C	zadana maksimalna temperatura spremnika za kotao
$\theta_{amb}$	°C	unutarnja temperatura prostorije u kojoj se nalazi spremnik
$\theta_{sto,W,min}$	°C	minimalno potrebna temperatura vode za PTV
$\theta_{sto,H,min}$	°C	minimalno potrebna temperatura vode za grijanje
$\theta_{sto,H}$	°C	konačna temperatura spremnika za promatrani vremenski korak
$\theta_{sto,set,sol}$	°C	maksimalna temperatura u spremniku - ograničenje solarnog sustava
$\theta_{sto,vol,i}$	°C	temperatura volumena vode i spremnika
$\theta_{W,out,min}$	°C	potrebna temperatura vode za PTV
$\theta_{H,out,min}$	°C	potrebna temperatura vode za grijanje prostora
$\theta_{sto,vol,4}$	°C	temperatura četvrtog volumena vode
$\theta_{sto,vol,3}$	°C	temperatura trećeg volumena vode
$\theta_{sto,vol,i-1}$	°C	temperatura vode donjeg volumena
$\theta_{W,cold}$	°C	temperatura hladne vode
$\theta_{sto,vol,i+1}$	°C	temperatura gornjeg volumena vode
$\rho_w$	kg/m <sup>3</sup>	gustoća vode
$\sum_i Q_{ls,rvd,i}$	kWh	zbroj svih iskorištenih toplinskih gubitaka sustava grijanja i pripreme potrošne tople vode
$\Sigma Q_{sto,ls,vol,i}$	kWh	zbroj svih toplinskih gubitaka spremnika (svakog promatranog volumena spremnika)
$\Phi_{em}$	kW	nazivna snaga instaliranih ogrjevnih tijela
$\phi_{H,gnr,out}$	kW	prosječna snaga podsustava proizvodnje
$\phi_{Pn}$	kW	učinak kotla pri punom (nazivnom) opterećenju
$\phi_{Pn,ltd}$	kW	nazivna snaga kotla s ograničenom maksimalnom vrijednošću
$\phi_{gnr,ls,Pn,corr}$	kW	korrigirani toplinski gubitak na 100% opterećenja
$\phi_{gnr,ls,Pint,corr}$	kW	korrigirani toplinski gubitak pri djelomičnom opterećenju
$\phi_{gnr,ls,P0}$	kW	gubitak topline u stanju pripravnosti pri ispitnoj temperaturnoj razlici u ovisnosti o učinku kotla

---

$\phi_{gnr,ls,P0,corr}$	kW	korigirani toplinski gubitak pri 0% opterećenja
$\phi_{Px}$	kW	stvarna izlazna snaga kotla
$\phi_{gnr,ls,Px}$	kW	toplinski gubitak kotla
$\phi_{el,pu}$	kW	nazivna snaga pumpe
$\Phi_{x,sto,in}$	kW	potencijalni toplinski dobitak
$\Phi_{sto,pmp}$	kW	snaga pumpe solarnog kruga
$\Phi_{sto,pmp,bu}$	kW	snaga pumpe pomoćnog generatora
$\psi_j$	W/mK	koeficijent toplinskih gubitaka pojedine dionice cjevovoda



## **SAŽETAK**

U ovome radu napravljen je računalni program za simulaciju godišnje potrošnje isporučene i primarne energije za grijanje i pripremu potrošne tople vode. Proračun se provodio za dvije razine potrebne godišnje toplinske energije za grijanje ( $70 \text{ kWh/m}^2$  i  $10 \text{ kWh/m}^2$ ). Proračuni su provedeni za klimatska područja Zagreba i Splita. Za proračune (mjesečni i satni) su korišteni javno dostupni algoritmi i nove norme iz skupine EN 15316:2016. Proračuni su napravljeni korištenjem programa MS Excel.

Na početku rada prikazan je pregled svih korištenih normi odnosno jednačbe koje su korištene za proračune pojedinih podsustava. Nakon toga prikazani su rezultati po pojedinim podsustavima i njihova usporedba. Na kraju su prikazani ukupni rezultati (ukupno isporučena i primarna energija zgrade) te njihova usporedba.

Ključne riječi: isporučena energija, primarna energija

## **SUMMARY**

In this work, a computer program for simulating the annual consumption of delivered and primary energy for heating and preparation of domestic hot water has been made. Calculations were made on two levels of required annual heat energy for heating (70 kWh/m<sup>2</sup> and 10 kWh/m<sup>2</sup>). The calculations were made for the climate zones of Zagreb and Split. For calculations (monthly and hourly), publicly available algorithms and new standards from EN 15316:2016 were used. The calculations are made using MS Excel.

At the beginning of the work, an overview of all the standards used to calculate individual subsystems is presented. Subsequently, the results are presented by individual subsystems and their comparisons. Finally, the total results (overall delivered and primary energy of the building) are presented and their comparison.

Key words: delivered energy, primary energy

## 1. UVOD

Energetska učinkovitost je suma isplaniranih i provedenih mjera s ciljem korištenja minimalno moguće količine energije tako da razina udobnosti i stopa proizvodnje ostanu nepromijenjene. Pojednostavljeno, energetska učinkovitost znači uporabu manje količine energije odnosno energenata za obavljanje iste funkcije (npr. grijanje ili hlađenje prostora, rasvjeta, pogon vozila, proizvodnja raznih proizvoda). Bitno je istaknuti da se energetska učinkovitost ne smije promatrati kao štednja energije budući da štednja uvijek podrazumijeva određena odricanja, dok učinkovita uporaba energije ne narušava uvjete življenja i rada. Poboljšanje učinkovitosti potrošnje energije ne podrazumijeva samo primjenu tehničkih rješenja, nego je nužno i postojanje educiranih ljudi koji će se znati služiti tehnologijom i tehničkom opremom na najučinkovitiji mogući način. Energetska učinkovitost je stoga prvenstveno stvar svijesti ljudi i njihovoj volji za promjenom ustaljenih navika prema energetski učinkovitijim rješenjima. [1]

Za uspješnu implementaciju mjera energetske učinkovitosti u zgradarstvu potrebno je uspostaviti mehanizme koji će trajno smanjiti energetske potrebe prilikom projektiranja, izgradnje i korištenja novih zgrada, kao i pri rekonstrukciji postojećih zgrada te ukloniti barijere uvođenju mjera energetske učinkovitosti u postojeći i novi stambeni ili nestambeni fond zgrada. [1]

Uspješna implementacija mjera energetske učinkovitosti u zgradarstvu temelji se na [1]:

- promjeni zakonodavnog okruženja i usklađivanju s europskom regulativom na području toplinske zaštite i uštede energije te primjene obnovljivih izvora energije,
- povećanju toplinske zaštite postojećih i novih zgrada,
- povećanju učinkovitosti sustava rasvjete i energetske trošila,
- energetske kontroli i upravljanju energijom u postojećim i novim zgradama,
- propisivanju ciljnih vrijednosti ukupne godišnje potrošnje zgrade po  $m^2$  ili  $m^3$ ,
- uvođenju energetskog certifikata kao sustava označavanja zgrada prema godišnjoj potrošnji energije,
- stalnoj edukaciji i promociji mjera povećanja energetske učinkovitosti.

## 2. PREGLED KORIŠTENIH NORMI

### 2.1. Javno dostupni algoritmi prema važećim normama skupine HRN EN 15316

Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama temelji se na normama na koje upućuje Pravilnik o energetsom certificiranju zgrada (Narodne novine br. 36/10) te obuhvaća proračune konvencionalnih sustava grijanja prostora i pripreme PTV-a, sustave s dizalicama topline i sunčane toplovodne sustave. Algoritam započinje s izračunom toplinske energije na izlazu iz sustava predaje toplinske energije u prostor te završava s izračunom toplinske energije na ulazu u sustav proizvodnje toplinske energije. Na temelju toga se računaju isporučena i primarna energija. Proračun je potrebno provesti iterativnim putem budući da ulazne veličine u proračunu ovise o kasnije izračunatim veličinama (toplinskim gubicima). [2]

U nastavku je prikazan tijek proračuna (korištene jednačbe) kod svakog korištenog algoritma (detaljnije u [2]).

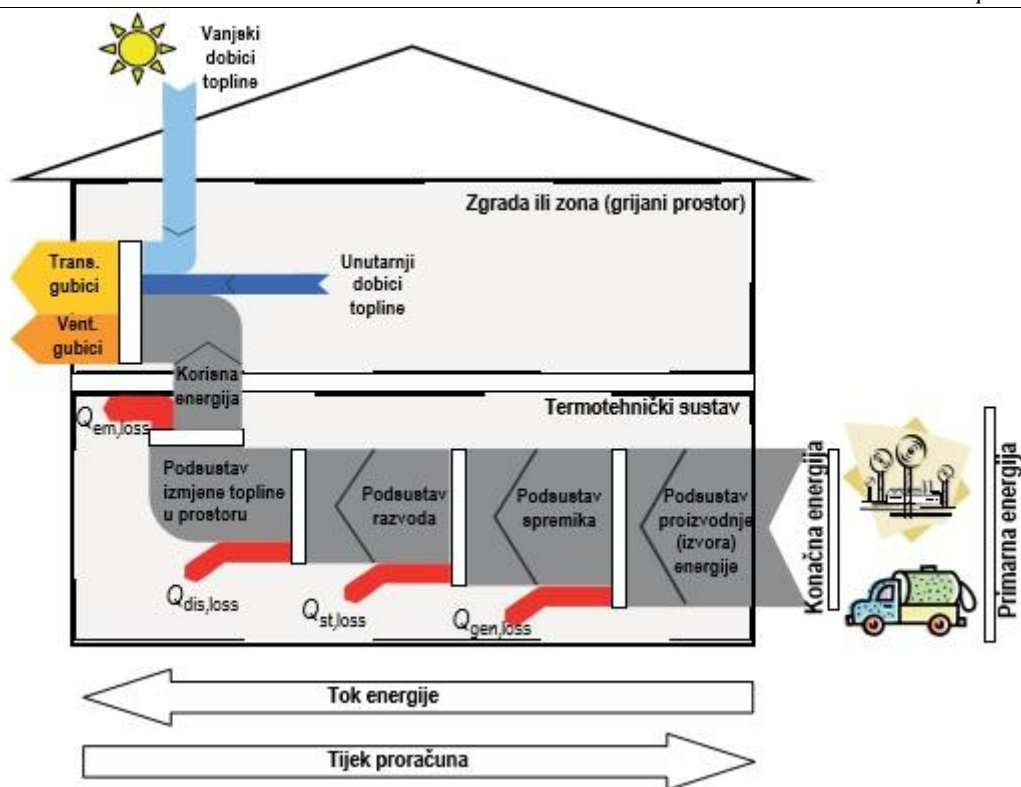
#### 2.1.1. *HRN EN 15316-1:2008 Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - 1. Dio: Općenito*

Metoda proračuna temelji se na određivanju toplinskih gubitaka i energije za pogon pomoćnih uređaja u slijedećim podsustavima na koje se dijeli promatrani termotehnički sustav [2]:

- podsustav predaje toplinske energije u prostor (ogrjevnja tijela), uključujući regulaciju
- podsustav razvoda ogrjevnog medija i potrošne tople vode, uključujući regulaciju
- podsustav proizvodnje toplinske energije, uključujući spremnik i cjevovode primarne cirkulacije do generatora topline (kotla) te regulaciju

Proračun se provodi sa svrhom određivanja energetskih tokova u zgradi kako bi se izračunala isporučena i primarna energije zgrade za zadanu korisnu toplinsku energiju koju je potrebno isporučiti zgradi. Proračun je moguće provesti na godišnjoj, sezonskoj, mjesečnoj, dnevnoj ili satnoj razini, osim u slučaju sunčanih sustava i dizalica topline kada se proračun može provesti jedino na razini mjeseca i sati tijekom godine. [2]

Na slici 1. prikazani su osnovni tokovi energije i smjer proračuna potrebne energije za grijanje zgrade.



Slika 1. Osnovni tokovi energije i smjer proračuna potrebne energije za grijanje zgrade [3]

Ulazna veličina u proračun je toplinska energija  $Q_{em,out}$  koju je podsustavom predaje (ogrjevnim tijelima) potrebno predati u grijani prostor, a računa se iterativno prema:

$$Q_{em,out} = Q_{H,nd} - \sum_i Q_{ls,rvd,i} \quad [\text{kWh}] \quad (1)$$

pri čemu iskorišteni gubitak  $Q_{ls,rvd,i}$  predstavlja stvarno iskorišteni dio pojedinog iskoristivog gubitka  $Q_{rbl,i}$ , odnosno

$$Q_{ls,rvd,i} = \eta_{rvd} \cdot Q_{rbl,i} \quad [\text{kWh}] \quad (2)$$

Postupak proračuna započinje tako da se na početku uzme da je  $Q_{em,out} = Q_{H,nd}$ , a nakon što se na temelju toga izračuna  $\sum_i Q_{rbl,i}$ , u narednim koracima se  $Q_{em,out}$  računa prema jednadžbi (1), sve dok razlika vrijednosti  $Q_{em,out}$  iz posljednja dva koraka ne bude  $< 1\%$ .

Općenito, toplinska energija na ulazu u pojedini podsustav računa se kao:

$$Q_{in} = Q_{out} - \sum_i Q_{aux,rvd,i} + Q_{ls} \quad [\text{kWh}] \quad (3)$$

### 2.1.2. HRN EN 15316-2-1:2008 Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 2-1: Sustavi za grijanje prostora zračenjem topline

Toplinska energija koju je potrebno dovesti podsustavu predaje toplinske energije u grijani prostor računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{em,in} = Q_{em,out} - Q_{em,aux,rvd} + Q_{em,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (4)$$

Proračun  $Q_{em,ls}$  - Metoda s korištenjem učinkovitosti:

U pojedinim slučajevima srednja vrijednost učinkovitosti  $\eta_{str}$  uzima u utjecaj nadtemperature medija ogrjevnog tijela ( $\eta_{str1}$ ) i toplinske gubitke kroz vanjske površine ( $\eta_{str2}$ ) te se računa prema sljedećem izrazu:

$$\eta_{str} = (\eta_{str1} + \eta_{str2}) / 2 \quad [-] \quad (5)$$

Na sličan način, u pojedinim slučajevima srednja vrijednost učinkovitosti  $\eta_{emb}$  uzima u obzir karakteristike ugrađenog ogrjevnog tijela ( $\eta_{emb1}$ ) i toplinske gubitke kroz prilježuću površinu ( $\eta_{emb2}$ ) te se računa prema sljedećem izrazu:

$$\eta_{emb} = (\eta_{emb1} + \eta_{emb2}) / 2 \quad [-] \quad (6)$$

Ukupna učinkovitost  $\eta_{em}$  se računa prema sljedećem izrazu:

$$\eta_{em} = \frac{1}{4 - (\eta_{str} + \eta_{ctr} + \eta_{emb})} \quad [-] \quad (7)$$

Toplinski gubici podsustava predaje  $Q_{em,ls}$  se računaju prema sljedećem izrazu:

$$Q_{em,ls} = \left( \frac{f_{hydr} \cdot f_{im} \cdot f_{rad}}{\eta_{em}} - 1 \right) \cdot Q_{em,out} \quad [\text{kWh}] \quad (8)$$

Proračun pomoćne energije  $W_{em,aux}$ :

$$P_{pmp} = 50 \cdot [\dot{Q}_{LH}]^{0,08} \quad [\text{W}] \quad (9)$$

Vrijeme rada u promatranom periodu račna se prema sljedećem izrazu:

$$t_{rad} = \frac{Q_{em,out}}{\Phi_{em}} \quad [\text{h}] \quad (10)$$

Pomoćna energija sustava regulacije u promatranom periodu računa se prema sljedećem izrazu:

$$W_{ctr} = \frac{P_{ctr} \cdot d \cdot 24}{1000} \quad [\text{kWh}] \quad (11)$$

Pomoćna energija za ventilatore i dodatne pumpe u promatranom periodu računa se prema sljedećem izrazu:

$$W_{others} = \frac{(P_{fan} \cdot n_{fan} + P_{pmp} \cdot n_{pmp}) \cdot t_{rad}}{1000} \quad [\text{kWh}] \quad (12)$$

Ukupna pomoćna energija za podsustav predaje u promatranom periodu računa se prema sljedećem izrazu:

$$W_{em,aux} = W_{ctr} + W_{others} \quad [\text{kWh}] \quad (13)$$

Proračun vraćene pomoćne energije radnom mediju u promatranom periodu za podsustav predaje računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{em,aux,rvd} = 0.75 \cdot W_{others} \quad [\text{kWh}] \quad (14)$$

Proračun iskoristive pomoćne energije koja se vraća u prostor u promatranom periodu za podsustav predaje računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{em,aux,rbl} = 0.25 \cdot W_{others} + W_{ctr} \quad [\text{kWh}] \quad (15)$$

Proračun iskoristivih toplinskih gubitaka koji se vraćaju u prostor u promatranom periodu za podsustav predaje računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{em,rbl} = 0 \quad [\text{kWh}] \quad (16)$$

Toplinska energija koju je potrebno isporučiti podsustavu predaje računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{em,in} = Q_{H,dis,out} = Q_{em,out} - Q_{em,aux,rvd} + Q_{em,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (17)$$

### **2.1.3. HRN EN 15316-2-3:2008 Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 2-3: Razvodi sustava grijanja prostora**

Proračun toplinskih gubitaka:

Toplinski gubici svih dionica cjevovoda u promatranom periodu (iz detaljne metode) računaju se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{H,dis,ls} = \sum_j \psi_j \cdot (\theta_m - \theta_{i,j}) \cdot L_j \cdot t_{uk} / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad (18)$$

Faktor opterećenja  $\beta_{dis}$  računa se prema sljedećem izrazu:

$$\beta_{dis} = \frac{Q_{H,dis,out}}{\Phi_{em} \cdot t_{uk}} \quad [-] \quad (19)$$

Proračun prosječne temperature ogrjevnog medija:

Razlika projektne srednje temperature sustava predaje i temperature prostorije računa se prema sljedećem izrazu:

$$\Delta\theta_{des} = \frac{\theta_{s,des} + \theta_{r,des}}{2} - \theta_i \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (20)$$

Prosječna temperatura vode u sustavu - kod regulacije prema unutrašnjoj temperaturi uz pomoć termostatskih ventila, sa sobnim termostatom računa se prema sljedećem izrazu:

$$\theta_m = \Delta\theta_{des} \cdot \beta_{dis}^{\frac{1}{n}} + \theta_i \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (21)$$

Iskoristivi toplinski gubici podsustava razvoda koji se vraćaju u grijani prostor računaju se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{H,dis,rbl} = \sum_j k_1 \cdot k_2 \cdot \psi_j \cdot (\theta_m - \theta_{i,j}) \cdot L_j \cdot t_{uk} / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad (22)$$

Proračun pomoćne energije:

Pomoćna energija potrebna za (kontinuirani) pogon pumpi u promatranom periodu računa se prema sljedećem izrazu:

$$W_{H,dis,aux} = \frac{P_{hydr,des}}{1000} \cdot \beta_{dis} \cdot t_{uk} \cdot f_{NET} \cdot f_{HB} \cdot f_{G,PM} \cdot e_{dis} \quad [\text{kWh}] \quad (23)$$

Najveća duljina kruga grijanja u promatranj zoni (aproksimacija) računa se prema sljedećem izrazu:

$$L_{max} = 2 \cdot \left( L_L + \frac{L_w}{2} + N_{lev} \cdot h_{lev} + l_c \right) \quad [\text{m}] \quad (24)$$



Projektni pad tlaka (aproksimacija) - vrijedi za primarne i sekundarne krugove te se računa prema sljedećem izrazu:

$$\Delta p_{des} = 0,13 \cdot L_{max} + 2 + \Delta p_{FH} + \Delta p_G \quad [\text{kPa}] \quad (25)$$

Projektni volumni protok računa se prema sljedećem izrazu:

$$\dot{V}_{des} = \frac{\Phi_{em,out}}{1,15 \cdot \Delta \theta_{dis,des}} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (26)$$

Projektna razlika temperatura računa se prema sljedećem izrazu:

$$\Delta \theta_{dis,des} = \theta_{s,des} - \theta_{r,des} \quad [\text{K}] \quad (27)$$

Projektna hidraulička snaga računa se prema sljedećem izrazu:

$$P_{hydr,des} = 0,2778 \cdot \Delta p_{des} \cdot \dot{V}_{des} \quad [\text{W}] \quad (28)$$

Faktor učinkovitosti računa se prema sljedećem izrazu:

$$f_e = \frac{P_{el,pmp}}{P_{hydr,des}} \quad [-] \quad (29)$$

ili:

$$f_e = \left[ 1,25 + \left( \frac{200}{P_{hydr,des}} \right)^{0,5} \right] \cdot 1,5 \cdot b \quad [-] \quad (30)$$

Faktor energetskog utroška računa se prema sljedećem izrazu:

$$e_{dis} = f_e \cdot (C_{P1} + C_{P2} / \beta_{dis}) \quad [-] \quad (31)$$

Proračun vraćene pomoćne energije radnom mediju u promatranom periodu za podsustav razvoda računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{H,dis,aux,rvd} = 0,75 \cdot W_{H,dis,aux} \quad [\text{kWh}] \quad (32)$$

Proračun iskoristive pomoćne energije koja se vraća u prostor u promatranom periodu za podsustav razvoda računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{H,dis,aux,rbl} = k \cdot 0,25 \cdot W_{H,dis,aux} \quad [\text{kWh}] \quad (33)$$

Toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda grijanja računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{H,dis,in} = Q_{H,gen,out} = Q_{H,dis,out} - Q_{H,dis,aux,rvd} + Q_{H,dis,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (34)$$

#### 2.1.4. HRN EN 15316-4-7:2008 Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 4-7: Sustavi za proizvodnju topline izgaranjem biomase

Toplinska energija koju je potrebno isporučiti podsustavu (–ima) razvoda:

$$Q_{H,gnr,out} = Q_{H,dis,in} \quad [\text{kWh}] \quad (35)$$

U slučaju kada kotao ima dodatni akumulacijski spremnik onda se uzima:

$$Q_{H,gnr,out} = Q_{H,dis,in} + Q_{sto,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (36)$$

Prosječna snaga podsustava proizvodnje  $\phi_{H,gnr,out}$  računa se prema sljedećem izrazu:

$$\phi_{H,gnr,out} = \frac{Q_{H,gnr,out}}{t_{ci}} \quad [\text{kW}] \quad (37)$$

Proračun radne temperature kotla na biomasu:

Radna temperatura vode u kotlu  $\theta_{gnr,w,m}$  računa se prema sljedećem izrazu:

$$\theta_{gnr,w,x} = \max(\theta_{gnr,w,min}, \theta_{gnr,w,m}) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (38)$$

Opterećenje pojedinog kotla:

Faktor opterećenja  $\beta_{gnr}$  računa se prema sljedećem izrazu:

$$\beta_{gnr} = \frac{\phi_{H,gnr,out}}{\phi_{Pn}} \quad [-] \quad (39)$$

Kotlovi s dvostrukom namjenom (grijanje prostora i priprema PTV-a): tijekom sezone grijanja kotao može osim za isporuku potrebne energije za zagrijavanje prostora, služiti i za zagrijavanje PTV-a (dvostruka namjena). Kod kotlova na biomasu nije potrebno provoditi proračun radne temperature za pojedini slučaj. Minimalne radne temperature kotlova na biomasu, uvijek su više od potrebne radne temperature sustava za pripremu potrošne tople vode.

Proračun korigirane učinkovitosti kotla na 100% opterećenja:

Faktor korekcije  $f_{corr,Pn}$  može se izračunati korištenjem podataka o učinkovitosti, dobivenih dodatnim ispitivanjima provedenim pri nižoj prosječnoj temperaturi vode, primjenom sljedećeg izraza:

$$f_{corr,Pn} = \frac{\eta_{Pn} - \eta_{Pn,add}}{\theta_{gnr,w,test,Pn,add} - \theta_{gnr,w,test,Pn}} \quad [\%/^{\circ}\text{C}] \quad (40)$$

Učinkovitost kotla pri punom opterećenju, u ovisnosti o učinku, računa se prema sljedećem izrazu:

$$\eta_{gnr,Pn} = c_1 + c_2 \cdot \log\left(\frac{\phi_{Pn,ltd}}{1kW}\right) \quad [\%] \quad (41)$$

Korigirana učinkovitost na 100% opterećenja računa se prema sljedećem izrazu:

$$\eta_{gnr,Pn,corr} = \eta_{gnr,Pn} + f_{corr,Pn} \cdot (\theta_{gnr,w,test,Pn} - \theta_{gnr,w,x}) \quad [\%] \quad (42)$$

Korigirani toplinski gubitak na 100% opterećenja računa se prema sljedećem izrazu:

$$\phi_{gnr,ls,Pn,corr} = \frac{(100 - \eta_{gnr,Pn,corr})}{\eta_{gnr,Pn,corr}} \cdot \phi_{Pn} \quad [\text{kW}] \quad (43)$$

Proračun korigirane učinkovitosti kotla na djelomičnom opterećenju:

Faktor korekcije  $f_{corr,Pint}$  može se izračunati korištenjem podataka o učinkovitosti, dobivenih dodatnim ispitivanjima provedenim pri višoj prosječnoj temperaturi vode, primjenom sljedećeg izraza:

$$f_{corr,Pint} = \frac{\eta_{Pint} - \eta_{Pint,add}}{\theta_{gnr,w,test,Pint,add} - \theta_{gnr,w,test,Pint}} \quad [\%/^{\circ}\text{C}] \quad (44)$$

Učinkovitost kotla pri djelomičnom opterećenju, u ovisnosti o učinku, dana je sljedećim izrazom:

$$\eta_{gnr,Pint} = c_3 + c_4 \cdot \log\left(\frac{\phi_{Pn,ltd}}{1kW}\right) \quad [\%] \quad (45)$$

Korigirana učinkovitost pri djelomičnom opterećenju računa se prema sljedećem izrazu:

$$\eta_{gnr,Pint,corr} = \eta_{gnr,Pint} + f_{corr,Pint} \cdot (\theta_{gnr,w,test,Pint} - \theta_{gnr,w,x}) \quad [\%] \quad (46)$$

Korigirani toplinski gubitak pri djelomičnom opterećenju računa se prema sljedećem izrazu:

$$\phi_{gnr,ls,Pint,corr} = \frac{(100 - \eta_{gnr,Pint,corr})}{\eta_{gnr,Pint,corr}} \cdot \phi_{Pint} \quad [\text{kW}] \quad (47)$$

Proračun toplinskih gubitaka kotla na 0% opterećenja (stanje pripravnosti):

Gubitak topline u stanju pripravnosti  $\phi_{gnr,ls,P0}$  pri ispitnoj temperaturnoj razlici  $\Delta\theta_{gnr,test,P0}$ , u ovisnosti o učinku kotla, računa se prema sljedećem izrazu:

$$\phi_{gnr,ls,P0} = \phi_{Pn} \cdot \frac{c_5}{100} \cdot \left( \frac{\phi_{Pn}}{1\text{kW}} \right)^{c_6} \quad [\text{kW}] \quad (48)$$

Korigirani toplinski gubitak pri 0% opterećenja  $\phi_{gnr,ls,P0,corr}$  računa se prema sljedećem izrazu:

$$\phi_{gnr,ls,P0,corr} = \phi_{gnr,ls,P0} \cdot \left( \frac{\theta_{gnr,w,x} - \theta_{i,bm}}{\Delta\theta_{gnr,test,P0}} \right)^{1,25} \quad [\text{kW}] \quad (49)$$

Toplinski gubitak kotla pri specifičnom faktoru opterećenja  $\beta_{gnr}$  i izlaznoj snazi  $\phi_{Px}$ :

Stvarna izlazna snaga  $\phi_{Px}$  kotla računa se prema sljedećem izrazu:

$$\phi_{Px} = \phi_{Pn} \cdot \beta_{gnr} \quad [\text{kW}] \quad (50)$$

Ukupni toplinski gubitak kotla  $Q_{gnr,ls}$  tijekom ukupnog vremena rada  $t_{ci}$  kotla računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{gnr,ls} = \phi_{gnr,ls,Px} \cdot t_{ci} \quad [\text{kWh}] \quad (51)$$

Ukupni toplinski gubici podsustava proizvodnje su zbroj toplinskih gubitaka kotlova:

$$Q_{H,gen,ls} = \sum Q_{gnr,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (52)$$

Ako nisu dostupni podaci proizvođača, potrebna pomoćna energija svakog kotla  $P_{aux,Px}$  kod sva tri stanja opterećenja računa se prema sljedećem izrazu:

$$P_{aux,P(n,int,0)} = c_7 + c_8 \cdot \left( \frac{\phi_{Pn}}{1\text{kW}} \right)^n \quad [\text{W}] \quad (53)$$

Ukupna pomoćna energija za kotao računa se prema sljedećem izrazu:

$$W_{gnr,aux} = [P_{aux,Px} \cdot t_{ci} \cdot \beta_{gnr} + P_{aux,off} \cdot t_{ci} \cdot (1 - \beta_{gnr})] / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad (54)$$

Ukupna pomoćna energija podustava proizvodnje:

$$W_{H,gen,aux} = \sum W_{gnr,aux} \quad [\text{kWh}] \quad (55)$$

Proračun vraćene i iskoristive pomoćne energije:

Vraćena pomoćna energija, predana ogrjevnom mediju  $Q_{gnr,aux,rvd}$  računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{gnr,aux,rvd} = W_{gnr,aux} \cdot f_{rvd,aux} \quad [\text{kWh}] \quad (56)$$

Iskoristiva pomoćna energija koja se predaje grijanom prostoru računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{gnr,aux,rbl} = W_{gnr,aux} \cdot (1 - b_{bpm}) \cdot f_{rbl,aux} \quad [\text{kWh}] \quad (57)$$

Iskoristivi toplinski gubici kroz ovojnicu kotla  $Q_{gnr,ls,env,rbl}$  računaju se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{gnr,ls,env,rbl} = \phi_{gnr,ls,P0,corr} \cdot (1 - b_{bpm}) \cdot f_{gnr,env} \cdot t_{ci} \quad [\text{kWh}] \quad (58)$$

Ukupna vraćena i iskoristiva toplinska energija:

Proračun ukupne vraćene pomoćne energije radnom mediju u promatranom periodu za podsustav proizvodnje:

$$Q_{H,gen,aux,rvd} = \sum Q_{gnr,aux,rvd} \quad [\text{kWh}] \quad (59)$$

Proračun ukupne iskoristive pomoćne energije koja se vraća u prostor u promatranom periodu za podsustav proizvodnje:

$$Q_{H,gen,aux,rbl} = \sum Q_{gnr,aux,rbl} \quad [\text{kWh}] \quad (60)$$

Proračun ukupnih iskoristivih toplinskih gubitaka kroz ovojnice kotlova (u kotlovnici) koji se vraćaju u prostor u promatranom periodu za podsustav proizvodnje:

$$Q_{H,gen,ls,env,rbl} = \sum Q_{gnr,ls,env,rbl} \quad [\text{kWh}] \quad (61)$$

Toplinska energija koju je potrebno gorivom isporučiti podsustavu proizvodnje:

$$Q_{H,gen,in} = Q_{H,gnr,out} - Q_{H,gen,aux,rvd} + Q_{H,gen,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (62)$$

Akumulacijski sustav za kotlove s izgaranjem biomase:

Ako je omjer nominalne snage kotla  $\phi_{gnr,nom}$  i projektnog toplinskog opterećenja  $P_{bg,nom}$  (prema HRN EN 12831) veći od 1.5, preporuča se, sukladno s normom EN 303-5, ugradnja akumulacijskog spremnika u sustav proizvodnje.

Akumulacijski sustav sastoji se od spremnika, cijevnog razvoda s pripadajućom pumpom te opreme za regulaciju.

Volumen akumulacijskog spremnika  $V_{acc,ta}$  kod kotlova s automatskim punjenjem biomase:

$$V_{lob,ta} = 50 \cdot P_{bg,nom} \quad (63)$$

Ukupni toplinski gubici akumulacijskog sustava:

Toplinski gubici akumulacijskog sustava računaju se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{sto,ls} = Q_{sto,ls,ta} + Q_{sto,ls,pip} \quad [\text{kW}] \quad (64)$$

Proračun iskoristivih toplinskih gubitaka koji se vraćaju u prostor u promatranom periodu za podsustav proizvodnje:

$$Q_{sto,ls,rbl} = k \cdot Q_{sto,ls,ta} + k \cdot Q_{sto,ls,pip} \quad [\text{kW}] \quad (65)$$

Pomoćna energija potrebna za pogon pumpe računa se prema sljedećem izrazu:

$$W_{sto,aux,pu} = 0,12 \cdot \phi_{el,pu} \cdot t_{ci} \cdot \beta_{gnr} \quad [\text{kWh}] \quad (66)$$

Proračun vraćene pomoćne energije pumpe primarne cirkulacije radnom mediju:

$$Q_{sto,aux,pu,rvd} = W_{sto,aux,pu} \cdot 0,75 \quad [\text{kWh}] \quad (67)$$

Proračun iskoristivih toplinskih gubitaka pumpe primarne cirkulacije koji se vraćaju u prostor u promatranom periodu:

$$Q_{sto,aux,pu,rbl} = k \cdot W_{sto,aux,pu} \cdot 0,25 \quad [\text{kWh}] \quad (68)$$

Toplinska energija koju je potrebno gorivom isporučiti podsustavu proizvodnje:

$$Q_{H,gen,in} = Q_{H,gnr,out} - Q_{H,gen,aux,rvd} + Q_{H,gen,ls} - Q_{sto,aux,pu,rvd} \quad [\text{kWh}] \quad (69)$$

**2.1.5. HRN EN 15316-3-1:2008 Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 3-1: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, pokazatelji potreba prema izljevnome mjestu**

Potrebna toplinska energija za pripremu potrošne tople vode (PTV):

Stambene zgrade:

$$Q_W = \frac{Q_{W,A,a}}{365} \cdot A_k \cdot d \quad [\text{kWh}] \quad (70)$$

Izraz (70) u konačnici nije korišten već je potrebna toplinska energija za pripremu potrošne tople vode izračunata prema potrošnji od 50 lit/dan po osobi uz temperaturu PTV-a od 45°C te temperature hladne vode od 10°C.

### 2.1.6. HRN EN 15316-3-2:2008 Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 3-2: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, razvod

Proračun toplinskih gubitaka (metoda na temelju duljine cjevovoda i profila korištenja):

Toplinski gubici sustava razvoda u promatranom periodu (za dijelove koji nisu dio cirkulacijske petlje):

$$Q_{W,dis,ls,nc} = \alpha_{W,dis} \cdot Q_W \quad [\text{kWh}] \quad (72)$$

Faktor gubitka toplinske energije za program korištenja PTV-a No.2 s  $Q_{W,2} = 5,845$  kWh/dan (prema HRN EN 15316-3-1):

$$\alpha_{W,dis,2} = 0,1 + 0,005 \cdot \left( \sum_i L_{W,dis,hs,i} - 6 \right) + 0,008 \cdot \sum_i L_{W,dis,nhs,i} \quad [-] \quad (73)$$

$Q_W$  sveden na dnevne vrijednosti:

$$Q_{W,day} = \frac{Q_W}{d} \quad [\text{kWh/dan}] \quad (74)$$

Faktor gubitka toplinske energije za određeni  $Q_W$ :

za  $Q_{W,day} < Q_{W,2}$

$$\alpha_{W,dis} = \alpha_{W,dis,2} - 0,01 \cdot \left[ \frac{(Q_{W,2} - Q_{W,day})}{(Q_{W,2} - Q_{W,1})} \right] \quad [-] \quad (75)$$

za  $Q_{W,2} < Q_{W,day}$

$$\alpha_{W,dis} = \alpha_{W,dis,2} - 0,05 \cdot \left[ \frac{(Q_{W,day} - Q_{W,2})}{(Q_{W,3} - Q_{W,2})} \right] \quad [-] \quad (76)$$

gdje je

$$Q_{W,1} = 2,100 \text{ kWh/dan}$$

$$Q_{W,2} = 5,845 \text{ kWh/dan}$$

$$Q_{W,3} = 11,655 \text{ kWh/dan}$$

Ako je  $\alpha_{W,dis} > 0,15$  uzeti  $\alpha_{W,dis} = 0,15$ .

Proračun gubitaka cirkulacijske petlje:

Fizikalna metoda:

Toplinski gubici cirkulacijske petlje koja se sastoji od više dionica:

$$Q_{W,dis,ls,col} = \sum_i Q_{W,dis,ls,col,i} = \sum_i \frac{1}{1000} \cdot U_{W,i} \cdot L_{W,i} \cdot (\theta_{W,dis,avg} - \theta_{amb,i}) \cdot t_{uk,W} \text{ [kWh]} \quad (77)$$

Dnevni period rada cirkulacijske pumpe računa se prema sljedećem izrazu:

$$t_w = 10 + \frac{1}{0,07 + \frac{50}{0,32 \cdot L_L \cdot L_w \cdot h_{lev} \cdot N_{lev}}} \quad \text{[h/dan]} \quad (78)$$

Pojednostavljena metoda:

a) Toplinski gubici izolirane petlje:

$$Q_{W,dis,ls,col} = (14 \text{ W/m}) \cdot L_w \cdot t_{uk,W} / 1000 \quad \text{[kWh]} \quad (79)$$

b) Toplinski gubici neizolirane petlje:

$$Q_{W,dis,ls,col} = (40 \text{ W/m}) \cdot L_w \cdot t_{uk,W} / 1000 \quad \text{[kWh]} \quad (80)$$

Proračun pomoćne energije:

Pomoćna energija potrebna za pogon pojedine cirkulacijske pumpe u cirkulacijskoj petlji u promatranom periodu se računa prema sljedećem izrazu:

$$W_{W,dis,aux} = \frac{P_{hydr}}{1000} \cdot t_{uk,W} \cdot e_{pmp,eff} \quad \text{[kWh]} \quad (81)$$

Volumni protok u cirkulacijskoj petlji:

$$\dot{V} = \frac{Q_{W,dis,ls,col}}{1,15 \cdot \Delta\theta_{W,gen} \cdot t_{uk,W}} \quad \text{[m}^3\text{/h]} \quad (82)$$

Najveća duljina cjevovoda u cirkulacijskoj petlji (aproksimacija):

$$L_{W,dis,col,max} = 2 \cdot (L_L + 2,5 + N_{lev} \cdot h_{lev}) \quad \text{[m]} \quad (83)$$

Pad tlaka u cirkulacijskoj petlji (aproksimacija):

$$\Delta p = 0,1 \cdot L_{W,dis,col,max} + \sum \Delta p_{W, fittings} + \Delta p_{W, gen} \quad \text{[kPa]} \quad (84)$$

Projektna hidraulička snaga računa se prema sljedećem izrazu:

$$P_{hydr} = 0,2778 \cdot \Delta p \cdot \dot{V} \quad \text{[W]} \quad (85)$$



Faktor učinkovitosti računa se prema sljedećem izrazu:

$$f_{eff} = \frac{P_{pmp}}{P_{hydr}} \quad [-] \quad (86)$$

ili

$$f_{eff} = \frac{1,5 \cdot b}{0,015 \cdot (P_{hydr} / 1000)^{0,74} + 0,04} \quad [-] \quad (87)$$

Faktor energetskog utroška računa se prema sljedećem izrazu:

$$e_{pmp,eff} = f_{eff} \cdot C_{pmp} \cdot \beta_D^{-0,94} \quad [-] \quad (88)$$

Proračun vraćene pomoćne energije radnom mediju u promatranom periodu za podsustav razvoda (u cirkulacijskoj petlji):

$$Q_{W,dis,aux,rvd} = 0,75 \cdot W_{W,dis,aux} \quad [\text{kWh}] \quad (89)$$

Proračun iskoristive pomoćne energije koja se vraća u prostor u promatranom periodu za podsustav razvoda:

$$Q_{W,dis,aux,rbl} = k \cdot 0,25 \cdot W_{W,dis,aux} \cdot \frac{t_d}{t_W} \cdot \frac{L_{H,m}}{d_{mj}} \quad [\text{kWh}] \quad (90)$$

Ukupni toplinski gubici podsustava razvoda:

$$Q_{W,dis,ls} = Q_{W,dis,ls,nc} + Q_{W,dis,ls,col} \quad [\text{kWh}] \quad (91)$$

Proračun iskoristivih toplinskih gubitaka koji se vraćaju u prostor u promatranom periodu za podsustav razvoda:

$$Q_{W,dis,rbl} = Q_{W,dis,ls,nc} \frac{L_{W,dis,hs,avg}}{L_{W,dis,hs,avg} + L_{W,dis,nhs,avg}} \cdot t_d / 24 \cdot L_{H,m} / d_{mj} \quad [\text{kWh}] \quad (92)$$

$$+ \sum_j Q_{W,dis,ls,col,j} \cdot t_d / t_W \cdot L_{H,m} / d_{mj}$$

Toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda potrošne tople vode:

$$Q_{W,dis,in} = Q_W - Q_{W,dis,aux,rvd} + Q_{W,dis,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (93)$$

### 2.1.7. HRN EN 15316-3-3:2008 Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 3-3: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, zagrijavanje

Toplinski gubici indirektno grijanog spremnika potrošne tople vode (PTV) računaju se preko sljedećeg izraza:

$$Q_{W,st,ls} = U_{W,st} \cdot (\theta_{w,st,av} - \theta_{amb,avg}) \cdot 24 \cdot d_{mj} / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad (94)$$

Ukupni koeficijent toplinskih gubitaka spremnika računa se prema sljedećem izrazu:

$$U_{W,st} = 0,16 \cdot V_{W,st}^{0,5} \quad [\text{W/K}] \quad (95)$$

Proračun gubitaka primarne cirkulacije između generatora topline i spremnika:

Izolirani cjevovod:

$$Q_{W,p,ls} = (14 \text{ W/m}) \cdot L_{W,p} \cdot t_{W,gen,nom} / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad (96)$$

Neizolirani cjevovod:

$$Q_{W,p,ls} = (40 \text{ W/m}) \cdot L_{W,p} \cdot t_{W,gen,nom} / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad (97)$$

Period rada pumpe računa se prema sljedećem izrazu:

$$t_{W,gen,nom} = \frac{Q_{W,gen,out}}{P_{gen,nom}} \quad [\text{h}] \quad (98)$$

Proračun toplinskih gubitaka i pomoćne energije generatora topline:

- primjeniti metodu proračuna toplinskih gubitaka generatora i pomoćne energije iz HRN EN 15316-4-1 ili HRN EN 15316-4-7 ovisno o tipu generatora,
- u slučaju kada isti generator opskrbljuje i sustav razvoda grijanja prostora i sustav pripreme PTV-a proračun se provodi za povećano opterećenje generatora  $Q_{HW,gen,out}$ ,
- u tom se slučaju ne računaju zasebno toplinski gubici generatora uslijed pripreme PTV-a  $Q_{W,gnr,ls}$ , već su oni sadržani u  $Q_{HW,gen,ls}$ ,
- proračun pomoćne energije u primarnom krugu se provodi na temelju odgovarajućih izraza iz HRN EN 15316-3-2 (jednadžbe (81) do (88)).

Povećano opterećenje generatora računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{HW,gen,out} = Q_{H,dis,in} + Q_{W,gnr,out} \quad [\text{W}] \quad (99)$$

### 2.1.8. HRN EN 15316-4-3:2008 Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava - Dio 4-3: Sustavi za proizvodnju topline, toplinski sustavi sunčevog zračenja

Toplinsko opterećenje sunčanog sustava je toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda grijanja i pripreme PTV-a kako bi se pokrila toplinska potreba za grijanjem prostora, pripremu PTV-a te svi toplinski gubici u podsustavu predaje i razvoda, umanjeno za vraćenu pomoćnu energiju i iskorištene gubitke u navedenim podsustavima.

Toplinski gubici primarne cirkulacije između sunčanog spremnika i dodatnog generatora te gubici samog sunčanog spremnika i kolektorskog kruga nisu uključeni u toplinsko opterećenje (računaju se ovom normom).

Proračun toplinskog opterećenja sunčanog sustava:

$$Q_{H,sol,us,m} = Q_{H,dis,in,m} \quad [\text{kWh}] \quad (100)$$

$$Q_{W,sol,us,m} = Q_{W,dis,in,m} \quad [\text{kWh}] \quad (101)$$

Proračun isporučene sunčeve energije u sustav:

$$Q_{H,sol,out,m} = Q_{H,sol,us,m} \cdot (aY_H + bX_H + cY_H^2 + dX_H^2 + eY_H^3 + fX_H^3) \quad [\text{kWh}] \quad (102)$$

$$Q_{W,sol,out,m} = Q_{W,sol,us,m} \cdot (aY_W + bX_W + cY_W^2 + dX_W^2 + eY_W^3 + fX_W^3) \quad [\text{kWh}] \quad (103)$$

Mjesečni udjeli isporučene energije za grijanje i pripremu PTV-a:

$$P_H = Q_{H,sol,us,m} / (Q_{W,sol,us,m} + Q_{H,sol,us,m}) \quad [-] \quad (104)$$

$$P_W = Q_{W,sol,us,m} / (Q_{W,sol,us,m} + Q_{H,sol,us,m}) \quad [-] \quad (105)$$

Izračun faktora  $X$ :

$$X_H = A_H \cdot U_{loop} \cdot \eta_{loop} \cdot \Delta T \cdot f_{st} \cdot t_m / (Q_{H,sol,us,m} \cdot 1000) \quad [-] \quad (106)$$

$$X_W = A_W \cdot U_{loop} \cdot \eta_{loop} \cdot \Delta T \cdot f_{st} \cdot t_m / (Q_{W,sol,us,m} \cdot 1000) \quad [-] \quad (107)$$

Svijetla površina kolektora za potrebe grijanja prostora i pripremu PTV-a računa se prema sljedećim izrazima:

$$A_H = A \cdot P_H \quad [\text{m}^2] \quad (108)$$

$$A_W = A \cdot P_W \quad [\text{m}^2] \quad (109)$$

Efektivni udio računa se prema sljedećem izrazu:

$$f_{aux} = x \cdot V_{bu} / V_{nom} \quad [-] \quad (110)$$

Zapremina dijela sunčanog spremnika koji nije grijan dodatnim generatorom topline računa se prema sljedećem izrazu:

$$V_{sol} = V_{nom}(1 - f_{aux}) \quad [\text{Lit}] \quad (111)$$

Korekcijski faktor zapremine spremnika računa se prema sljedećem izrazu:

$$f_{st} = (V_{ref} / V_{sol})^{0,25} = (75 \cdot A / V_{sol})^{0,25} \quad [-] \quad (112)$$

Ukupni koeficijent toplinskih gubitaka svih cjevovoda u kolektorskom krugu (uključujući cjevovode između kolektora te one između kolektorskog polja i spremnika) računa se prema sljedećem izrazu:

$$U_{loop,p} = 5 + 0,5 \cdot A \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (113)$$

Koeficijent toplinskih gubitaka kolektorskog kruga (ovisi o karakteristikama kolektora i izolaciji cjevovoda) računa se prema sljedećem izrazu:

$$U_{loop} = a_1 + a_2 \cdot 40 + U_{loop,p} / A \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (114)$$

Faktor učinkovitosti kolektorskog kruga (uzima u obzir utjecaj izmjenjivača topline):

Uobičajena vrijednost:

$$\eta_{loop} = 0,9 \quad (115)$$

Referentna temperatura (ovisi o vrsti sustava i primjeni):

Sustav grijanja prostora:

$$\theta_{ref} = 100^\circ\text{C} \quad (116)$$

Sustav pripreme PTV-a:

$$\theta_{ref} = 11,6 + 1,18 \cdot \theta_w + 3,86 \cdot \theta_{cw} - 1,32 \cdot \theta_{e,avg} \quad [^\circ\text{C}] \quad (117)$$

Referentna razlika temperatura računa se prema sljedećem izrazu:

$$\Delta T = \theta_{ref} - \theta_{e,avg} \quad [\text{K}] \quad (118)$$

Izračun faktora  $Y$ :

$$Y_H = A_H \cdot IAM \cdot \eta_0 \cdot \eta_{loop} \cdot I_m \cdot t_m / (Q_{H,sol,us,m} \cdot 1000) \quad [-] \quad (119)$$

$$Y_W = A_W \cdot IAM \cdot \eta_0 \cdot \eta_{loop} \cdot I_m \cdot t_m / (Q_{W,sol,us,m} \cdot 1000) \quad [-] \quad (120)$$

Proračun pomoćne energije:

Pomoćna energija za pogon pumpi kruga kolektora računa se prema sljedećem izrazu:

$$W_{col,aux,m} = P_{aux,nom} \cdot t_{aux,m} / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad (121)$$

Nazivna snaga pumpe računa se prema sljedećem izrazu (ili podatak proizvođača):

$$P_{aux,nom} = 25 + 2 \cdot A \quad [\text{W}] \quad (122)$$

Mjesečno vrijeme rada pumpe računa se prema sljedećem izrazu:

$$t_{aux,m} = (2000 \text{ h}) \cdot \frac{E_{sol,in,m}}{E_{sol,in,a}} \quad [\text{h}] \quad (123)$$

Toplinski gubici sunčanog sustava:

Toplinski gubici sunčanog spremnika (koje namiruje sunčani sustav):

Kod pripreme PTV-a:

$$Q_{W,sol,st,ls,m} = U_{st} \cdot (\theta_{setpoint,W} - \theta_{a,avg}) \cdot (Q_{W,sol,out,m} / Q_{W,sol,us,m}) \cdot t_m / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad (124)$$

Kod grijanja prostora:

$$Q_{H,sol,st,ls,m} = U_{st} \cdot (\theta_{setpoint,H} - \theta_{a,avg}) \cdot (Q_{H,sol,out,m} / Q_{H,sol,us,m}) \cdot t_m / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad (125)$$

Ukupni koeficijent toplinskih gubitaka spremnika računa se prema sljedećem izrazu:

$$U_{st} = 0,16 \cdot V_{sol}^{0,5} \quad [\text{W/K}] \quad (126)$$

Pri tome su ukupni toplinski gubici spremnika:

$$Q_{st,ls,m} = 0,16 \cdot V_{nom}^{0,5} \cdot (\theta_{setpoint,W} - \theta_{a,avg}) \cdot t_m / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad (127)$$

Toplinski gubici razvoda između solarnog sustava i dodatnog generatora topline računaju se prema sljedećim izrazima:

Ako su cjevovodi izolirani:

$$Q_{H,bu,dis,ls,m} = 0,02 \cdot Q_{H,sol,us,m} \cdot (Q_{H,sol,out,m} / Q_{H,sol,us,m}) \quad [\text{kWh}] \quad (128)$$

$$Q_{W,bu,dis,ls,m} = 0,02 \cdot Q_{W,sol,us,m} \cdot (Q_{W,sol,out,m} / Q_{W,sol,us,m}) \quad [\text{kWh}] \quad (129)$$

Ako cjevovodi nisu izolirani:

$$Q_{H,bu,dis,ls,m} = 0,05 \cdot Q_{H,sol,us,m} \cdot (Q_{H,sol,out,m} / Q_{H,sol,us,m}) \quad [\text{kWh}] \quad (130)$$

$$Q_{W,bu,dis,ls,m} = 0,05 \cdot Q_{W,sol,us,m} \cdot (Q_{W,sol,out,m} / Q_{W,sol,us,m}) \quad [\text{kWh}] \quad (131)$$

Pomoćna energija primarne cirkulacije:

Udio isporučene sunčeve energije u toplinskom opterećenju:

$$f_{sol,m} = (Q_{H,sol,out,m} + Q_{W,sol,out,m}) / (Q_{H,sol,us,m} + Q_{W,sol,us,m}) \quad [-] \quad (132)$$

Pomoćna energija za pogon pumpe primarne cirkulacije između spremnika i dodatnog generatora računa se prema:

$$W_{bu,aux,nom,m} = P_{bu,aux,nom} \cdot t_{bu,aux,m} / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad (133)$$

Mjesečno vrijeme rada pumpe računa se prema sljedećem izrazu:

$$t_{bu,aux,m} = (1000 \text{ h}) \cdot \frac{(Q_{H,sol,us,m} + Q_{W,sol,us,m})}{(Q_{H,sol,us,a} + Q_{W,sol,us,a})} \quad [\text{h}] \quad (134)$$

Smanjeni iznos mjesečne potrošnje električne energije za pogon pomoćnih uređaja dodatnog generatora uslijed rada sunčanog sustava računa se prema sljedećem izrazu:

$$W_{bu,aux,m} = W_{bu,aux,nom,m} \cdot (1 - f_{sol,m}) \quad [\text{kWh}] \quad (135)$$

Smanjenje iznosa isporučene energije dodatnom generatoru (izvoru) topline računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{bu,ls,m} = Q_{gen,in,ns,m} - Q_{gen,in,m} \quad [\text{kWh}] \quad (136)$$

Ukupna pomoćna energija sunčanog sustava računa se prema sljedećem izrazu:

$$W_{sol,aux,m} = W_{col,aux,m} + W_{bu,aux,m} \quad [\text{kWh}] \quad (137)$$

Vraćena pomoćna energija radnom mediju u pojedinom mjesecu za sunčani sustav računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{sol,aux,rvd,m} = 0,75 \cdot W_{sol,aux,m} \quad [\text{kWh}] \quad (138)$$

Iskoristiva pomoćna energija koja se vraća u prostor u pojedinom mjesecu za sunčani sustav računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{sol,aux,rbl,m} = k \cdot 0,25 \cdot W_{sol,aux,m} \cdot L_{H,m} / d_{mj} \quad [\text{kWh}] \quad (139)$$

Iskoristivi toplinski gubici sunčanog spremnika:

$$Q_{sol,st,ls,rbl,m} = k \cdot (Q_{W,sol,st,ls,m} + Q_{H,sol,st,ls,m}) \cdot t_d / 24 \cdot L_{H,m} / d_{mj} \quad [\text{kWh}] \quad (140)$$

Iskoristivi toplinski gubici razvoda između sunčanog spremnika i dodatnog generatora:

$$Q_{H,bu,dis,ls,rbl,m} = k \cdot Q_{H,bu,dis,ls,m} \quad [\text{kWh}] \quad (141)$$

$$Q_{W,bu,dis,ls,rbl,m} = k \cdot Q_{W,bu,dis,ls,m} \quad [\text{kWh}] \quad (142)$$

Ukupno vraćena i iskorištena toplinska energija, odnosno onaj iznos za koji se umanjuje energija na ulazu u podsustav proizvodnje (generator):

a) za period sezone grijanja:

$$Q_{sol,rvd/rbl,m} = (Q_{sol,aux,rvd,m} + \eta_{rvd} \cdot Q_{sol,aux,rbl,m}) + \eta_{rvd} \cdot Q_{sol,st,ls,rbl,m} \quad [\text{kWh}] \quad (143)$$

b) za period izvan sezone grijanja:

$$Q_{sol,rvd/rbl,m} = Q_{sol,aux,rvd,m} \quad [\text{kWh}] \quad (145)$$

Toplinski gubici spremnika i primarne cirkulacije u sunčanom sustavu koje nadoknađuje dodatni generator (izvor):

Sezona grijanja:

$$Q_{gen,sol,m} = (Q_{st,ls,m} - Q_{sol,st,ls,m}) + (Q_{H,bu,dis,ls,m} + Q_{W,bu,dis,ls,m}) \quad [\text{kWh}] \quad (146)$$

Izvan sezone grijanja

$$Q_{gen,sol,m} = (Q_{st,ls,m} - Q_{sol,st,ls,m}) + Q_{W,bu,dis,ls,m} \quad [\text{kWh}] \quad (147)$$

Toplinska energija koju je potrebno dovesti dodatnim generatorom topline u termotehnički sustav zgrade računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{bu,m} = Q_{gen,out,m} = (Q_{H,sol,us,m} + Q_{W,sol,us,m}) - (Q_{H,sol,out,m} + Q_{W,sol,out,m}) + Q_{gen,sol,m} - Q_{sol,rvd/rbl,m} \quad [\text{kWh}] \quad (148)$$

ako je  $Q_{bu,m} < 0$  uzeti  $Q_{bu,m} = 0$ .

Toplinska energija koju je potrebno isporučiti podsustavu proizvodnje tj. dodatnom generatoru (izvoru) računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{gen,in,m} = Q_{gen,out,m} - Q_{gen,aux,rvd,m} + Q_{gen,ls,m} \quad [\text{kWh}] \quad (149)$$

Ukupna korisna obnovljiva energija prikupljena sunčanim sustavom:

$$Q_{sol,renew,m} = (Q_{H,sol,out,m} + Q_{W,sol,out,m}) + \eta_{rvd} \cdot Q_{sol,st,ls,rbl,m} \quad [\text{kWh}] \quad (150)$$

Za proračun korisne obnovljive energije koristiti sljedeće uvjete:

Ako je računski vrijednost  $Q_{H,sol,out,m} > Q_{H,sol,us,m}$ , onda vrijedi  $Q_{H,sol,out,m} = Q_{H,sol,us,m}$ .

Ako je  $Q_{W,sol,out,m} > Q_{W,sol,us,m}$ , onda vrijedi  $Q_{W,sol,out,m} = Q_{W,sol,us,m}$ .

### 2.1.9. Proračun isporučene i primarne energije

Isporučena energija:

Sustav grijanja (s jednim generatorom):

$$E_{H,del} = Q_{H,gen,in} + (W_{em,aux} + W_{H,dis,aux} + W_{H,gen,aux}) \quad [\text{kWh}] \quad (151)$$

Sustav pripreme PTV-a (s jednim generatorom):

$$E_{W,del} = Q_{W,gen,in} + (W_{W,dis,aux} + W_{W,gen,aux}) \quad [\text{kWh}] \quad (152)$$

Ukupno isporučena energija u termotehnički sustav zgrade:

$$E_{del} = E_{H,del} + E_{W,del} \quad [\text{kWh}] \quad (153)$$

Primarna energija:

Općenito:

$$E_{prim} = \sum_i (f_{p,i} \cdot Q_{gen,in,i}) + \sum_j (f_{p,el} \cdot W_{aux,j}) \quad [\text{kWh}] \quad (154)$$

Sustav grijanja (s jednim generatorom):

$$E_{H,prim} = Q_{H,gen,in} \cdot f_{p,i} + (W_{em,aux} + W_{H,dis,aux} + W_{H,gen,aux}) \cdot f_{p,el} \quad [\text{kWh}] \quad (155)$$

Sustav pripreme PTV-a (s jednim generatorom):

$$E_{W,prim} = Q_{W,gen,in} \cdot f_{p,i} + (W_{W,dis,aux} + W_{W,gen,aux}) \cdot f_{p,el} \quad [\text{kWh}] \quad (156)$$

Ukupna primarna energija za termotehnički sustav zgrade:

$$E_{prim} = E_{H,prim} + E_{W,prim} \quad [\text{kWh}] \quad (157)$$

Koeficijent utroška primarne energije  $e_p$  predstavlja omjer primarne energije i potrebne (korisne) toplinske energije:

$$e_p = E_{prim} / (Q_{H,nd} + Q_W) \quad (158)$$

Emisija CO<sub>2</sub> računa se prema isporučenoj energiji u sustav:

$$\text{CO}_2 = (Q_{H,gen,in} + Q_{W,gen,in}) \cdot C_{p,i} + (W_{em,aux} + W_{H,dis,aux} + W_{H,gen,aux} + W_{W,dis,aux} + W_{W,gen,aux}) \cdot C_{el} \quad [\text{kg}] \quad (159)$$

## 2.2. Nove norme iz skupine EN 15316:2016

### 2.2.1. Mjesečni proračun solarnog toplovodnog sustava prema normi FprEN 15316-4-3:2016

Za mjesečni proračun solarnog toplovodnog sustava koristi se metoda 2 prema normi FprEN 15316-4-3:2016. U nastavku su prikazane jednačbe korištene za proračun (detaljnije u [4]).



U sljedećim izrazima indeks  $x$  označava da se ta veličina izračunava i za grijanje prostora i za pripremu PTV-a.

Snaga pumpe kolektora računa se prema sljedećem izrazu:

$$P_{aux,nom} = 25 + 2 \cdot N_{col} \cdot A_{sol,mod} \quad [\text{W}] \quad (160)$$

Ukupni koeficijent toplinskih gubitaka spremnika računa se prema sljedećem izrazu:

Standardno:

$$H_{sto,hx} = 100 \cdot A_{sol,mod} \cdot N_{col} \quad [\text{W/K}] \quad (161)$$

Najgori slučaj:

$$H_{sto,hx} = 20 \cdot A_{sol,mod} \cdot N_{col} \quad [\text{W/K}] \quad (162)$$

Mjesečno prosječno Sunčevo zračenje na površinu kolektora korigira se sa faktorom  $f_{col}$  koji uzima u obzir smještaj kolektora, orijentaciju i zasjenjenje:

$$I_{sol,m} = I_{sol,S45,m} \cdot f_{col} \quad [\text{W/m}^2] \quad (163)$$

Referentna temperatura računa se prema sljedećim izrazima:

grijanje:

$$\theta_{H,ref,m} = 0,75 \cdot \theta_{H,dis,rln} + 55 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (164)$$

priprema PTV-a:

$$\theta_{W,ref,m} = 11,6 + 1,18 \cdot \theta_{W,srv} + 3,86 \cdot \theta_{W,cw,m} - 1,32 \cdot \theta_{e,m} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (165)$$

Mjesečni udjeli isporučene energije za grijanje i pripremu PTV-a računaju se prema sljedećim izrazima:

grijanje:

$$f_{H,use,m} = (Q_{H,sol,us,m}) / (Q_{W,sol,us,m} + Q_{H,sol,us,m}) \quad [-] \quad (166)$$

priprema PTV-a:

$$f_{W,use,m} = (Q_{W,sol,us,m}) / (Q_{W,sol,us,m} + Q_{H,sol,us,m}) \quad [-] \quad (167)$$

Svijetla površina kolektora za potrebe grijanja prostora i pripremu PTV-a računa se prema sljedećem izrazu:

$$A_{x,sol,m} = f_{x,use,m} \cdot A_{sol,mod} \cdot N_{col} \quad [\text{m}^2] \quad (168)$$

Volumen solarnog spremnika za potrebe grijanja prostora i pripremu PTV-a računa se prema sljedećem izrazu:

$$V_{x,sto,tot} = f_{x,use,m} \cdot V_{sto,tot} \quad [l] \quad (169)$$

Volumen spremnika koji se zagrijava pomoćnim grijačem za grijanje i pripremu PTV-a računa se prema sljedećem izrazu:

$$V_{x,sto,bu} = f_{x,use,m} \cdot V_{sto,bu} \quad [l] \quad (170)$$

Gubici spremnika prema udjelu potrebe za grijanjem prostora i pripreme PTV-a računaju se prema sljedećem izrazu:

$$H_{x,sto,ls} = f_{x,use,m} \cdot H_{sto,ls,tot} \quad [W/K] \quad (171)$$

Snaga pumpe solarnog kruga raspodijeljena prema udjelu potrebe za grijanjem prostora i pripreme PTV-a računa se prema sljedećem izrazu:

$$P_{x,sol,pmp} = f_{x,use,m} \cdot P_{sol,pmp} \quad [W] \quad (172)$$

Proračun isporučene Sunčeve energije u sustav:

$$Q_{x,sol,out,m} = Q_{x,sol,tmp,m} - Q_{x,bu,sto,ls,m} \quad [kWh] \quad (173)$$

Prva procjena solarnog doprinosa računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{x,sol,tmp,m} = f_{app} \cdot (aY_x + bX_x + c(Y_x)^2 + d(X_x)^2 + e(Y_x)^3 + f(X_x)^3) \cdot Q_{x,sol,ls,m} \quad [kWh] \quad (174)$$

Korigirano toplinsko opterećenje solarnog sustava računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{x,sol,ls,us} = Q_{x,sol,us,m} - Q_{x,bu,sto,ls,m} \quad [kWh] \quad (175)$$

Toplinski gubici dijela spremnika zagrijavanog pomoćnim grijačem:

$$Q_{x,bu,sto,ls,m} = H_{x,sto,ls} \cdot ((V_{x,sto,tot} - V_{sto,sol}) / V_{x,sto,tot}) \cdot (\theta_{x,bu,set} - \theta_{sto,amb,m}) \cdot (t_{ci,m} / 1000) \quad [kWh] \quad (176)$$

Izračun faktora  $X$ :

$$X_x = (A_{x,sol,m} \cdot H_{loop} \cdot \eta_{loop} \cdot (\theta_{x,ref,m} - \theta_{e,m}) \cdot f_{sto,m} \cdot t_{ci,m}) / (Q_{x,sol,ls,us} \cdot 1000) \quad [-] \quad (177)$$

Udio spremnika koji se zagrijava pomoćnim grijačem:

$$f_{x,aux} = f_{bu} \cdot (V_{x,sto,bu} / V_{x,sto,tot}) \quad [-] \quad (178)$$

Zapremina dijela spremnika koji nije grijan dodatnim izvorom topline računa se prema sljedećem izrazu:

$$V_{x,sto,sol} = V_{x,sto,tot} \cdot (1 - f_{aux}) \quad [l] \quad (179)$$

Korekcijski faktor zapremine spremnika računa se prema sljedećem izrazu:

$$f_{x,sto,m} = ((75 \cdot A_{x,sol,m}) / V_{sto,sol})^{0,25} \quad [-] \quad (180)$$

Ukupni koeficijent toplinskih gubitaka svih cijevi u kolektorskom krugu (spojne cijevi kolektora i cijevi od kolektora do spremnika):

$$H_{loop,p} = 5 + 0,5 \cdot A_{sol,mod} \cdot N_{col} \quad [W/K] \quad (181)$$

Koeficijent toplinskih gubitaka kolektorskog kruga:

$$H_{x,loop} = a_1 + a_2 \cdot 40 + (H_{loop,p} / A_{x,sol,m}) \quad [W/K] \quad (182)$$

Faktor učinkovitosti kolektorskog kruga računa se prema sljedećem izrazu:

$$\eta_{loop} = 1 - ((\eta_0 \cdot A_{sol} \cdot a_1) / (H_{sto,hx})) \quad [-] \quad (183)$$

Izračun faktora  $Y$ :

$$Y_x = (A_{x,sol,m} \cdot K_{hem}(50^\circ) \cdot \eta_{loop} \cdot \eta_0 \cdot I_{sol,m} \cdot t_{ci,m}) / (Q_{x,sol,ls,us} \cdot 1000) \quad [-] \quad (184)$$

Pomoćna energija za pogon pumpi kruga kolektora računa se prema sljedećem izrazu:

$$W_{x,sol,aux,m} = P_{x,sol,pmp} \cdot t_{aux,m} / 1000 \quad [kWh] \quad (185)$$

Mjesečno vrijeme rada pumpe računa se prema sljedećem izrazu:

$$t_{aux,m} = (2000 \text{ h}) \cdot (I_{sol,m} / I_{sol,a}) \quad [h] \quad (186)$$

Toplinski gubici Sunčanog sustava:

Toplinski gubici Sunčanog spremnika (kojeg namiruje Sunčani sustav) računaju se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{x,sol,sto,ls,m} = H_{x,sto,ls} \cdot (V_{x,sto,sol} - V_{x,sto,tot}) \cdot (\theta_{x,low} + (\theta_{x,high} - \theta_{x,low}) \cdot f_{x,tmp,m} - \theta_{sto,amb,m}) \cdot f_{x,tmp,m} \cdot (t_{ci,m}/1000) \quad [kWh] \quad (187)$$

gdje se faktor  $f_{x,tmp,m}$  računa kao:

$$f_{x,tmp,m} = Q_{x,sol,tmp,m} / Q_{x,sol,ls,us} \quad [-] \quad (188)$$

Ukupni toplinski gubici spremnika računaju se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{st,ls,m} = Q_{x,sol,sto,ls,m} - Q_{x,bu,sto,ls,m} \quad [kWh] \quad (189)$$

Toplinski gubici razvoda između solarnog sustava i dodatnog izvor topline (kotla) računaju se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{x,bu,dis,ls,m} = f_{bu,ins} \cdot Q_{x,bu,out,m} \quad [\text{kWh}] \quad (190)$$

Pomoćna energija primarne cirkulacije:

Udio isporučene Sunčeve energije u toplinskom opterećenju računa se prema sljedećem izrazu:

$$f_{sol,m} = Q_{x,sol,out,m} / Q_{x,sol,ls,us} \quad [-] \quad (191)$$

Pomoćna energija za pogon pumpe primarne cirkulacije između spremnika i dodatnog generatora navedena je kao ulazni podatak bez izraza za proračun.

Smanjeni iznos mjesečne potrošnje električne energije za pogon pomoćnih uređaja dodatnog generatora uslijed rada Sunčanog sustava računa se prema sljedećem izrazu:

$$W_{x,bu,aux,m} = W_{x,bu,aux,nom,m} \cdot (1 - f_{sol,m}) \quad [l] \quad (192)$$

Smanjenje iznosa isporučene energije dodatnom izvoru topline računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{x,bu,ls,m} = Q_{x,bu,ls,nom,m} \cdot (1 - f_{sol,m}) \quad [l] \quad (193)$$

Iskoristivi toplinski gubici koji se vraćaju u prostor u pojedinom mjesecu za Sunčani sustav računaju se prema sljedećem izrazu:

(nova norma obuhvaća proračun ukupnih iskoristivih toplinskih gubitaka - toplinski gubici spremnika i razvoda između Sunčanog spremnika i dodatnog izvora)

$$Q_{x,sol,ls,rbl,m} = f_{rbl} \cdot (Q_{x,sol,sto,ls,m} + Q_{x,bu,sto,ls,m} + Q_{x,bu,dis,ls,m}) \quad [\text{kWh}] \quad (194)$$

Toplinska energija koju je potrebno dovesti dodatnim generatorom topline u termotehnički sustav zgrade računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{x,bu,out,m} = Q_{x,sol,us,m} - Q_{x,sol,out,m} + Q_{x,bu,sto,ls,m} \quad [\text{kWh}] \quad (195)$$

$$Q_{x,sol,bu,out,m} = Q_{x,sol,us,m} - Q_{x,bu,out,m} \quad [\text{kWh}] \quad (196)$$

**2.2.2. Satni proračun solarnog toplovodnog sustava prema normi FprEN 15316-4-3:2016**

Za satni proračun solarnog toplovodnog sustava koristi se metoda 3 prema normi FprEN 15316-4-3:2016.

Ukupna instalirana površina kolektora računa se prema sljedećem izrazu:

$$A_{sol} = A_{sol,mod} \cdot N_{sol,mod} \quad [\text{m}^2] \quad (197)$$

Učinkovitost kolektora računa se prema sljedećem izrazu:

$$\eta_{col,h} = \eta_0 \cdot K_{hem}(50^\circ) - a_1 \cdot T_{h^*} - a_2 \cdot (T_{h^*})^2 \cdot (I_{sol,h}) \quad [-] \quad (198)$$

Reducirana temperaturna razlika kolektora računa se prema sljedećem izrazu:

$$T_{h^*} = (\theta_{col,avg,h} - \theta_{e,h}) / I_{sol,h} \quad [\text{Km}^2/\text{W}] \quad (199)$$

Prva procjena srednje temperature u kolektoru računa se prema sljedećem izrazu:

$$\theta_{col,avg,h} = \theta_{sol,loop,in,h-1} + (0,4 \cdot I_{sol,h} \cdot A_{sol}) / (m_{col} \cdot (c_w)^2) \quad [^\circ\text{C}] \quad (200)$$

Srednja temperatura u kolektoru računa se prema sljedećem izrazu:

$$\theta_{col,avg,h} = (\theta_{sol,loop,in,h-1} + \theta_{sol,loop,in,h}) / 2 + (Q_{sol,loop,out,h}) / (m_{col} \cdot (c_w)^2) \quad [^\circ\text{C}] \quad (201)$$

Toplinska energija na apsorberu kolektora računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{sol,gen,in} = \eta_0 \cdot I_{sol,h} \cdot A_{sol} \cdot t_{ci} \cdot 0,001 \quad [\text{kWh}] \quad (202)$$

Toplinska energija na izlazu iz kolektora računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{sol,out,h} = \eta_{col,h} \cdot I_{sol,h} \cdot A_{sol} \cdot t_{ci} \cdot 0,001 \quad [\text{kWh}] \quad (203)$$

Gubici topline solarne petlje računaju se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{sol,loop,ls,h} = H_{sol,loop} \cdot (\theta_{col,avg,h} - \theta_{sol,amb,h}) \cdot t_{ci} \cdot 0,001 \quad [\text{kWh}] \quad (204)$$

Toplinska energija na izlazu iz solarne petlje računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{sol,loop,h} = Q_{sol,out,h} - Q_{sol,loop,ls,h} \quad [\text{kWh}] \quad (205)$$

Potrebna pomoćna energija računa se prema sljedećim izrazima:

$$W_{sol,aux,h} = P_{sol,ctr} \cdot t_{ci} \quad [\text{kWh}] \quad (206)$$

za  $Q_{sol,loop,out,h} = 0$  računa se kao:

$$W_{sol,aux,h} = (P_{sol,ctr} + P_{sol,pmp}) \cdot t_{ci} \quad [\text{kWh}] \quad (207)$$

Iskoristivi gubici topline računaju se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{sol,loop,rbl,h} = f_{rbl} \cdot Q_{sol,loop,ls,h} \quad [\text{kWh}] \quad (208)$$

za  $Q_{H,sol,us,h} = 0$  slijedi  $Q_{sol,loop,rbl,h} = 0$ .

### 2.2.3. Satni proračun spremnika tople vode s podjelom spremnika na jedan volumni dio prema normi FprEN 15316-5:2016

Za proračun spremnika tople vode korištena je pojednostavljena metoda spremnika modeliranog jednim volumnim dijelom (Metoda B) prema normi FprEN 15316-5:2016 [5].

Temperatura u spremniku nakon korištenja PTV-a računa se prema sljedećem izrazu:

$$\theta_{sto,W,tmp1} = \theta_{sto,H,0} + (\Phi_{x,sto,in} \cdot t_{ci} - Q_{W,sto,out} - f_{sto,bac,acc} \cdot f_{sto,dis,ls} \cdot H_{sto,ls} \cdot (\theta_{sto,set} - \theta_{amb}) \cdot t_{ci}) / (\rho_w \cdot c_{p,w} \cdot V_{sto,tot}) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (209)$$

Ograničenje toplinske energije dobivene iz solarnog sustava za pripremu PTV-a računa se prema sljedećem izrazu:

$$\text{za } \theta_{sto,H,tmp1} < \theta_{sto,W,min}$$

$$Q_{W,sto,out,tmp1} = \text{MIN} ( Q_{W,sto,out}; \rho_w \cdot c_{p,w} \cdot V_{sto,tot} \cdot (\theta_{sto,W,min} - \theta_{sto,H,0}) + \Phi_{x,sto,in} \cdot t_{ci} ) \quad [\text{kWh}] \quad (210)$$

Zatim se konačna temperatura provjerava za potrebe grijanja prema sljedećem izrazu:

$$\theta_{sto,H,tmp2} = \theta_{sto,H,0} + (\Phi_{x,sto,in} \cdot t_{ci} - \text{MIN} ( Q_{W,sto,out}; Q_{W,sto,out,tmp1} ) - Q_{H,sto,out}) / (\rho_w \cdot c_{p,w} \cdot V_{sto,tot}) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (211)$$

$$\text{za } \theta_{sto,H,tmp2} < \theta_{sto,H,min}$$

Ograničenje toplinske energije iz solarnog sustava za grijanje računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{H,sto,out,tmp2} = \text{MIN} ( Q_{H,sto,out}; \rho_w \cdot c_{p,w} \cdot V_{sto,tot} \cdot (\theta_{sto,W,min} - \theta_{sto,H,0}) + \Phi_{x,sto,in} \cdot t_{ci} - Q_{W,sto,out,tmp1} - f_{sto,bac,acc} \cdot f_{sto,dis,ls} \cdot H_{sto,ls} \cdot (\theta_{sto,set} - \theta_{amb}) \cdot t_{ci} ) \quad [\text{kWh}] \quad (212)$$

Potrebna toplinska energija iz pomoćnog sustava računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{H,sto,bu,in,tmp} = (Q_{W,sto,out} - Q_{W,sto,out,tmp1}) + (Q_{H,sto,out} - Q_{H,sto,ou,tmp2}) + f_{sto,bac,acc} \cdot f_{sto,dis,ls} \cdot H_{sto,ls} \cdot (\theta_{sto,set} - \theta_{amb}) \cdot t_{ci} + \rho_w \cdot c_{p,w} \cdot V_{sto,tot} \cdot (\theta_{sto,set} - \theta_{sto,H,0}) - \Phi_{x,sto,in} \cdot t_{ci} \quad [\text{kWh}] \quad (213)$$

s time da vrijedi:

$$Q_{H,sto,bu,in} = \text{MIN}(\Phi_{sto,bu} \cdot t_{ci}; Q_{H,sto,bu,in,tmp}) \quad [\text{kWh}] \quad (214)$$

Konačna temperatura spremnika za promatrani vremenski korak računa se prema sljedećem izrazu:

$$\theta_{sto,H} = \theta_{sto,H,0} + (\Phi_{x,sto,in} \cdot t_{ci} + Q_{H,sto,bu,in} - Q_{W,sto,out,tmp1}) - Q_{H,sto,out,tmp2} - f_{sto,bac,acc} \cdot f_{sto,dis,ls} \cdot H_{sto,ls} \cdot (\theta_{sto,set} - \theta_{sto,amb}) \cdot t_{ci} / (\rho_w \cdot c_{p,w} \cdot V_{sto,tot}) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (215)$$

Proračun gubitaka topline:

Toplinski gubici spremnika topline računaju se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{sto,ls,tot} = f_{sto,bac,acc} \cdot f_{sto,dis,ls} \cdot (H_{sto,tot} / 1000) \cdot (\theta_{sto,set} - \theta_{sto,amb}) \cdot t_{ci} \quad [\text{kWh}] \quad (216)$$

Proračun pomoćne energije:

$$W_{H,sto,aux} = t_{sto,H,aux} \cdot \Phi_{sto,pmp} + t_{sto,H,aux,bu} \cdot \Phi_{sto,pmp,bu} \quad [\text{kWh}] \quad (217)$$

Iskoristivi i iskorišteni toplinski gubici:

Iskorištena pomoćna energija računa se prema sljedećim izrazima:

$$Q_{H,sto,aux,rvd} = W_{H,sto,aux} \cdot f_{rvd,aux} \quad [\text{kWh}] \quad (218)$$

Iskoristiva pomoćna energija računa se prema sljedećim izrazima:

$$Q_{H,sto,aux,rbl} = W_{H,sto,aux} \cdot f_{sto,rm} \cdot (1 - f_{rvd,aux}) \quad [\text{kWh}] \quad (219)$$

Iskoristivi gubici topline spremnika računaju se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{H,sto,rbl,env} = Q_{sto,ls} \cdot f_{sto,rm} \quad [\text{kWh}] \quad (220)$$

Budući da su neki od navedenih izraza bili nejasni te su iz njih proizlazili neobični i nelogični rezultati za proračun su u konačnici korišteni sljedeći modificirani izrazi (prema [7]):

Temperatura u spremniku nakon korištenja PTV-a računa se prema izrazu (209).

Ograničenje toplinske energije dobivene iz solarnog sustava računa se prema sljedećem izrazu:

$$\text{za } \theta_{sto,H,tmp1} \geq \theta_{sto,set,sol}$$

$$Q_{W,sto,out,tmp1} = Q_{W,sto,out} + f_{sto,bac,acc} \cdot f_{sto,dis,ls} \cdot H_{sto,ls} \cdot (\theta_{sto,set} - \theta_{amb}) \cdot t_{ci} + \rho_w \cdot c_{p,w} \cdot V_{sto,tot} \cdot (\theta_{sto,set,sol} - \theta_{sto,H,0}) \cdot t_{ci} \quad [\text{kWh}] \quad (221)$$

ako je  $\theta_{sto,H,tmp1} < \theta_{sto,set,sol}$  onda je  $Q_{W,sto,out,tmp1} = Q_{sol,loop,h}$

Potrebna toplinska energija iz kotla računa se prema sljedećem izrazu:

za  $\theta_{sto,H,tmp1} < \theta_{sto,W,min}$

$$Q_{H,sto,bu,in,tmp} = Q_{W,sto,out} + f_{sto,bac,acc} \cdot f_{sto,dis,ls} \cdot H_{sto,ls} \cdot (\theta_{sto,set} - \theta_{amb}) \cdot t_{ci} + \rho_w \cdot c_{p,w} \cdot V_{sto,tot} \cdot (\theta_{sto,set} - \theta_{sto,H,0}) \cdot t_{ci} - Q_{W,sto,out,tmp1} \quad [\text{kWh}] \quad (222)$$

Konačna temperatura spremnika za promatrani sat računa se prema sljedećem izrazu:

$$\theta_{sto,H} = \theta_{sto,H,0} + (Q_{W,sto,out,tmp1} + Q_{H,sto,bu,in,tmp} - Q_{W,sto,out} - f_{sto,bac,acc} \cdot f_{sto,dis,ls} \cdot H_{sto,ls} \cdot (\theta_{sto,set} - \theta_{set,amb}) \cdot t_{ci}) / (\rho_w \cdot c_{p,w} \cdot V_{sto,tot}) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (223)$$

Razlika temperature zbog izmjenjivača topline računa se prema sljedećem izrazu:

$$\Delta\theta_{exh} = (Q_{exh} \cdot 1000) / (H_{exh} \cdot t_{ci}) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (224)$$

Uz navedene izraze za proračun su korišteni još i izrazi od (216) do (220).

Zbog nerealnih vrijednosti temperatura u spremniku dobivenih prema nevedenom proračunu konačna temperatura u spremniku se umanjivala za 20°C (temperatura najnižeg volumena spremnika koja povezuje proračun spremnika s proračunom prema normi FprEN 15316-4-3:2016.) budući da su vrijednosti isporučene sunčeve energije bile i do 50% manje u odnosu na proračune M1, M2 i S2 (u poglavlju 4. nalaze se objašnjenja navedenih oznaka provedenih proračuna). Zbog problema s iteracijskim proračunom u MS Excel-u, kretanje konačne temperature u spremniku je dosta nelogično te je proračun S1 upitne točnosti.

#### 2.2.4. Satni proračun spremnika tople vode s podjelom spremnika na više volumnih dijelova prema normi FprEN 15316-5:2016

Za proračun spremnika tople vode korištena je metoda spremnika modeliranog s više volumnih dijelova (Metoda A) prema normi FprEN 15316-5:2016 [5].

Korak 1.:

Toplinska energija za pripremu potrošne tople vode računa se prema sljedećem izrazu:

Za  $\theta_i > \theta_{sto,W}$ :

$$Q_W(t_0) = \sum_{i=1}^{NB_{vol}} \rho_w \cdot c_{p,w} \cdot V_{sto,i} \cdot (\theta_{sto,vol,i} - \theta_{W,out,min}) \quad [\text{kWh}] \quad (225)$$

Za  $\theta_i > \theta_{sto,H}$ :

Toplinska energija za grijanje računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{sto,H} = \sum_{i=1}^{NB_{vol}} \rho_w \cdot c_{p,w} \cdot V_{sto,i} \cdot (\theta_{sto,vol,i} - \theta_{H,out,min}) \quad [\text{kWh}] \quad (226)$$



Korak 2.:

Podjela spremnika na 4 volumena vode.

Volumen vode koji je potrebno povući iz spremnika za pripremu tople potrošne vode:

Ako

$$Q_{W,dis,out,req} \leq \rho_w \cdot V_{sto,vol,4} \cdot c_{p,w} \cdot (\theta_{sto,vol,4} - \theta_{W,out,min}) \quad [\text{kWh}] \quad (227)$$

i

$$\theta_{sto,vol,4} \geq \theta_{sto,W,in} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (228)$$

tada

$$V_{sto,use,W} = Q_{w,dis,out,req} / (\rho_w \cdot c_{p,w} \cdot (\theta_{sto,vol,4} - \theta_{W,out,min})) \quad [l] \quad (229)$$

ako nije onda:

$$V_{sto,use,W} = 0 \quad [l] \quad (230)$$

I postupak se nastavlja na niži volumen vode.

Ako

$$Q_{W,dis,out,req} - \rho_w \cdot V_{sto,vol,4} \cdot c_{p,w} \cdot (\theta_{sto,vol,4} - \theta_{W,out,min}) < \rho_w \cdot V_{sto,vol,3} \cdot c_{p,w} \cdot (\theta_{sto,vol,3} - \theta_{W,out,min})$$

[kWh] (231)

i

$$\theta_{sto,vol,3} \geq \theta_{sto,W,in} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (232)$$

tada:

$$V_{sto,use,W} = V_{sto,vol,4} + (Q_{W,dis,out,req} - \rho_w \cdot V_{sto,vol,4} \cdot c_{p,w} \cdot (\theta_{sto,vol,4} - \theta_{W,out,min})) / (\rho_w \cdot V_{sto,vol,3} \cdot c_{p,w} \cdot (\theta_{sto,vol,3} - \theta_{W,out,min})) \quad [l] \quad (233)$$

i

$$Q_{sto,W,dis} = Q_{W,dis,out,req} \quad [\text{kWh}] \quad (234)$$

ako nije onda

$$Q_{sto,W,dis} = \rho_w \cdot V_{sto,vol,4} \cdot c_{p,w} \cdot (\theta_{sto,vol,4} - \theta_{W,out,min}) \quad [\text{kWh}] \quad (235)$$

Korak 3.:

Temperatura u spremniku nakon povučenog volumena potrošne tople vode:

$$\theta_{sto,vol,i} = (\theta_{sto,vol,i-1} \cdot V_{sto,use,W} + \theta_{sto,vol,i} \cdot (V_{sto,vol,i} - V_{sto,use,W})) / V_{sto,vol,i} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (236)$$

ako je

$$i = 1 \quad (237)$$

onda

$$\theta_{sto,vol,i-1} = \theta_{W,cold} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (238)$$

Ako je

$$V_{sto,use,W} > V_{sto,vol,1} \quad [l] \quad (239)$$

tada je

$$\theta_{-1} = \theta_{W,cold} \quad [^{\circ}C] \quad (240)$$

Korak 4.:

Volumen vode koji je potrebno povući iz spremnika za grijanje prostora proračunava se na isti način kako je prikazano u koraku 2.

Korak 5.:

Temperatura vode u spremniku nakon povučenog volumena vode za grijanje prostora proračunava se na isti način kako je prikazano u koraku 3.

Korak 6.:

Proračun isporučene toplinske energije u spremniku.

Za svaki volumen vode  $i$  teorijska promjena temperature računa se prema sljedećem izrazu:

$$\Delta\theta_{sto,H,vol,i} = (Q_{H,sto,x,in,i} - Q_{sto,H,out,i}) / (\rho_w \cdot c_{p,w} \cdot V_{sto,vol,i}) \quad [^{\circ}C] \quad (241)$$

Akumulirana toplinska energija u spremniku računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{sto,H} = \rho_w \cdot c_{p,w} \cdot \sum V_{sto,vol,i} \cdot (\theta_{sto,vol,i} - \Delta\theta_{sto,H,vol,i}) \quad [kWh] \quad (242)$$

Korak 7.:

Ponovni izračun temperature vode u spremniku:

Ako je

$$\theta_{sto,vol,i} > \theta_{sto,vol,i+1} \quad [^{\circ}C] \quad (243)$$

onda je

$$\theta_{sto,vol,i} = \theta_{sto,vol,i+1} = (\theta_{sto,vol,i} \cdot V_{sto,vol,i} + \theta_{sto,vol,i+1} \cdot V_{sto,vol,i+1}) / (V_{sto,vol,i} + V_{sto,vol,i+1}) \quad [^{\circ}C] \quad (244)$$

Akumulirana toplinska energija u spremniku se zatim računa prema jednadžbi (225).

Korak 8.:

Izračun toplinskih gubitaka spremnika i konačne temperature vode u spremniku.

Slučaj 1.: Temperatura ispod postavne temperature:

Toplinski gubici za svaki volumen vode računaju se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{sto,ls,vol,i} = f_{sto,bac,acc} \cdot f_{sto,dis,ls} \cdot \rho_w \cdot c_{p,w} \cdot (V_{sto,vol,i} / V_{sto,tot}) \cdot H_{sto,ls} \cdot (\theta_{sto,vol,i} - \theta_{sto,amb}) \quad [kWh] \quad (245)$$

Promjena temperature zbog toplinskih gubitaka za svaki volumen vode:

$$\Delta\theta_{sto,vol,i} = - (Q_{sto,ls,vol,i} / (\rho_w \cdot c_{p,w} \cdot V_{sto,vol,i})) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (246)$$

Slučaj 2.: Temperatura iznad postavne temperature:

Izračun toplinskih gubitaka spremnika:

$$Q_{sto,ls} = \Sigma Q_{sto,ls,vol,i} \quad [\text{kWh}] \quad (247)$$

Korigirana vrijednost isporučene energije:

$$Q_{H,sto,x,in} + (Q_{sto,step8} - Q_{sto,step7}) + Q_{sto,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (248)$$

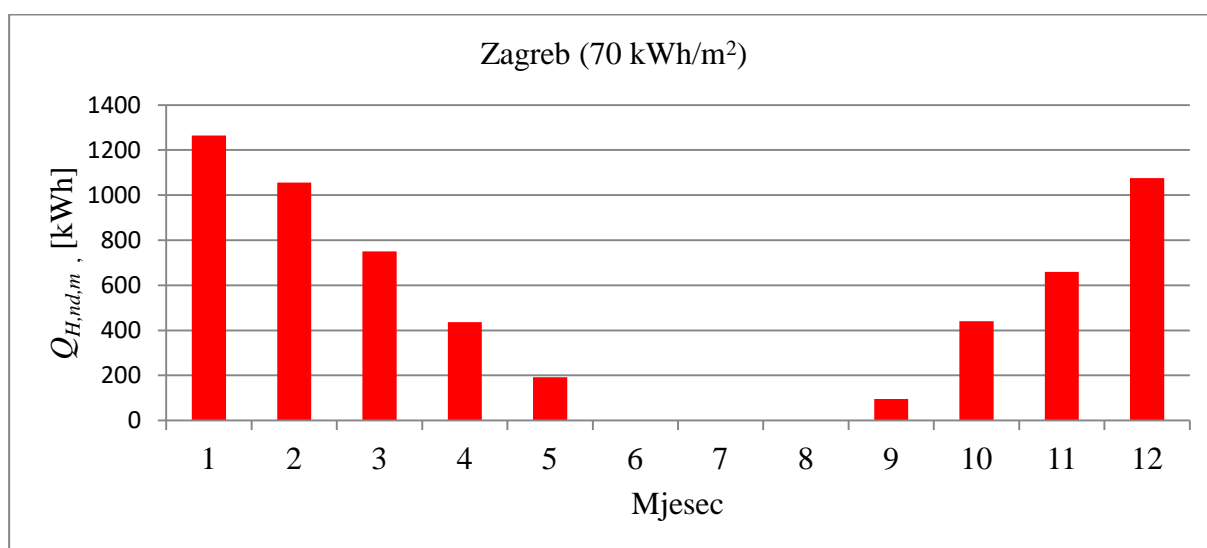
Budući da zbog nejasnoća gore prikazanih izraza nije uspješno napravljen računalni program za proračun spremnika metodom više volumnih dijelova, za proračun je u konačnici korišten računalni program prema [8].

### 3. OPIS SUSTAVA I ULAZNI PODACI

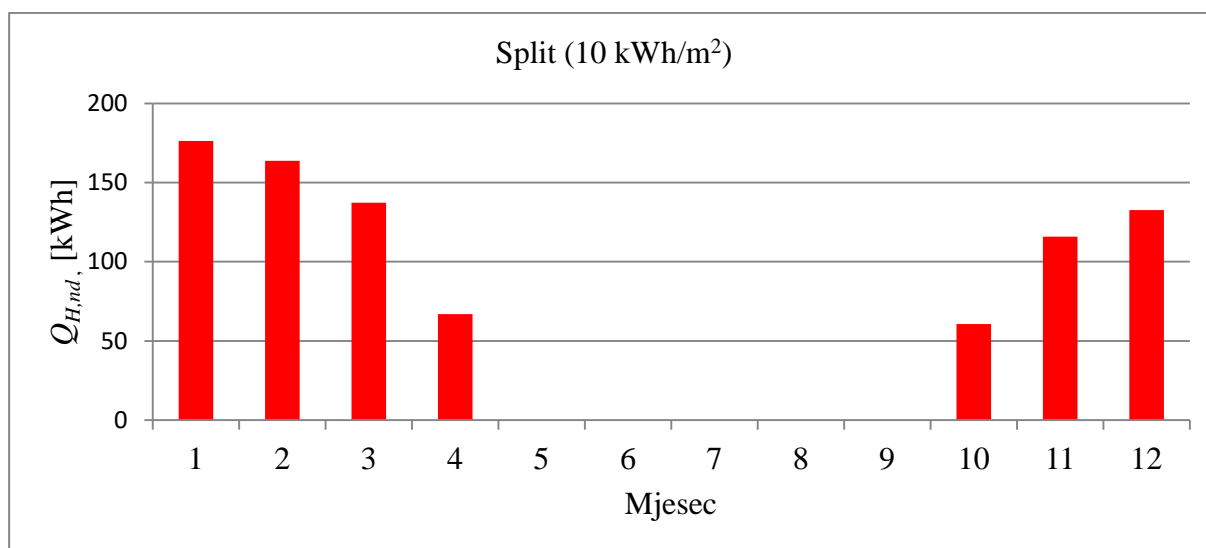
Sustav grijanja i pripreme potrošne tople vode sastoji se od:

- radijatorskog podsustava predaje topline temperaturnog režima 70/55°C
- dvocijevnog podsustava razvoda za grijanje i podsustava razvoda za PTV s recirkulacijom
- podsustava proizvodnje s kotlom na biomasu s podrškom solarnog toplovodnog sustava

Zgrada korištena za proračun je obiteljska kuća neto površine 85,3 m<sup>2</sup> u kojoj stanuju 4 osobe. Nazivna snaga instaliranih ogrjevnih tijela iznosi 8 kW (kod 70 kWh/m<sup>2</sup>) te 1 kW (kod 10 kWh/m<sup>2</sup>). Nazivna snaga kotla na biomasu iznosi 12 kW (kod 70 kWh/m<sup>2</sup>) te 3 kW (kod 10 kWh/m<sup>2</sup>). Volumen spremnika za PTV iznosi 200 l, a neto površina instaliranih kolektora iznosi 4 m<sup>2</sup>. Sustav grijanja prostora aktivan je od 4 h do 22 h. Klimatski podaci za Zagreb i Split korišteni u proračunima preuzeti su od DHMZ-a (Državni hidrometeorološki zavod) [6]. Raspodjela potrebne toplinske energije za grijanje određena je proporcionalno razlici temperatura unutrašnjeg (20°C) i vanjskog zraka pri čemu su korišteni meteorološki podaci od DHMZ-a. Proračun je proveden u programu MS Excel. Na slici 2. i slici 3. kao primjer rmože se vidjeti mjesečna raspodjela potrebne toplinske energije za grijanje za Zagreb (kod 70 kWh/m<sup>2</sup>) odnosno Split (kod 10 kWh/m<sup>2</sup>).

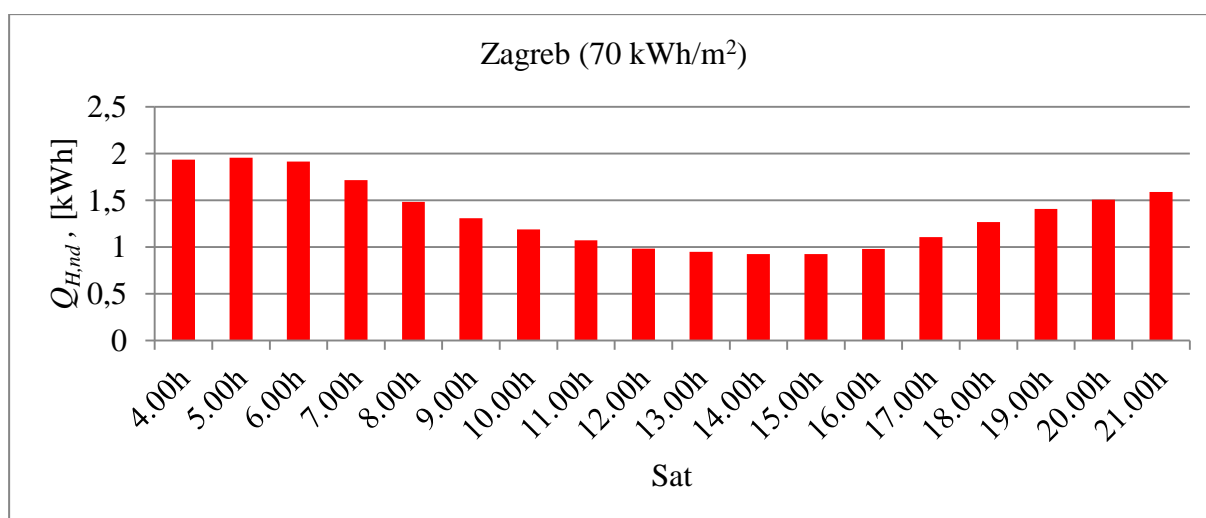


Slika 2. Mjesečna raspodjela potrebne toplinske energije za grijanje (Zagreb, 70 kWh/m<sup>2</sup>)

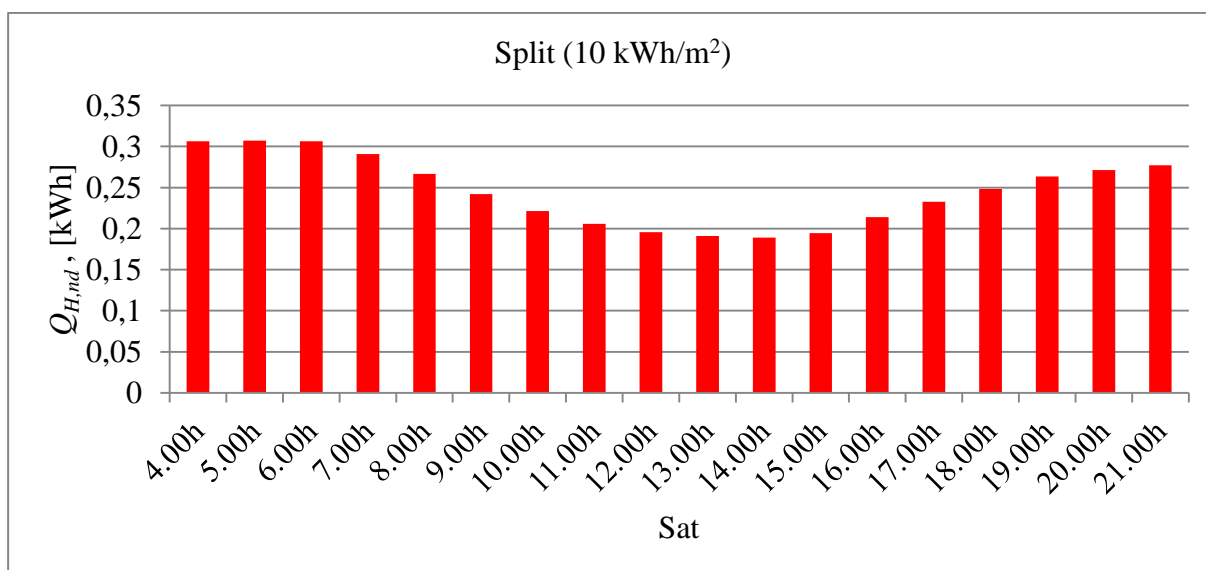


Slika 3. Mjesečna raspodjela potrebne toplinske energije za grijanje (Split, 10 kWh/m<sup>2</sup>)

Na slici 4. i slici 5. kao primjer može se vidjeti satna raspodjela potrebne toplinske energije za grijanje za Zagreb (kod 70 kWh/m<sup>2</sup>) odnosno Split (kod 10 kWh/m<sup>2</sup>) za karakterističan dan u ožujku.

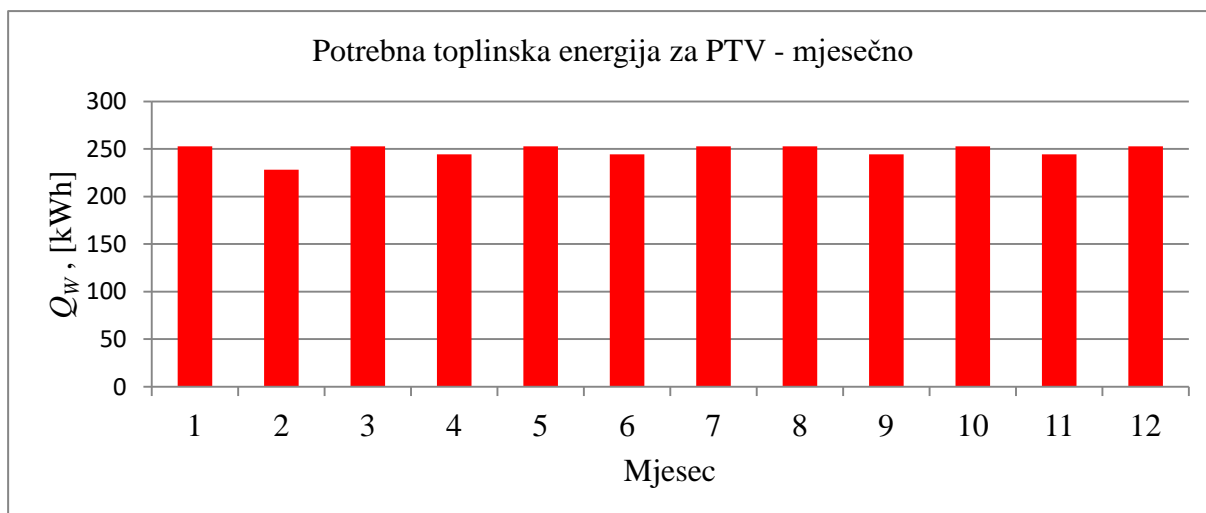


Slika 4. Satna raspodjela potrebne toplinske energije za grijanje za karakterističan dan u ožujku (Zagreb, 70 kWh/m<sup>2</sup>)

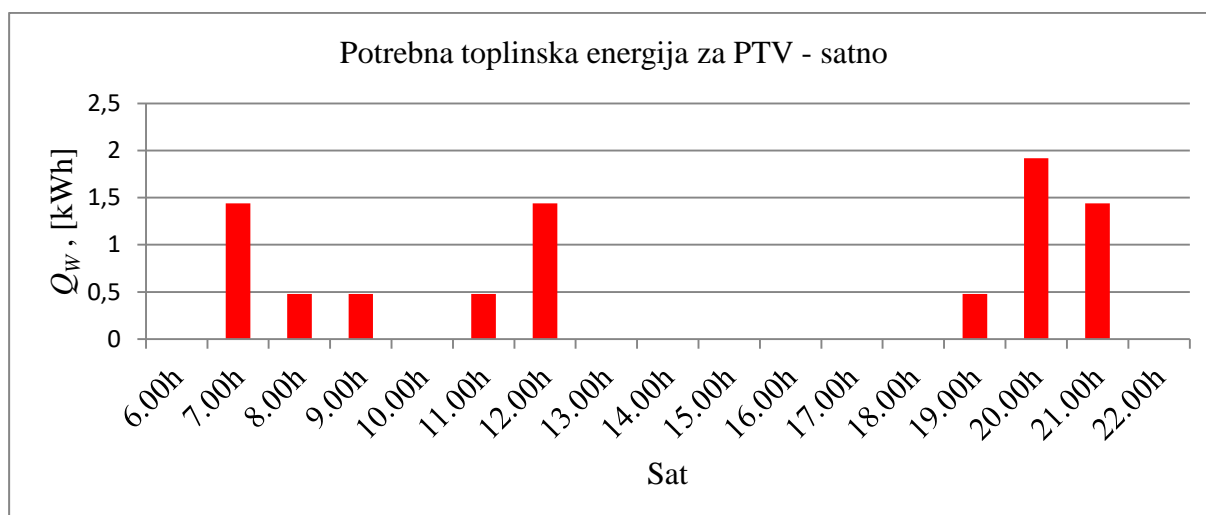


**Slika 5. Satna raspodjela potrebne toplinske energije za grijanje za karakterističan dan u ožujku (Split, 10 kWh/m<sup>2</sup>)**

Na slici 6. i slici 7. prikazana je mjesečna odnosno satna razdioba potrebne toplinske energije za pripremu potrošne tople vode (50 litara/dan po osobi).



**Slika 6. Mjesečna raspodjela potrebne toplinske energije za pripremu PTV-a**



Slika 7. Satna raspodjela potrebne toplinske energije za pripremu PTV-a u danu

## 4. USPOREDBA REZULTATA PO PODSUSTAVIMA

U nastavku su prikazani mjesečni i godišnji rezultati proračuna po podsustavima te njihova usporedba. U tablicama se pojavljuju oznake M1, M2, S1 i S2, a njihovo značenje je sljedeće:

- M1 - mjesečni proračun prema javno dostupnim algoritmima
- M2 - mjesečni proračun prema javno dostupnim algoritmima - solarni sustav proračunat prema novoj normi
- S1 - satni proračun prema javno dostupnim algoritmima - solarni sustav proračunat prema novoj normi - spremnik proračunat metodom jednog volumena
- S2 - satni proračun prema javno dostupnim algoritmima - solarni sustav proračunat prema novoj normi - spremnik proračunat metodom više volumnih dijelova

### 4.1. Podsustav predaje

U ovome poglavlju prikazani su rezultati proračuna u podsustavu predaje. Kod godišnje potrebne energije za grijanje od  $10 \text{ kWh/m}^2$  gotovo da nema potrebe za toplinskom energijom na izlazu iz podsustava predaje budući da iskorišteni toplinski gubici pokrivaju i ono malo potrebne energije za grijanje prostora (to vrijedi i za Zagreb i Split). Najviše vrijednosti toplinskih energija daje proračun M1, a od tog proračuna najviše odstupaju rezultati proračuna S1 (22 do 24%). Zbog različitih vrijednosti iskorištenih toplinskih gubitaka naknadno proračunatih podsustava javljaju se razlike u iznosima toplinske energije koju je sustavom predaje potrebno predati grijanom prostoru kod istih razina potrebne godišnje toplinske energije za grijanje.

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati toplinske energije na izlazu iz podsustava predaje za Zagreb ( $70 \text{ kWh/m}^2$  i  $10 \text{ kWh/m}^2$ ).

**Tablica 1. Rezultati - toplinska energija na izlazu iz podsustava predaje (Zagreb)**

Mjesec	ZAGREB ( $70 \text{ kWh/m}^2$ )				ZAGREB ( $10 \text{ kWh/m}^2$ )			
	$Q_{em,out}$ [kWh]				$Q_{em,out}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	809,38	774,38	729,72	787,45	27,55	0,00	9,27	2,12
2	663,21	638,15	586,16	637,57	0,00	21,92	4,29	0,47
3	404,85	396,22	292,41	357,42	0,00	0,00	2,11	0,34
4	230,60	222,86	80,17	129,25	0,00	0,00	0,00	0,00
5	68,62	54,35	28,08	43,54	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	4,36	11,14	0,00	0,00	0,00	0,00
10	230,55	222,05	105,49	141,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	330,62	314,37	230,84	294,97	0,00	0,00	0,00	0,00
12	653,68	622,54	577,02	629,99	0,00	0,00	3,06	2,24
<b>Ukupno</b>	<b>3391,51</b>	<b>3247,52</b>	<b>2634,23</b>	<b>3032,33</b>	<b>25,56</b>	<b>5,27</b>	<b>18,74</b>	<b>5,17</b>

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati toplinske energije na izlazu iz podsustava predaje za Split (70 kWh/m<sup>2</sup> i 10 kWh/m<sup>2</sup>).

**Tablica 2. Rezultati - toplinska energija na izlazu iz podsustava predaje (Split)**

Mjesec	SPLIT (70 kWh/m <sup>2</sup> )				SPLIT (10 kWh/m <sup>2</sup> )			
	$Q_{em,out}$ [kWh]				$Q_{em,out}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	803,82	777,29	699,86	758,13	28,64	0,00	5,99	8,23
2	756,84	737,09	650,29	708,75	0,00	20,03	2,28	9,25
3	593,86	583,11	448,79	527,27	0,00	0,00	1,77	0,97
4	270,47	263,74	109,26	149,58	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	234,14	225,97	69,90	112,08	0,00	0,00	0,00	0,00
11	473,33	458,69	362,01	414,81	0,00	0,00	0,21	0,00
12	556,85	537,92	469,59	504,52	0,00	0,00	0,87	0,00
<b>Ukupno</b>	<b>3664,95</b>	<b>3596,93</b>	<b>2809,70</b>	<b>3175,13</b>	<b>23,91</b>	<b>4,44</b>	<b>11,12</b>	<b>18,45</b>

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati toplinskih gubitaka podsustava predaje za Zagreb (70 kWh/m<sup>2</sup> i 10 kWh/m<sup>2</sup>).

**Tablica 3. Rezultati - toplinski gubici podsustava predaje (Zagreb)**

Mjesec	ZAGREB (70 kWh/m <sup>2</sup> )				ZAGREB (10 kWh/m <sup>2</sup> )			
	$Q_{em,ls}$ [kWh]				$Q_{em,ls}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	144,83	138,57	130,57	140,91	4,93	0,00	1,66	0,38
2	118,67	114,19	104,89	114,09	0,00	3,92	0,77	0,08
3	72,44	70,90	52,32	63,96	0,00	0,00	0,38	0,06
4	41,26	39,88	14,35	23,13	0,00	0,00	0,00	0,00

5	12,28	9,72	5,02	7,79	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,78	1,99	0,00	0,00	0,00	0,00
10	41,25	39,73	18,88	25,23	0,00	0,00	0,00	0,00
11	59,16	56,25	41,31	52,78	0,00	0,00	0,00	0,00
12	116,97	111,40	103,25	112,73	0,00	0,00	0,55	0,40
<b>Ukupno</b>	<b>602,99</b>	<b>581,11</b>	<b>471,36</b>	<b>542,60</b>	<b>4,57</b>	<b>0,94</b>	<b>3,35</b>	<b>0,93</b>

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati toplinskih gubitaka podsustava predaje za Split (70 kWh/m<sup>2</sup> i 10 kWh/m<sup>2</sup>).

**Tablica 4. Rezultati - toplinski gubici podsustava predaje (Split)**

Mjesec	SPLIT (70 kWh/m <sup>2</sup> )				SPLIT (10 kWh/m <sup>2</sup> )			
	$Q_{em,ls}$ [kWh]				$Q_{em,ls}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	143,83	139,09	125,23	135,66	5,12	0,00	1,07	1,47
2	135,43	131,89	116,36	126,82	0,00	3,58	0,41	1,66
3	106,26	104,34	80,30	94,35	0,00	0,00	0,32	0,17
4	48,40	47,19	19,55	26,77	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	41,90	40,43	12,51	20,05	0,00	0,00	0,00	0,00
11	84,70	82,08	64,78	74,23	0,00	0,00	0,04	0,00
12	99,64	96,25	84,03	90,28	0,00	0,00	0,16	0,00
<b>Ukupno</b>	<b>655,80</b>	<b>643,63</b>	<b>502,76</b>	<b>568,15</b>	<b>4,28</b>	<b>0,79</b>	<b>1,99</b>	<b>3,30</b>

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati toplinske energije koju je potrebno isporučiti podsustavu predaje za Zagreb (70 kWh/m<sup>2</sup> i 10 kWh/m<sup>2</sup>).

**Tablica 5. Rezultati - toplinska energija koju je potrebno isporučiti podsustavu predaje (Zagreb)**

Mjesec	ZAGREB (70 kWh/m <sup>2</sup> )				ZAGREB (10 kWh/m <sup>2</sup> )			
	$Q_{em,in}$ [kWh]				$Q_{em,in}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	954,21	912,94	860,30	928,36	32,48	0,00	10,93	2,50
2	781,88	752,34	691,04	751,66	0,00	25,84	5,06	0,56

3	477,29	467,12	344,73	421,38	0,00	0,00	2,49	0,40
4	271,86	262,74	94,51	152,38	0,00	0,00	0,00	0,00
5	80,90	64,07	33,10	51,33	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	5,14	13,13	0,00	0,00	0,00	0,00
10	271,80	261,78	124,37	166,23	0,00	0,00	0,00	0,00
11	389,78	370,63	272,14	347,75	0,00	0,00	0,00	0,00
12	770,65	733,94	680,27	742,72	0,00	0,00	3,61	2,64
<b>Ukupno</b>	<b>3998,38</b>	<b>3825,56</b>	<b>3105,60</b>	<b>3574,93</b>	<b>32,48</b>	<b>25,84</b>	<b>22,09</b>	<b>6,10</b>

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati toplinske energije koju je potrebno isporučiti podsustavu predaje za Split (70 kWh/m<sup>2</sup> i 10 kWh/m<sup>2</sup>).

**Tablica 6. Rezultati - toplinska energija koju je potrebno isporučiti podsustavu predaje (Split)**

Mjesec	SPLIT (70 kWh/m <sup>2</sup> )				SPLIT (10 kWh/m <sup>2</sup> )			
	$Q_{em,in}$ [kWh]				$Q_{em,in}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	947,65	916,38	825,09	893,79	33,77	0,00	7,06	9,70
2	892,27	868,98	766,65	835,57	0,00	23,61	2,69	10,91
3	700,13	687,45	529,09	621,61	0,00	0,00	2,08	1,14
4	318,87	310,93	128,81	176,34	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	276,04	266,40	82,41	132,13	0,00	0,00	0,00	0,00
11	558,02	540,77	426,79	489,03	0,00	0,00	0,25	0,00
12	656,50	634,17	553,62	594,80	0,00	0,00	1,03	0,00
<b>Ukupno</b>	<b>4349,47</b>	<b>4240,56</b>	<b>3312,46</b>	<b>3743,28</b>	<b>33,77</b>	<b>23,61</b>	<b>13,10</b>	<b>21,75</b>

#### 4.2. Podsustav razvoda - grijanje

U ovome poglavlju prikazani su rezultati proračuna u podsustavu razvoda grijanja. Proračun M1 daje najviše vrijednosti toplinske energije koju je potrebno isporučiti razvodu grijanja, a

od tog proračuna najviše odstupaju rezultati proračuna S1 (19 do 23%). Kod godišnje potrebne energije za grijanje od  $10 \text{ kWh/m}^2$  prema mjesečnim proračunima nije potrebno uopće (iskorišteni gubici pokrivaju ionako malu potrebu za grijanjem) isporučivati toplinsku energiju podsustavu razvoda, dok se kod satnih proračuna ipak pojavljuju neke male vrijednosti.

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati toplinske energije koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda grijanja za Zagreb ( $70 \text{ kWh/m}^2$  i  $10 \text{ kWh/m}^2$ ).

**Tablica 7. Rezultati - toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda grijanja (Zagreb)**

Mjesec	ZAGREB ( $70 \text{ kWh/m}^2$ )				ZAGREB ( $10 \text{ kWh/m}^2$ )			
	$Q_{H,dis,in}$ [kWh]				$Q_{H,dis,in}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	1163,82	1115,36	1053,76	1133,36	0,00	0,00	22,58	2,09
2	957,18	922,37	848,72	921,15	0,00	0,00	14,28	0,32
3	597,86	585,60	432,93	528,26	0,00	0,00	6,25	0,01
4	339,24	328,29	125,11	193,60	0,00	0,00	0,00	0,00
5	102,97	82,24	40,76	65,43	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,25	0,00	9,10	17,28	0,00	0,00	0,00	0,00
10	339,97	327,90	158,96	211,73	0,00	0,00	0,00	0,00
11	491,43	468,19	349,30	439,14	0,00	0,00	0,00	0,00
12	947,63	904,19	840,73	914,43	0,00	0,00	13,69	2,23
<b>Ukupno</b>	<b>4940,36</b>	<b>4734,15</b>	<b>3859,38</b>	<b>4424,39</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>56,80</b>	<b>4,66</b>

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati toplinske energije koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda grijanja za Split ( $70 \text{ kWh/m}^2$  i  $10 \text{ kWh/m}^2$ ).

**Tablica 8. Rezultati - toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda grijanja (Split)**

Mjesec	SPLIT ( $70 \text{ kWh/m}^2$ )				SPLIT ( $10 \text{ kWh/m}^2$ )			
	$Q_{H,dis,in}$ [kWh]				$Q_{H,dis,in}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	1156,12	1119,40	1011,37	1092,58	0,00	0,00	25,37	35,14
2	1086,85	1059,55	940,02	1020,01	0,00	0,00	20,48	35,87
3	864,10	849,05	657,52	769,79	0,00	0,00	6,98	10,44
4	396,38	386,90	164,68	224,25	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	344,25	332,69	109,04	169,80	0,00	0,00	0,00	0,00
11	693,90	673,26	537,55	610,80	0,00	0,00	0,12	0,00
12	812,26	785,69	688,08	738,44	0,00	0,00	3,71	0,00
<b>Ukupno</b>	<b>5353,88</b>	<b>5206,54</b>	<b>4108,26</b>	<b>4625,67</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>56,66</b>	<b>81,44</b>

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati toplinskih gubitaka razvoda grijanja za Zagreb (70 kWh/m<sup>2</sup> i 10 kWh/m<sup>2</sup>).

**Tablica 9. Rezultati - toplinski gubici razvoda grijanja (Zagreb)**

Mjesec	ZAGREB (70 kWh/m <sup>2</sup> )				ZAGREB (10 kWh/m <sup>2</sup> )			
	$Q_{H,dis,ls}$ [kWh]				$Q_{H,dis,ls}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	220,88	213,50	204,30	216,15	0,00	0,00	12,29	0,00
2	185,11	179,70	167,06	179,16	0,00	0,00	9,62	0,00
3	129,64	127,51	96,66	115,69	0,00	0,00	4,05	0,00
4	72,18	70,31	34,73	46,35	0,00	0,00	0,00	0,00
5	24,21	20,24	9,34	16,25	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,50	0,00	5,09	5,32	0,00	0,00	0,00	0,00
10	73,18	71,10	39,75	50,84	0,00	0,00	0,00	0,00
11	110,10	105,91	85,06	99,64	0,00	0,00	0,00	0,00
12	187,41	180,50	170,47	182,01	0,00	0,00	10,50	0,00
<b>Ukupno</b>	<b>1003,21</b>	<b>968,76</b>	<b>812,46</b>	<b>911,41</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>36,46</b>	<b>0,00</b>

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati toplinskih gubitaka razvoda grijanja za Split (70 kWh/m<sup>2</sup> i 10 kWh/m<sup>2</sup>).

**Tablica 10. Rezultati - toplinski gubici razvoda grijanja (Split)**

Mjesec	SPLIT (70 kWh/m <sup>2</sup> )				SPLIT (10 kWh/m <sup>2</sup> )			
	$Q_{H,dis,ls}$ [kWh]				$Q_{H,dis,ls}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	219,71	214,12	196,96	209,78	0,00	0,00	19,03	26,18
2	204,90	200,77	183,11	194,50	0,00	0,00	18,06	25,78

3	174,07	171,64	137,73	157,91	0,00	0,00	5,05	9,44
4	82,75	81,16	40,90	53,89	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	73,03	71,06	31,20	43,62	0,00	0,00	0,00	0,00
11	145,09	141,63	119,38	130,66	0,00	0,00	0,00	0,00
12	165,66	161,31	143,88	153,25	0,00	0,00	2,82	0,00
<b>Ukupno</b>	<b>1065,22</b>	<b>1041,70</b>	<b>853,16</b>	<b>943,61</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>44,96</b>	<b>61,40</b>

### 4.3. Podsustav proizvodnje - kotao na biomasu

U ovome poglavlju prikazani su rezultati proračuna u podsustavu proizvodnje (kotao na biomasu). Proračun M1 daje najviše vrijednosti toplinske energije koju je potrebno kotlom na biomasu isporučiti podsustavima razvoda, a od tog proračuna najviše odstupaju rezultati proračuna S1 (do 20%). Zbog bolje podrške solarnog sustava u Splitu očekivano su veće vrijednosti podrške kotla na biomasu za klimatsko područje Zagreba u odnosu na Split.

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati toplinske energije koju je potrebno isporučiti podsustavima razvoda kotlom na biomasu za Zagreb ( $70 \text{ kWh/m}^2$  i  $10 \text{ kWh/m}^2$ ).

**Tablica 11. Rezultati - toplinska energija koju je potrebno isporučiti podsustavima razvoda kotlom na biomasu (Zagreb)**

Mjesec	ZAGREB ( $70 \text{ kWh/m}^2$ )				ZAGREB ( $10 \text{ kWh/m}^2$ )			
	$Q_{HW,gen,out}$ [kWh]				$Q_{HW,gen,out}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	1593,82	1494,05	1521,00	1489,83	385,30	333,46	418,19	401,41
2	1259,74	1201,31	1072,55	1201,41	262,85	220,31	211,53	267,23
3	752,69	728,18	681,52	763,64	158,26	136,22	207,76	201,72
4	452,36	441,51	192,87	397,20	122,55	109,76	109,68	171,36
5	177,31	190,71	70,57	218,70	79,31	81,83	12,64	132,85
6	30,63	38,69	0,00	100,96	30,63	38,69	0,00	100,96
7	21,30	29,99	0,00	94,14	21,30	29,99	0,00	94,14
8	5,78	14,22	0,00	70,06	5,78	14,22	0,00	70,06
9	146,39	140,76	40,50	161,52	104,36	96,99	10,10	128,15
10	513,33	495,64	419,09	442,21	165,23	141,07	113,34	196,81

11	816,80	774,12	599,30	727,48	282,41	236,57	289,68	255,76
12	1377,63	1282,88	1301,70	1258,00	409,18	327,12	312,54	309,90
<b>Ukupno</b>	<b>7147,79</b>	<b>6832,07</b>	<b>5899,10</b>	<b>6925,14</b>	<b>2027,16</b>	<b>1766,24</b>	<b>1685,45</b>	<b>2330,35</b>

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati toplinske energije koju je potrebno isporučiti podsustavima razvoda kotlom na biomasu za Split ( $70 \text{ kWh/m}^2$  i  $10 \text{ kWh/m}^2$ ).

**Tablica 12. Rezultati - toplinska energija koju je potrebno isporučiti podsustavima razvoda kotlom na biomasu (Split)**

Mjesec	SPLIT ( $70 \text{ kWh/m}^2$ )				SPLIT ( $10 \text{ kWh/m}^2$ )			
	$Q_{HW,gen,out}$ [kWh]				$Q_{HW,gen,out}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	1454,71	1389,14	1284,84	1383,01	255,58	212,59	137,02	315,14
2	1264,28	1206,59	1180,97	1241,43	240,08	136,44	293,93	201,30
3	963,63	921,94	705,80	968,19	117,51	106,71	120,22	174,05
4	457,49	445,37	216,91	395,56	86,40	84,77	109,68	138,73
5	18,58	26,92	206,27	87,60	18,58	26,92	0,00	87,60
6	7,22	13,76	0,00	66,60	7,22	13,76	0,00	66,60
7	7,26	14,22	0,00	66,42	7,26	14,22	0,00	66,42
8	7,05	14,22	0,00	63,73	7,05	14,22	0,00	63,73
9	31,07	37,75	179,09	81,84	31,07	37,75	0,00	81,84
10	504,53	485,21	364,38	388,82	152,24	130,88	206,34	185,35
11	937,02	892,49	971,71	861,13	211,56	176,01	200,62	217,75
12	1095,11	1042,20	968,29	1012,56	242,89	201,82	302,74	240,45
<b>Ukupno</b>	<b>6747,95</b>	<b>6489,81</b>	<b>6078,25</b>	<b>6616,89</b>	<b>1377,44</b>	<b>1156,10</b>	<b>1370,54</b>	<b>1838,96</b>

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati ukupnih toplinskih gubitaka podsustava proizvodnje za Zagreb ( $70 \text{ kWh/m}^2$  i  $10 \text{ kWh/m}^2$ ).

**Tablica 13. Rezultati - ukupni toplinski gubici podsustava proizvodnje (Zagreb)**

Mjesec	ZAGREB ( $70 \text{ kWh/m}^2$ )				ZAGREB ( $10 \text{ kWh/m}^2$ )			
	$Q_{HW,gen,ls}$ [kWh]				$Q_{HW,gen,ls}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	323,41	310,13	321,12	309,57	99,90	92,97	115,22	103,72
2	268,18	260,40	245,55	260,41	78,85	73,17	76,94	79,70
3	211,44	208,18	204,05	212,90	69,56	66,62	81,64	75,53
4	167,87	166,42	133,32	160,58	63,23	61,52	64,16	69,75
5	134,84	136,63	77,37	97,09	59,02	59,35	31,28	47,34
6	111,73	112,80	0,00	55,30	50,95	52,03	0,00	31,71
7	114,07	115,23	0,00	55,79	51,26	52,43	0,00	31,41
8	112,01	113,13	0,00	46,41	49,19	50,32	0,00	25,50

9	127,14	126,39	59,22	87,29	60,80	59,82	24,78	45,76
10	179,58	177,22	168,36	170,11	70,49	67,27	66,29	74,71
11	216,39	210,70	188,09	204,49	84,59	78,46	93,49	81,03
12	294,63	282,02	290,59	278,71	103,09	92,12	98,38	90,63
<b>Ukupno</b>	<b>2261,28</b>	<b>2219,25</b>	<b>1687,68</b>	<b>1938,65</b>	<b>840,93</b>	<b>806,07</b>	<b>652,17</b>	<b>756,77</b>

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati ukupnih toplinskih gubitaka podsustava proizvodnje za Split (70 kWh/m<sup>2</sup> i 10 kWh/m<sup>2</sup>).

**Tablica 14. Rezultati - ukupni toplinski gubici podsustava proizvodnje (Split)**

Mjesec	SPLIT (70 kWh/m <sup>2</sup> )				SPLIT (10 kWh/m <sup>2</sup> )			
	$Q_{HW,gen,ls}$ [kWh]				$Q_{HW,gen,ls}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	304,90	296,17	286,58	295,35	82,56	76,82	69,46	91,24
2	268,78	261,10	261,33	265,74	75,81	61,96	90,40	70,74
3	239,52	233,97	205,20	240,13	64,12	62,67	67,21	71,68
4	168,55	166,94	136,53	160,31	58,40	58,18	64,16	65,39
5	113,71	114,82	34,63	54,92	50,90	52,02	0,00	30,53
6	108,61	109,48	0,00	44,75	47,82	48,70	0,00	24,52
7	112,20	113,13	0,00	45,92	49,39	50,32	0,00	25,01
8	112,18	113,13	0,00	45,56	49,36	50,32	0,00	24,65
9	111,79	112,68	29,82	34,82	51,01	51,90	0,00	21,35
10	178,40	175,83	160,69	163,00	68,76	65,90	81,46	73,18
11	232,39	226,46	240,75	222,29	75,12	70,37	78,95	75,95
12	257,02	249,98	244,04	246,03	80,87	75,38	97,20	80,62
<b>Ukupno</b>	<b>2208,05</b>	<b>2173,69</b>	<b>1599,57</b>	<b>1818,82</b>	<b>754,12</b>	<b>724,55</b>	<b>548,84</b>	<b>654,87</b>

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati toplinske energije koju je potrebno gorivom isporučiti podsustavu proizvodnje za Zagreb (70 kWh/m<sup>2</sup> i 10 kWh/m<sup>2</sup>).

**Tablica 15. Rezultati - toplinska energija koju je potrebno gorivom isporučiti podsustavu proizvodnje (Zagreb)**

Mjesec	ZAGREB (70 kWh/m <sup>2</sup> )				ZAGREB (10 kWh/m <sup>2</sup> )			
	$Q_{HW,gen,in}$ [kWh]				$Q_{HW,gen,in}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	1918,89	1805,83	1842,79	1800,98	487,91	428,84	528,76	507,46
2	1529,38	1463,15	1319,47	1463,21	344,82	295,12	288,43	348,73
3	965,32	937,52	885,97	977,65	229,05	203,90	288,21	278,60
4	621,03	608,71	326,55	558,76	186,74	172,15	174,39	242,28
5	312,49	327,71	148,08	316,16	138,96	141,83	46,25	181,07
6	142,42	151,57	0,00	156,44	81,82	91,03	0,00	133,35



7	135,42	145,29	0,62	150,10	72,74	82,66	1,12	126,19
8	117,80	127,38	0,00	116,59	55,02	64,66	0,00	96,04
9	273,74	267,43	100,32	249,10	165,99	157,58	37,13	174,76
10	693,80	673,73	587,53	613,03	237,00	209,44	181,32	272,87
11	1034,42	986,02	788,06	933,06	369,07	316,81	381,28	338,46
12	1673,89	1566,49	1592,38	1538,23	514,81	421,61	409,05	402,38
<b>Ukupno</b>	<b>9418,61</b>	<b>9060,82</b>	<b>7591,78</b>	<b>8873,30</b>	<b>2883,94</b>	<b>2585,63</b>	<b>2335,92</b>	<b>3102,19</b>

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati toplinske energije koju je potrebno gorivom isporučiti podsustavu proizvodnje za Split ( $70 \text{ kWh/m}^2$  i  $10 \text{ kWh/m}^2$ ).

**Tablica 16. Rezultati - toplinska energija koju je potrebno gorivom isporučiti podsustavu proizvodnje (Split)**

Mjesec	SPLIT ( $70 \text{ kWh/m}^2$ )				SPLIT ( $10 \text{ kWh/m}^2$ )			
	$Q_{HW,gen,in}$ [kWh]				$Q_{HW,gen,in}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	1761,24	1686,93	1571,92	1679,93	340,05	291,03	208,30	408,09
2	1534,53	1469,14	1442,93	1508,59	316,73	199,46	381,75	273,27
3	1204,54	1157,26	912,11	1209,64	182,34	170,23	188,06	246,82
4	626,85	613,09	353,81	556,51	145,49	143,63	173,31	205,05
5	132,33	141,80	240,13	142,68	69,63	79,16	0,00	118,74
6	115,84	123,27	0,00	111,46	55,10	62,57	0,00	91,57
7	119,48	127,38	0,00	112,46	56,71	64,66	0,00	91,89
8	119,24	127,38	0,00	109,41	56,47	64,66	0,00	88,82
9	142,92	150,51	208,36	116,80	82,33	89,96	0,00	103,74
10	683,81	661,89	524,68	552,47	222,18	197,81	287,65	259,81
11	1170,76	1120,26	1212,87	1084,65	288,28	247,73	278,37	295,17
12	1353,62	1293,63	1213,38	1259,98	325,59	278,75	395,66	322,66
<b>Ukupno</b>	<b>8965,16</b>	<b>8672,55</b>	<b>7680,19</b>	<b>8444,58</b>	<b>2140,90</b>	<b>1889,64</b>	<b>1913,12</b>	<b>2505,63</b>

#### 4.4. Podsustav razvoda - potrošna topla voda (PTV)

U ovome poglavlju prikazani su rezultati proračuna u podsustavu razvoda PTV-a. Rezultati su gotovo identični i za mjesečne i satne proračune (odstupanja su manja od 0,2%).

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati toplinskih gubitaka podsustava razvoda PTV-a za Zagreb ( $70 \text{ kWh/m}^2$  i  $10 \text{ kWh/m}^2$ ).

**Tablica 17. Rezultati - toplinski gubici podsustava razvoda PTV-a (Zagreb)**

Mjesec	ZAGREB (70 kWh/m <sup>2</sup> )				ZAGREB (10 kWh/m <sup>2</sup> )			
	$Q_{W,dis,ls}$ [kWh]				$Q_{W,dis,ls}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27
2	36,37	36,37	36,37	36,37	36,37	36,37	36,37	36,37
3	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27
4	38,97	38,97	38,97	38,97	38,97	38,97	38,97	38,97
5	40,27	40,27	39,97	39,97	40,27	40,27	39,97	39,97
6	37,82	37,82	37,82	37,82	37,82	37,82	37,82	37,82
7	39,08	39,08	39,08	39,08	39,08	39,08	39,08	39,08
8	39,08	39,08	39,08	39,08	39,08	39,08	39,08	39,08
9	38,97	38,97	38,54	38,54	38,97	38,97	38,54	38,54
10	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27
11	38,97	38,97	38,97	38,97	38,97	38,97	38,97	38,97
12	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27
<b>Ukupno</b>	<b>470,64</b>	<b>470,64</b>	<b>469,91</b>	<b>469,91</b>	<b>470,64</b>	<b>470,64</b>	<b>469,91</b>	<b>469,91</b>

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati toplinskih gubitaka podsustava razvoda PTV-a za Split (70 kWh/m<sup>2</sup> i 10 kWh/m<sup>2</sup>).

**Tablica 18. Rezultati - toplinski gubici podsustava razvoda PTV-a (Split)**

Mjesec	SPLIT (70 kWh/m <sup>2</sup> )				SPLIT (10 kWh/m <sup>2</sup> )			
	$Q_{W,dis,ls}$ [kWh]				$Q_{W,dis,ls}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27
2	36,37	36,37	36,37	36,37	36,37	36,37	36,37	36,37
3	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27
4	38,97	38,97	38,97	38,97	38,97	38,97	38,97	38,97
5	39,08	39,08	39,08	39,08	39,08	39,08	39,08	39,08
6	37,82	37,82	37,82	37,82	37,82	37,82	37,82	37,82
7	39,08	39,08	39,08	39,08	39,08	39,08	39,08	39,08
8	39,08	39,08	39,08	39,08	39,08	39,08	39,08	39,08
9	37,82	37,82	37,82	37,82	37,82	37,82	37,82	37,82
10	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27
11	38,97	38,97	38,97	38,97	38,97	38,97	38,97	38,97
12	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27	40,27
<b>Ukupno</b>	<b>468,29</b>	<b>468,29</b>	<b>468,29</b>	<b>468,29</b>	<b>468,29</b>	<b>468,29</b>	<b>468,29</b>	<b>468,29</b>

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati toplinske energije koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda PTV-a za Zagreb (70 kWh/m<sup>2</sup> i 10 kWh/m<sup>2</sup>).

**Tablica 19. Rezultati - toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda PTV-a (Zagreb)**

Mjesec	ZAGREB (70 kWh/m <sup>2</sup> )				ZAGREB (10 kWh/m <sup>2</sup> )			
	$Q_{W,dis,in}$ [kWh]				$Q_{W,dis,in}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58
2	264,27	264,27	264,27	264,27	264,27	264,27	264,27	264,27
3	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58
4	283,14	283,14	283,14	283,14	283,14	283,14	283,14	283,14
5	292,58	292,58	292,29	292,29	292,58	292,58	292,29	292,29
6	282,00	282,00	282,00	282,00	282,00	282,00	282,00	282,00
7	291,40	291,40	291,40	291,40	291,40	291,40	291,40	291,40
8	291,40	291,40	291,40	291,40	291,40	291,40	291,40	291,40
9	283,14	283,14	282,71	282,71	283,14	283,14	282,71	282,71
10	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58
11	283,14	283,14	283,14	283,14	283,14	283,14	283,14	283,14
12	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58
<b>Ukupno</b>	<b>3441,40</b>	<b>3441,40</b>	<b>3440,67</b>	<b>3440,67</b>	<b>3441,40</b>	<b>3441,40</b>	<b>3440,67</b>	<b>3440,67</b>

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati toplinske energije koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda PTV-a za Split (70 kWh/m<sup>2</sup> i 10 kWh/m<sup>2</sup>).

**Tablica 20. Rezultati - toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda PTV-a (Split)**

Mjesec	SPLIT (70 kWh/m <sup>2</sup> )				SPLIT (10 kWh/m <sup>2</sup> )			
	$Q_{W,dis,in}$ [kWh]				$Q_{W,dis,in}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58
2	264,27	264,27	264,27	264,27	264,27	264,27	264,27	264,27
3	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58
4	283,14	283,14	283,14	283,14	283,14	283,14	283,14	283,14
5	291,40	291,40	291,40	291,40	291,40	291,40	291,40	291,40
6	282,00	282,00	282,00	282,00	282,00	282,00	282,00	282,00
7	291,40	291,40	291,40	291,40	291,40	291,40	291,40	291,40
8	291,40	291,40	291,40	291,40	291,40	291,40	291,40	291,40
9	282,00	282,00	282,00	282,00	282,00	282,00	282,00	282,00
10	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58
11	283,14	283,14	283,14	283,14	283,14	283,14	283,14	283,14

12	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58
<b>Ukupno</b>	<b>3439,08</b>	<b>3439,08</b>	<b>3439,08</b>	<b>3439,08</b>	<b>3439,08</b>	<b>3439,08</b>	<b>3439,08</b>	<b>3439,08</b>

#### 4.5. Solarni sustav

U ovome poglavlju prikazani su rezultati proračuna solarnog sustava. Mjesečni proračuni daju više vrijednosti isporučene Sunčeve energije u odnosu na satne proračune, no izuzetak je proračun S1 za Split i Zagreb (kod 10 kWh/m<sup>2</sup>). Razlog tome su problemi s iteracijskim proračunom u Ms Excelu kod proračuna S1. Različite vrijednosti mjesečnih i satnih proračuna su također rezultat načina na koji mjesečne metode dijele spremnik na dio namijenjen za solarnu potporu i dodatni generator, dok takve podjele nema kod satnih proračuna. Više vrijednosti isporučene Sunčeve energije očekivano se pojavljuju za klimatsko područje Splita u odnosu na Zagreb (odstupanje 20 do 27%). Također, zbog bolje podrške solarnog sustava u klimatskom području Splita manja je i toplinska energija koju je potrebno isporučiti dodatnim generatorom topline u odnosu na Zagreb.

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati isporučene Sunčeve energije u sustav (za grijanje i PTV) za Zagreb (70 kWh/m<sup>2</sup> i 10 kWh/m<sup>2</sup>).

**Tablica 21. Rezultati - isporučena Sunčeva energija u sustav (Zagreb)**

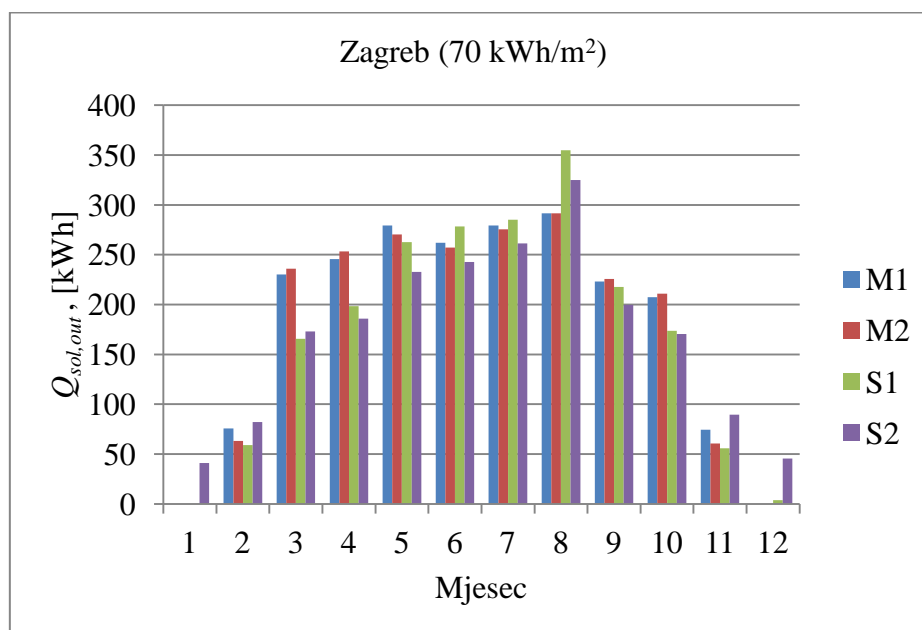
Mjesec	ZAGREB (70 kWh/m <sup>2</sup> )				ZAGREB (10 kWh/m <sup>2</sup> )			
	$Q_{sol,out}$ [kWh]				$Q_{sol,out}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	0,00	0,00	0,00	41,02	0,00	0,00	12,92	41,02
2	75,75	63,11	58,92	82,17	70,92	80,89	65,30	82,17
3	230,14	236,11	165,76	172,90	188,76	197,24	211,13	172,90
4	245,72	253,26	198,33	186,00	208,16	212,95	232,09	186,00
5	279,30	270,21	262,63	232,91	254,30	251,63	307,29	232,91
6	261,88	257,07	278,46	242,70	261,88	257,07	308,73	242,70
7	279,18	275,63	285,01	261,46	279,18	275,63	325,04	261,46
8	291,40	291,40	354,63	324,86	291,40	291,40	371,77	324,86
9	223,00	225,71	217,75	199,61	223,41	225,71	268,31	199,61
10	207,48	210,95	173,64	170,36	183,19	192,39	211,03	170,36
11	74,41	60,54	55,91	89,61	75,50	86,13	80,40	89,61
12	0,00	0,00	3,81	45,71	5,04	6,34	10,59	45,71
<b>Ukupno</b>	<b>2168,26</b>	<b>2144,01</b>	<b>2054,85</b>	<b>2049,32</b>	<b>2041,74</b>	<b>2077,39</b>	<b>2404,59</b>	<b>2049,32</b>

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati isporučene Sunčeve energije u sustav (za grijanje i PTV) za Split ( $70 \text{ kWh/m}^2$  i  $10 \text{ kWh/m}^2$ ).

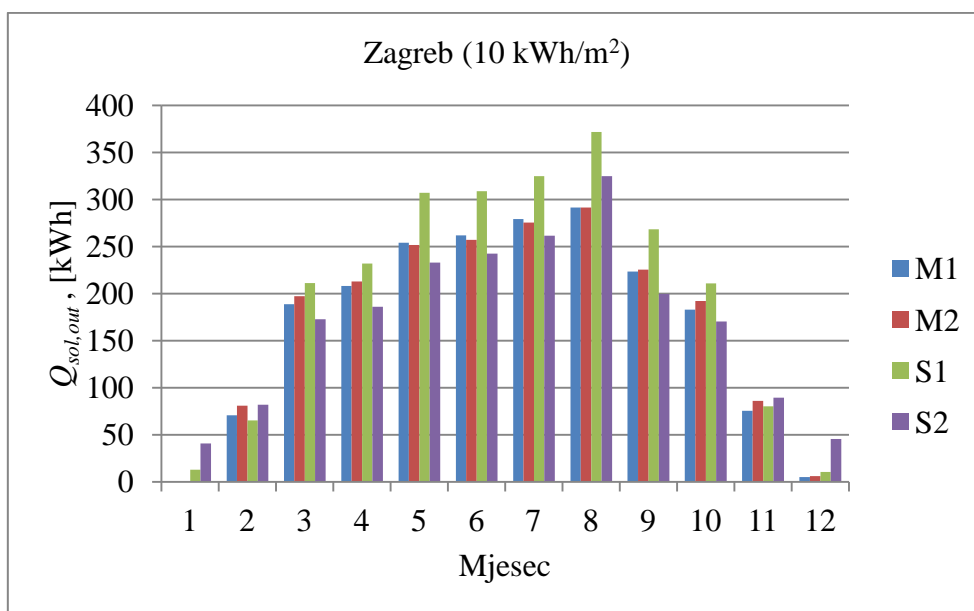
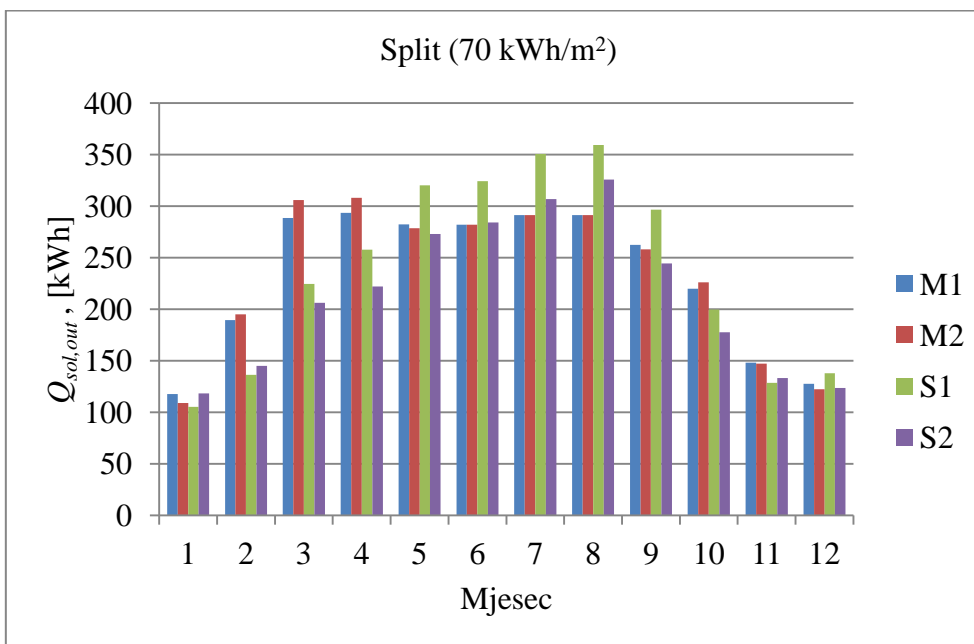
**Tablica 22. Rezultati - isporučena Sunčeva energija u sustav (Split)**

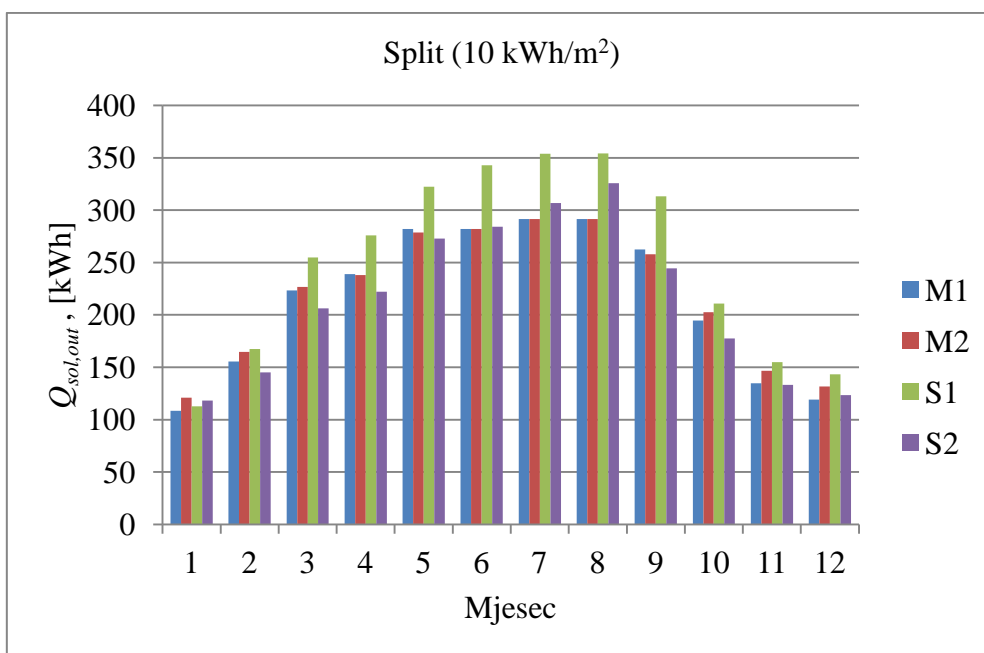
Mjesec	SPLIT ( $70 \text{ kWh/m}^2$ )				SPLIT ( $10 \text{ kWh/m}^2$ )			
	$Q_{sol,out}$ [kWh]				$Q_{sol,out}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	117,60	108,95	105,36	118,31	108,49	120,87	112,75	118,31
2	189,55	195,00	136,34	145,08	155,54	164,75	167,41	145,08
3	288,59	305,81	224,48	206,22	223,24	226,76	254,96	206,22
4	293,51	308,00	257,87	222,13	238,82	237,93	275,89	222,13
5	282,17	278,70	320,12	272,95	282,17	278,70	322,54	272,95
6	282,00	282,00	324,12	284,19	282,00	282,00	342,92	284,19
7	291,40	291,40	350,71	306,96	291,40	291,40	354,00	306,96
8	291,40	291,40	359,23	325,84	291,40	291,40	354,34	325,84
9	262,40	258,01	296,75	244,40	262,40	258,01	313,09	244,40
10	219,77	226,18	199,62	177,51	194,63	202,58	210,92	177,51
11	148,20	147,25	128,52	133,17	134,87	146,70	154,82	133,17
12	127,52	122,18	138,01	123,45	119,12	131,64	143,33	123,45
<b>Ukupno</b>	<b>2794,11</b>	<b>2814,88</b>	<b>2841,12</b>	<b>2560,21</b>	<b>2584,08</b>	<b>2632,74</b>	<b>3006,99</b>	<b>2560,21</b>

Zbog bolje vizualne usporedbe rezultata isporučene Sunčeve energije u sustav na sljedećim slikama nalaze se dijagramski prikazi za Zagreb ( $70 \text{ kWh/m}^2$  i  $10 \text{ kWh/m}^2$ ) i Split ( $70 \text{ kWh/m}^2$  i  $10 \text{ kWh/m}^2$ ).



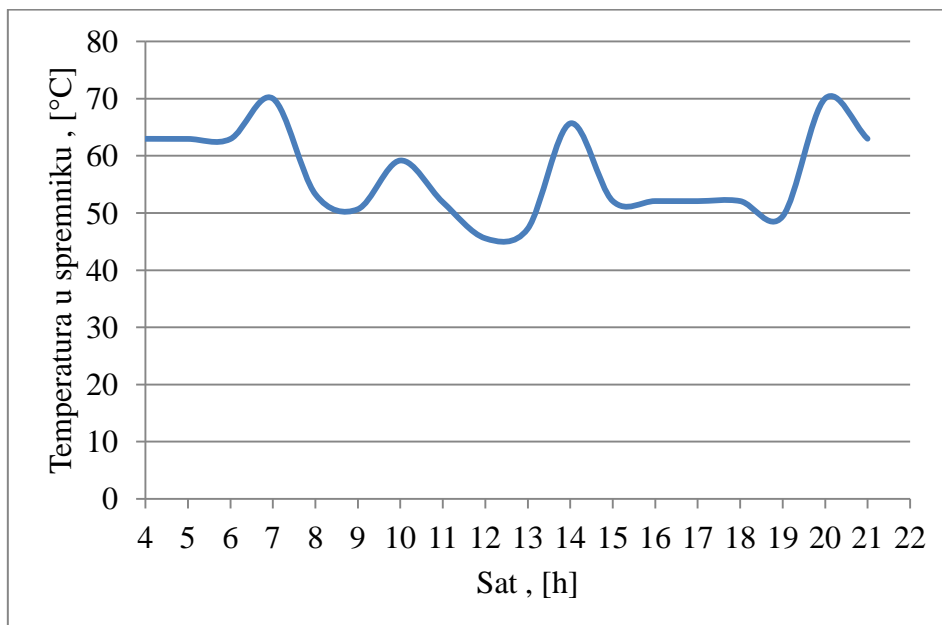
**Slika 8. Rezultati - isporučena Sunčeva energija u sustav (Zagreb,  $70 \text{ kWh/m}^2$ )**

Slika 9. Rezultati - isporučena Sunčeva energija u sustav (Zagreb, 10 kWh/m<sup>2</sup>)Slika 10. Rezultati - isporučena Sunčeva energija u sustav (Split, 70 kWh/m<sup>2</sup>)

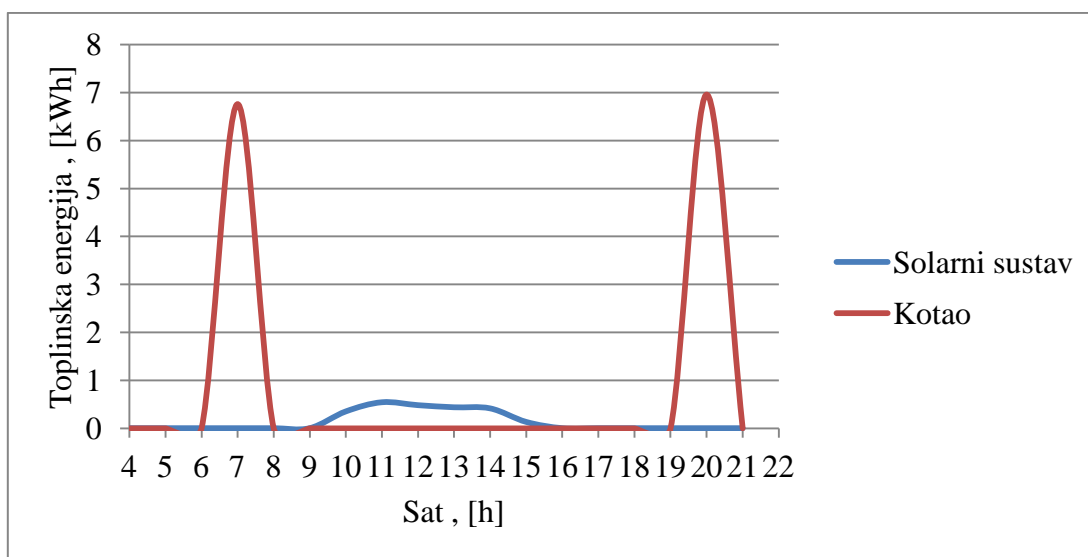


Slika 11. Rezultati - isporučena Sunčeva energija u sustav (Split, 10 kWh/m<sup>2</sup>)

Na sljedeće četiri slike nalaze se dijagramski prikazi temperature vode u spremniku te podrške solarnog sustava i kotla na biomasu kod satnog proračuna S1 gdje je korištena metoda jednog volumena.

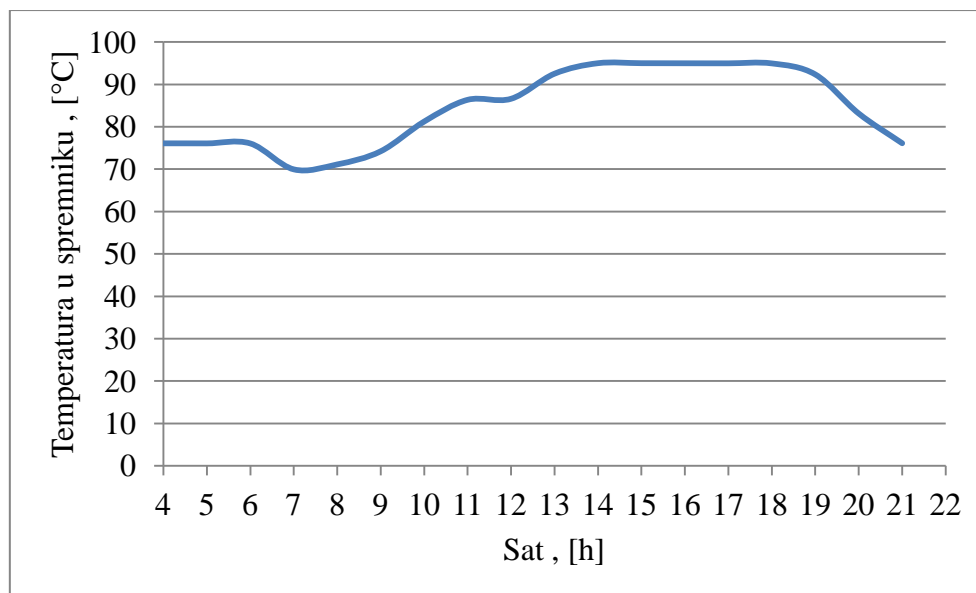


Slika 12. Temperatura vode u spremniku - (proračun S1, karakterističan dan u veljači)



**Slika 13. Podrška solarnog sustava i kotla na biomasu - (proračun S1, karakterističan dan u veljači)**

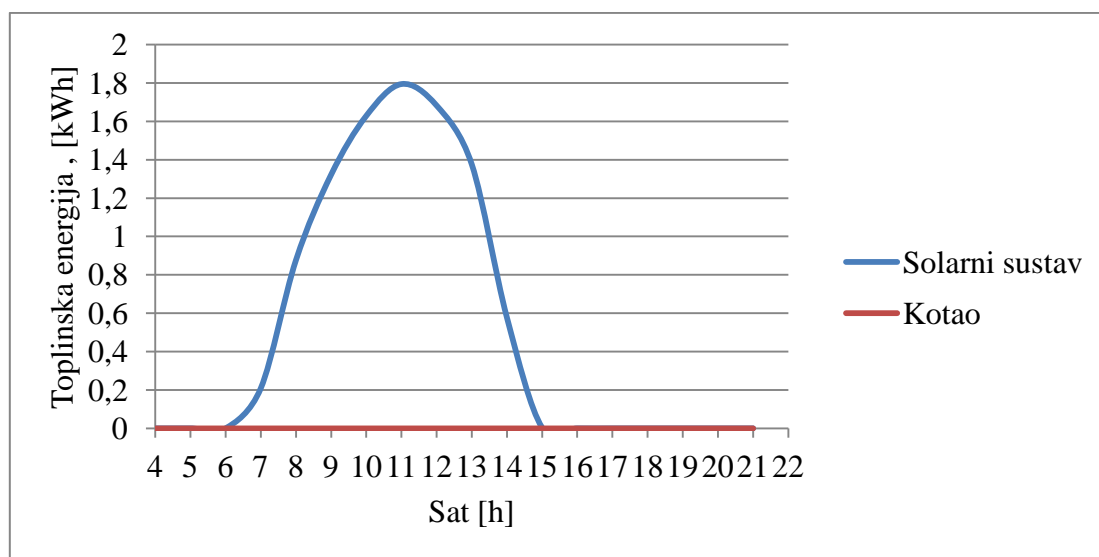
Na dijagramu iznad vidljiv je nedostatak solarne podrške u veljači te kotao mora održavati temperaturu iznad  $45^{\circ}\text{C}$ . Temperatura se kreće od  $45^{\circ}$  do  $70^{\circ}\text{C}$  što je definirano minimalnom potrebnom temperaturom za PTV i postavnom temperaturom kotla.



**Slika 14. Temperatura vode u spremniku - (proračun S1, karakterističan dan u kolovozu)**

Na dijagramu iznad vidljivo je da zahvaljujući dobroj solarnoj podršci u kolovozu temperatura u spremniku poprima vrlo visoke vrijednosti (iznad  $70^{\circ}\text{C}$ ).

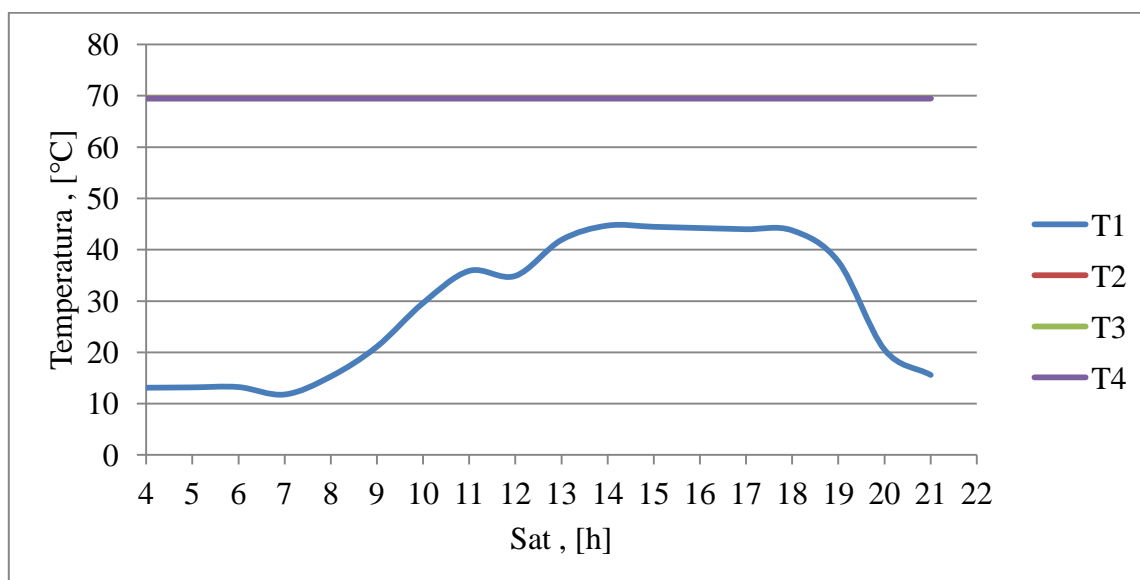




**Slika 15. Podrška solarnog sustava i kotla na biomasu - (proračun S1, karakterističan dan u kolovozu)**

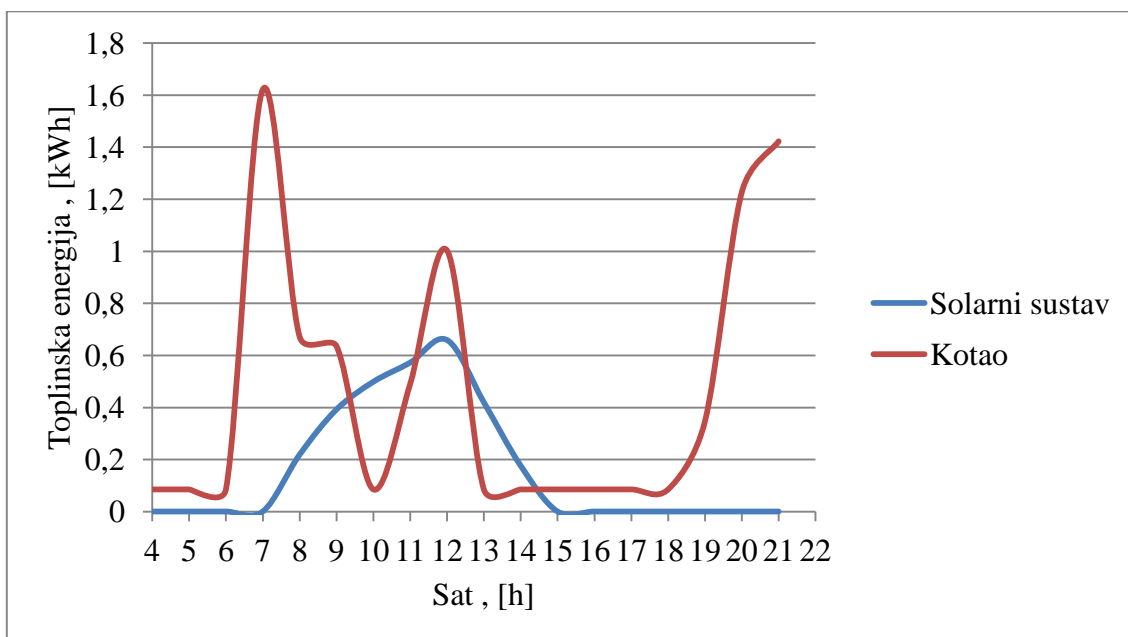
Na dijagramu iznad vidljivo je da nema paljenja kotla u kolovozu te je solarna podrška dovoljna za pokrivanje potreba za PTV-om. Temperatura raste i do 95°C što je postavljeno kao maksimalna temperatura u spremniku (ograničenje solarnog sustava).

Na sljedeće četiri slike nalaze se dijagramski prikazi temperature vode u spremniku te podrške solarnog sustava i kotla na biomasu kod satnog proračuna S2 gdje je korištena metoda više volumnih dijelova.



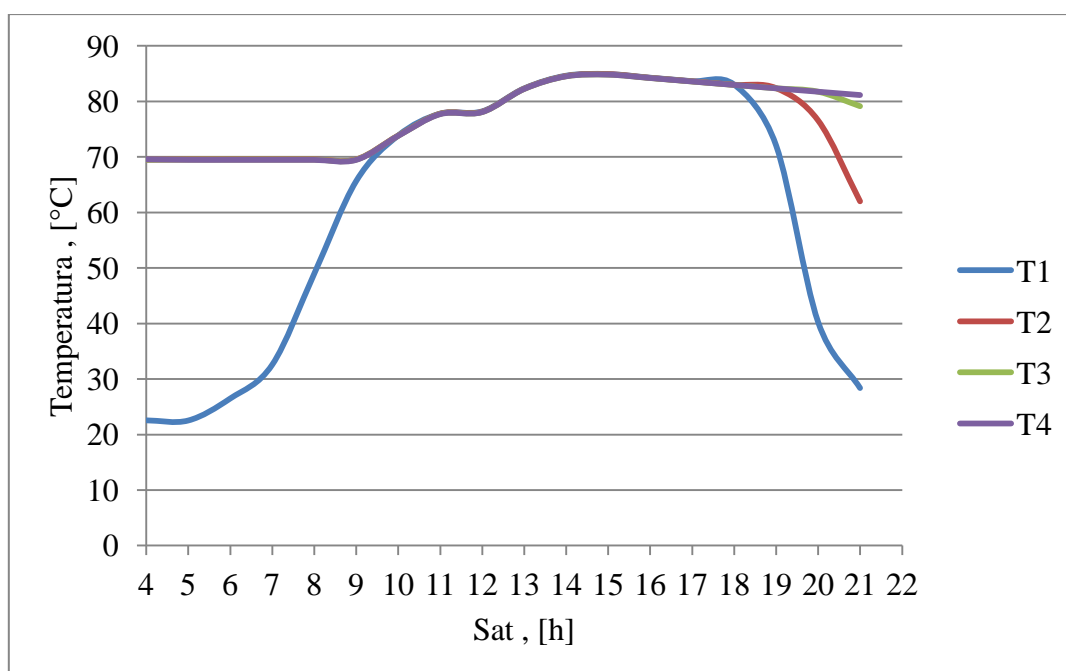
**Slika 16. Temperatura vode u spremniku - (proračun S2, karakterističan dan u veljači)**

Na dijagramu iznad vidljivo je da samo u najdonjem promatranom volumenu spremnika postoji varijacija temperature u veljači, dok je u gornja tri volumena temperatura gotovo jednaka.



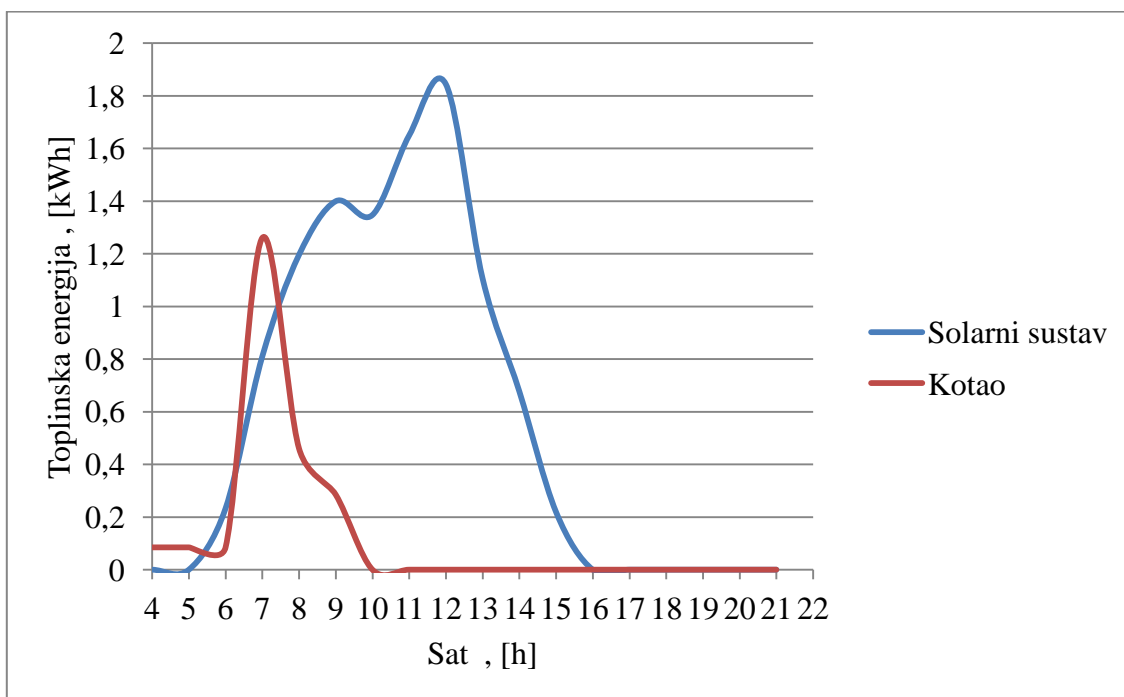
**Slika 17. Podrška solarnog sustava i kotla na biomasu (proračun S2, karakterističan dan u veljači)**

Na gornjem dijagramu vidi se nedostatak solarne podrške u veljači te često paljenje kotla koji se pali u trenucima potrošnje te podiže temperaturu do postavne temperature od 70°C.



**Slika 18. Temperatura vode u spremniku - (proračun S2, karakterističan dan u kolovozu)**

Na dijagramu iznad vidljivo je da samo u najdonjem promatranom volumenu spremnika postoji varijacija temperature u kolovozu, dok je u gornja tri volumena temperatura gotovo jednaka. Na kraju dana javljaju se veće razlike temperature u gornja tri volumena budući da se ne pali kotao, a solarna podrška je dovoljna za pokrivanje PTV-a.



**Slika 19. Podrška solarnog sustava i kotla na biomasu - (proračun S2, karakterističan dan u kolovozu)**

Na gornjem dijagramu vidljivo je da je solarna podrška u kolovozu dovoljna za pokrivanje potreba za PTV-om, dok je paljenje kotla prisutno jedino u jutarnjim satima.

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati toplinskih gubitaka spremnika za Zagreb ( $70 \text{ kWh/m}^2$  i  $10 \text{ kWh/m}^2$ ).

**Tablica 23. Rezultati - toplinski gubici spremnika (Zagreb)**

Mjesec	ZAGREB ( $70 \text{ kWh/m}^2$ )				ZAGREB ( $10 \text{ kWh/m}^2$ )			
	$Q_{sto,ls}$ [kWh]				$Q_{sto,ls}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	0,00	14,22	52,42	46,81	0,00	14,22	38,49	46,81
2	7,71	12,97	44,56	45,35	14,60	14,33	36,32	45,35
3	35,24	16,49	53,45	55,44	38,86	34,82	46,34	55,44
4	51,74	19,60	54,15	54,63	42,85	40,84	46,95	54,63
5	93,45	39,13	57,91	58,73	52,35	55,07	50,14	58,73
6	54,13	57,80	58,13	58,38	54,13	57,80	52,02	58,38
7	57,70	59,73	62,85	61,36	57,70	59,73	57,22	61,36

8	60,23	59,73	73,19	67,36	60,23	59,73	70,11	67,36
9	97,79	45,65	54,04	56,30	45,99	45,65	47,06	56,30
10	44,38	17,89	55,63	55,73	37,71	33,43	45,10	55,73
11	12,78	13,76	51,57	49,33	15,54	15,31	40,17	49,33
12	0,00	14,22	50,25	47,66	1,04	14,02	38,39	47,66
<b>Ukupno</b>	<b>515,14</b>	<b>371,17</b>	<b>668,13</b>	<b>657,10</b>	<b>421,00</b>	<b>444,94</b>	<b>568,31</b>	<b>657,10</b>

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati toplinskih gubitaka spremnika za Split ( $70 \text{ kWh/m}^2$  i  $10 \text{ kWh/m}^2$ ).

**Tablica 24. Rezultati - toplinski gubici spremnika (Split)**

Mjesec	SPLIT ( $70 \text{ kWh/m}^2$ )				SPLIT ( $10 \text{ kWh/m}^2$ )			
	$Q_{sto,ls}$ [kWh]				$Q_{sto,ls}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	11,29	14,43	47,11	51,43	22,33	19,12	41,41	51,43
2	17,46	13,48	46,60	49,52	32,02	27,78	42,38	49,52
3	34,18	16,63	57,49	56,93	45,96	44,66	51,26	56,93
4	56,76	21,33	58,78	56,72	49,16	50,77	50,36	56,72
5	58,32	59,73	65,42	62,41	58,32	59,73	60,67	62,41
6	58,29	57,80	62,84	62,46	58,29	57,80	62,24	62,46
7	60,23	59,73	67,76	65,95	60,23	59,73	67,86	65,95
8	60,23	59,73	74,43	67,98	60,23	59,73	74,94	67,98
9	54,23	57,80	60,51	60,26	54,23	57,80	55,07	60,26
10	46,70	18,53	52,58	56,39	40,07	36,42	47,85	56,39
11	20,26	14,32	50,59	51,88	27,76	23,19	41,83	51,88
12	16,01	14,51	45,76	52,55	24,52	20,62	40,85	52,55
<b>Ukupno</b>	<b>493,96</b>	<b>408,01</b>	<b>689,87</b>	<b>694,50</b>	<b>533,13</b>	<b>517,34</b>	<b>636,72</b>	<b>694,50</b>

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati toplinske energije koju je potrebno dovesti dodatnim generatorom topline u termotehnički sustav zgrade za Zagreb ( $70 \text{ kWh/m}^2$  i  $10 \text{ kWh/m}^2$ ).

**Tablica 25. Rezultati - toplinska energija koju je potrebno dovesti dodatnim generatorom topline u termotehnički sustav zgrade (Zagreb)**

Mjesec	ZAGREB ( $70 \text{ kWh/m}^2$ )				ZAGREB ( $10 \text{ kWh/m}^2$ )			
	$Q_{bu}$ [kWh]				$Q_{bu}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	1521,93	1422,16	1463,40	1435,83	358,64	306,80	301,58	350,41
2	1194,80	1136,37	1023,58	1152,63	238,77	196,22	266,28	231,80
3	680,80	656,29	432,93	709,64	131,60	109,56	192,25	181,39

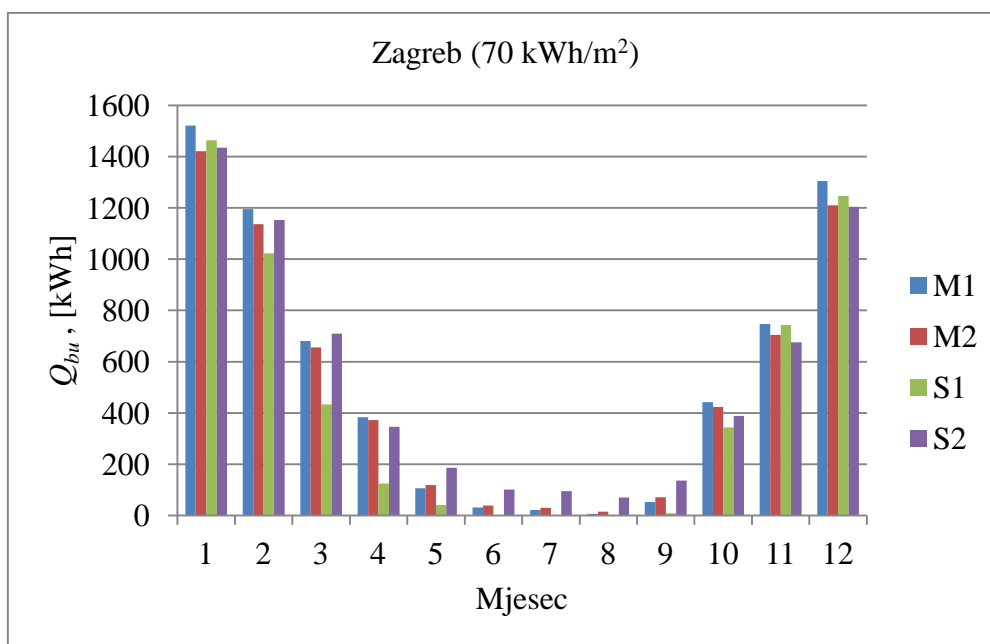
4	382,79	371,93	125,11	345,31	96,75	83,96	90,00	151,68
5	105,42	118,83	40,76	185,64	52,65	55,17	0,00	120,21
6	30,63	38,69	0,00	100,96	30,63	38,69	0,00	100,96
7	21,30	29,99	0,00	94,14	21,30	29,99	0,00	94,14
8	5,78	14,22	0,00	70,06	5,78	14,22	0,00	70,06
9	52,70	71,19	9,10	135,33	78,56	71,19	0,00	118,05
10	441,45	423,75	342,83	388,21	138,57	114,41	93,00	176,47
11	747,23	704,55	743,42	675,22	256,61	210,77	270,00	236,08
12	1305,74	1210,99	1246,56	1204,00	352,64	300,46	292,69	291,79
<b>Ukupno</b>	<b>6490,58</b>	<b>6198,98</b>	<b>5427,69</b>	<b>6496,96</b>	<b>1762,48</b>	<b>1531,44</b>	<b>1505,80</b>	<b>2123,05</b>

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati toplinske energije koju je potrebno dovesti dodatnim generatorom topline u termotehnički sustav zgrade za Split (70 kWh/m<sup>2</sup> i 10 kWh/m<sup>2</sup>).

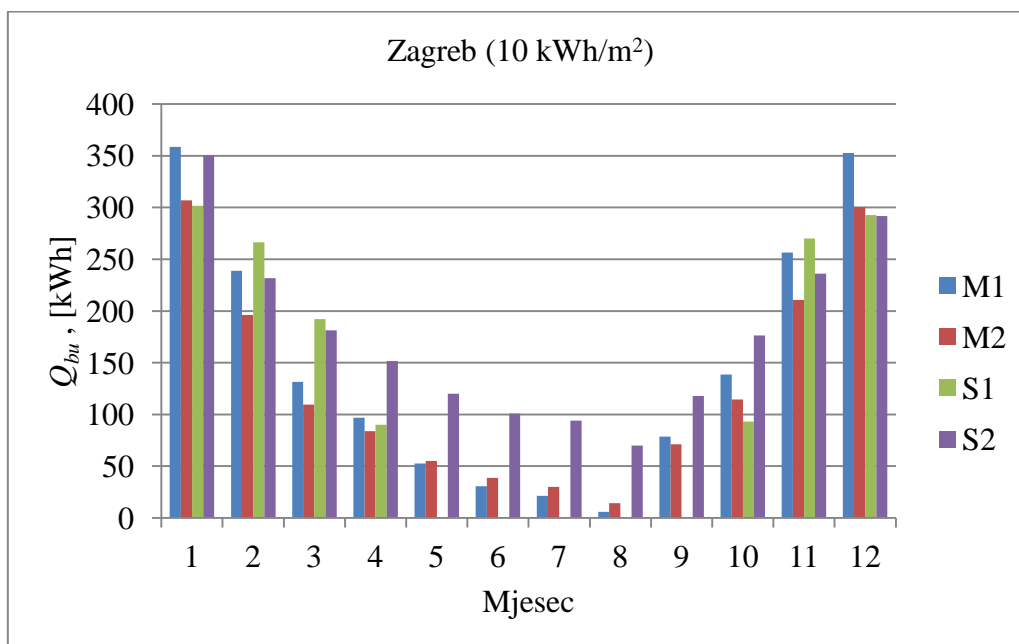
**Tablica 26. Rezultati - toplinska energija koju je potrebno isporučiti dodatnim generatorom topline u termotehnički sustav zgrade (Split)**

Mjesec	SPLIT (70 kWh/m <sup>2</sup> )				SPLIT (10 kWh/m <sup>2</sup> )			
	$Q_{bu}$ [kWh]				$Q_{bu}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
1	1382,82	1317,25	1011,37	1329,01	228,92	185,93	304,37	317,42
2	1199,35	1141,66	940,02	1192,66	137,59	112,36	188,48	208,51
3	891,74	850,05	881,40	914,19	90,85	80,04	99,98	154,83
4	387,92	375,80	562,66	343,30	60,60	58,97	0,00	119,05
5	18,58	26,92	0,00	87,60	18,58	26,92	0,00	87,60
6	7,22	13,76	0,00	66,60	7,22	13,76	0,00	66,60
7	7,26	14,22	0,00	66,42	7,26	14,22	0,00	66,42
8	7,05	14,22	0,00	63,73	7,05	14,22	0,00	63,73
9	31,07	37,75	0,00	81,84	31,07	37,75	0,00	81,84
10	432,64	413,32	109,04	334,81	125,58	104,22	93,00	165,01
11	867,45	822,92	729,36	808,87	185,76	150,21	270,12	198,07
12	1023,22	970,31	899,78	958,56	216,23	175,16	282,71	220,11
<b>Ukupno</b>	<b>6256,32</b>	<b>5998,18</b>	<b>5133,62</b>	<b>6247,58</b>	<b>1116,69</b>	<b>973,77</b>	<b>1238,66</b>	<b>1749,20</b>

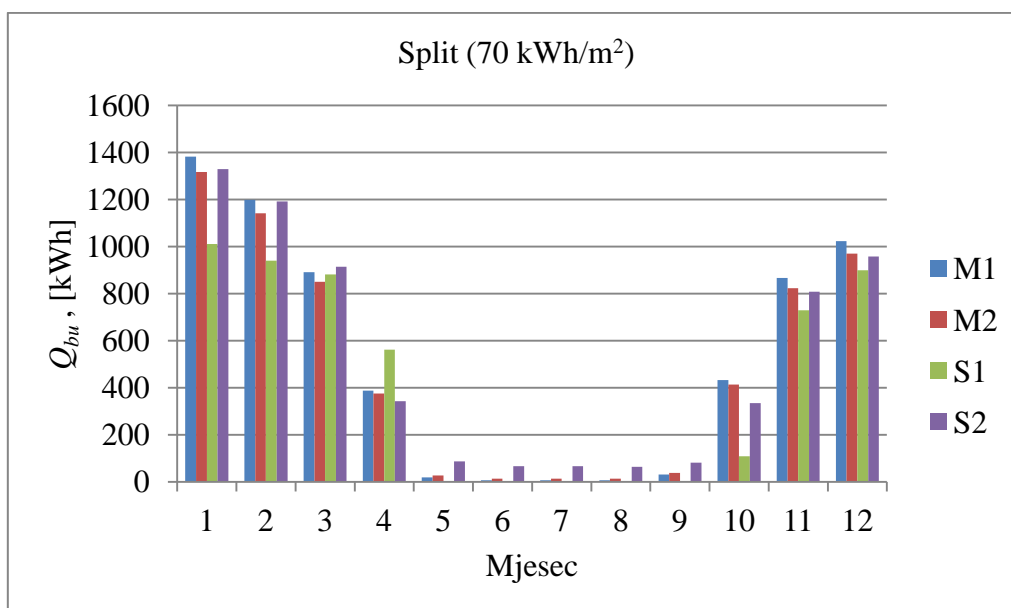
Zbog bolje vizualne usporedbe rezultata toplinske energije koju je potrebno isporučiti dodatnim generatorom topline u termotehnički sustav zgrade, na sljedećim slikama nalaze se dijagramski prikazi za Zagreb (70 kWh/m<sup>2</sup> i 10 kWh/m<sup>2</sup>) i Split (70 kWh/m<sup>2</sup> i 10 kWh/m<sup>2</sup>).



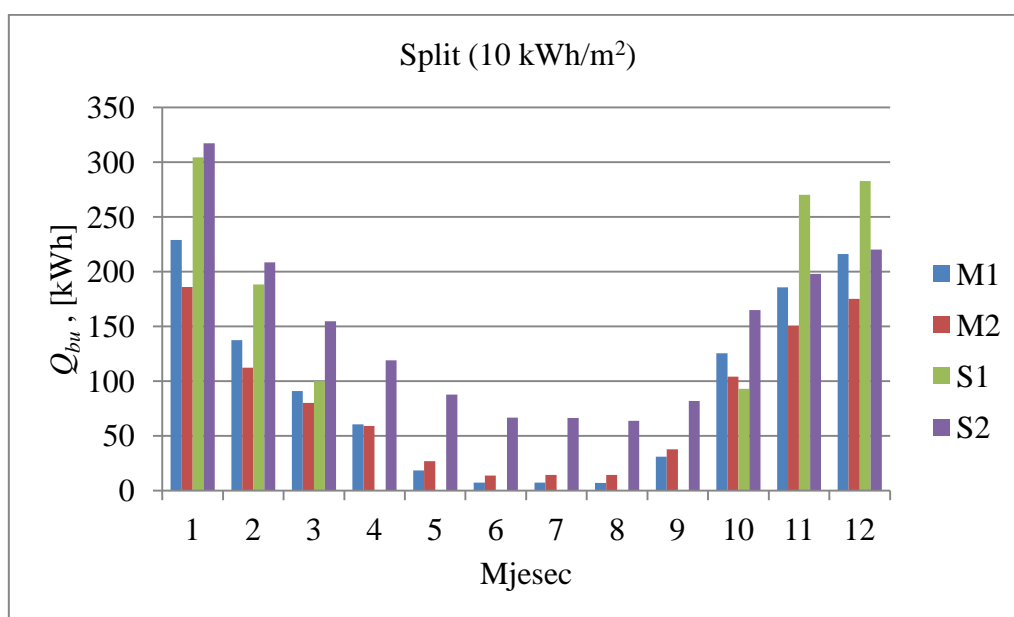
Slika 20. Toplinska energija koju je potrebno isporučiti dodatnim generatorom topline (Zagreb, 70 kWh/m<sup>2</sup>)



Slika 21. Toplinska energija koju je potrebno isporučiti dodatnim generatorom topline (Zagreb, 10 kWh/m<sup>2</sup>)



Slika 22. Toplinska energija koju je potrebno isporučiti dodatnim generatorom topline (Split, 70 kWh/m<sup>2</sup>)



Slika 23. Toplinska energija koju je potrebno isporučiti dodatnim generatorom topline (Split, 10 kWh/m<sup>2</sup>)

## 5. USPOREDBA UKUPNIH REZULTATA - ISPORUČENA I PRIMARNA ENERGIJA

U ovome poglavlju prikazani su ukupni rezultati svih provedenih proračuna. Može se primjetiti da su kod satnih proračuna iskoristivi gubici jednaki iskorištenim gubicima iz razloga što je korištena vrijednost 1 za stupanj iskorištenja iskoristivih gubitaka (postoje mala odstupanja u nekim slučajevima zbog problema s itercijskim proračunom u Ms Excel-u). Korišteni su faktori primarne energije od 0,123 za drvene pelete te 1,614 za električnu energiju.

U sljedećoj tablici prikazani su ukupni rezultati za Zagreb (70 kWh/m<sup>2</sup>).

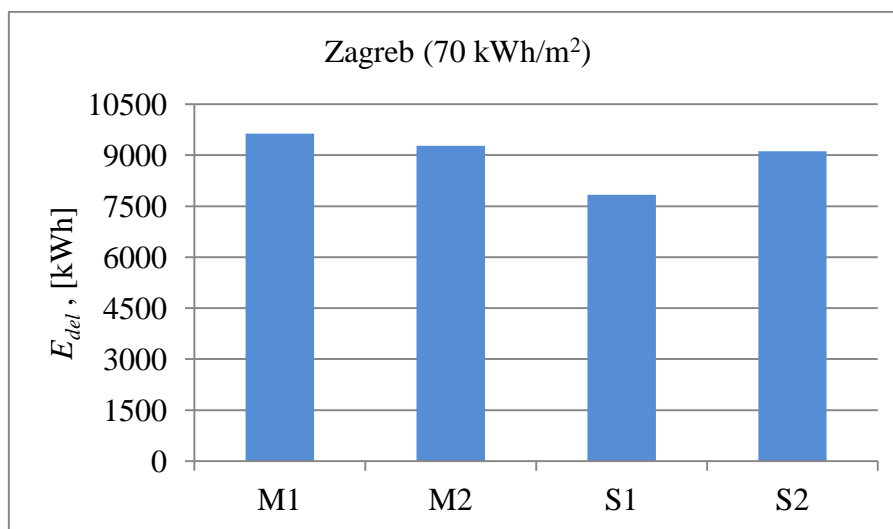
**Tablica 27. Ukupni rezultati za Zagreb (70 kWh/m<sup>2</sup>)**

ZAGREB 70 kWh/m <sup>2</sup>			M1	M2	S1	S2
PARAMETAR	OZNAKA	M. JED.	IZNOS	IZNOS	IZNOS	IZNOS
Ukupna toplinska energija	$Q_{H,nd} + Q_w$	kWh	8944,74	8944,74	8944,74	8944,74
Ukupni toplinski gubici	$Q_{ls}$	kWh	6605,95	5960,68	6361,09	5546,88
Iskoristivi toplinski gubici	$Q_{rbl}$	kWh	3178,78	3543,93	3892,89	3635,67
Vraćena pomoćna energija	$Q_{aux,rvd}$	kWh	205,95	110,02	114,37	112,68
Iskoristivi toplinski gubici pomoćnih uređaja	$Q_{aux,rbl}$	kWh	41,55	34,21	46,38	37,07
Iskorišteni toplinski gubici	$Q_{ls,rvd}$	kWh	2579,28	2748,24	3891,79	3635,70
Pomoćna energija	$W_{aux}$	kWh	218,74	217,35	245,03	245,76
isporučena toplinska energija generatorima	$Q_{gen,in}$	kWh	9418,61	9060,82	7591,78	8873,34
Isporučena energija	$E_{del}$	kWh	9637,35	9278,18	7836,81	9119,10
Primarna	$E_{prim}$	kWh	1511,54	1465,29	1329,26	1488,07



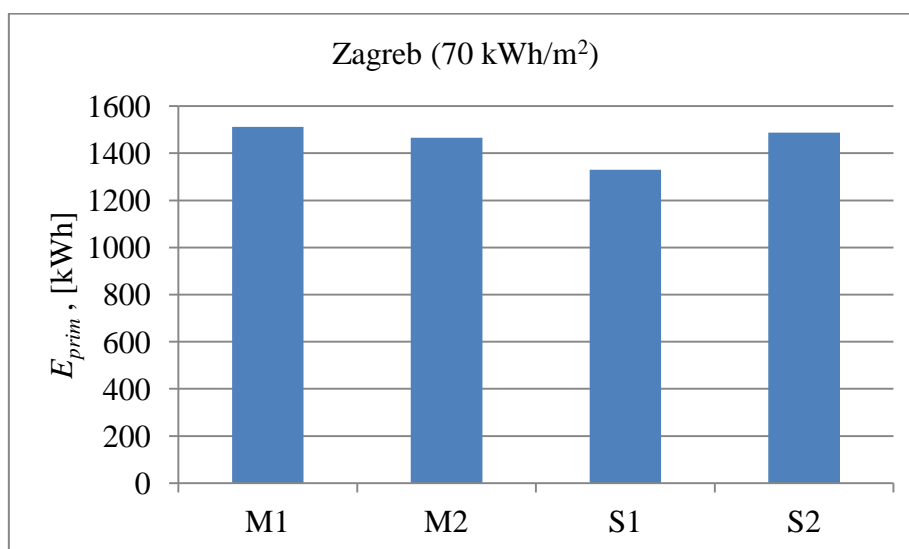
energija						
Koeficijent utroška primarne energije	$e_p$	kWh	0,169	0,164	0,149	0,166

Zbog bolje vizualne usporedbe rezultata godišnje isporučene i primarne energije na sljedećim slikama nalaze se dijagramski prikazi za Zagreb (70 kWh/m<sup>2</sup>).



Slika 24. Rezultati - godišnja isporučena energija (Zagreb, 70 kWh/m<sup>2</sup>)

Najviša vrijednost isporučene energije dobivena je u proračunu M1, a najviše odstupa proračun S1 (18%), dok su odstupanja proračuna M2 i S2 unutar 5% u odnosu na proračun M1.



Slika 25. Rezultati - godišnja primarna energija (Zagreb, 10 kWh/m<sup>2</sup>)

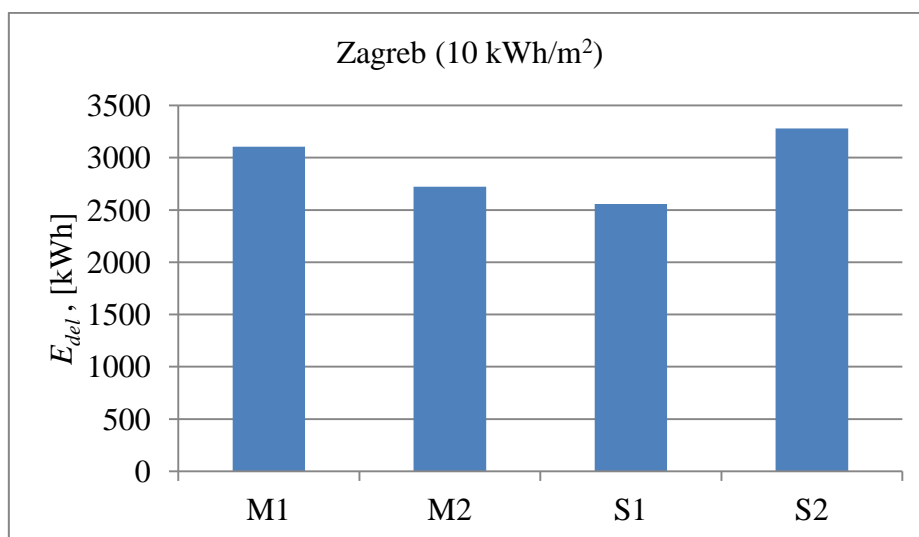
Najviša vrijednost primarne energije dobivena je u proračunu M1, a najviše odstupa proračun S1 (12%), dok su odstupanja proračuna M2 i S2 unutar 3% u odnosu na proračun M1.

U sljedećoj tablici prikazani su ukupni rezultati za Zagreb (10 kWh/m<sup>2</sup>).

**Tablica 28. Ukupni rezultati za Zagreb (10 kWh/m<sup>2</sup>)**

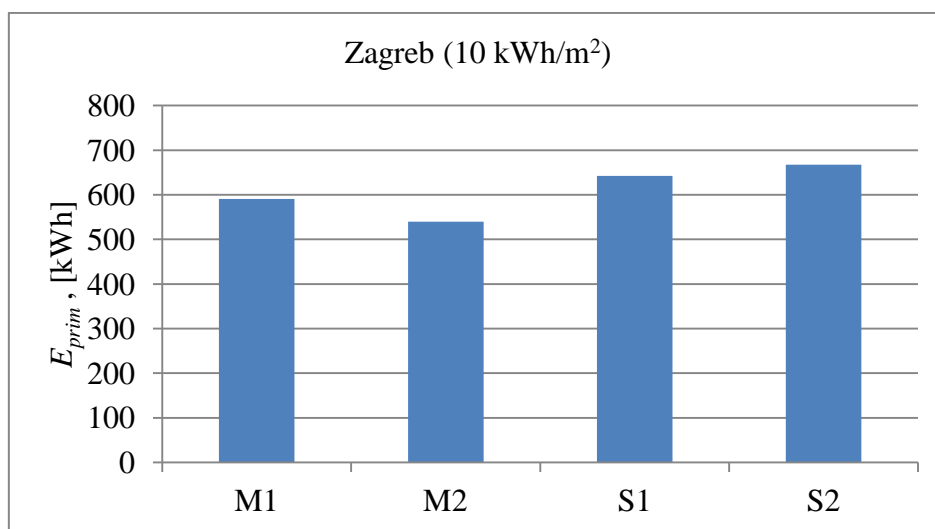
ZAGREB 10 kWh/m <sup>2</sup>			M1	M2	S1	S2
PARAMETAR	OZNAKA	M. JED.	IZNOS	IZNOS	IZNOS	IZNOS
Ukupna toplinska energija	$Q_{H,nd} + Q_w$	kWh	3826,74	3826,74	3826,74	3826,74
Ukupni toplinski gubici	$Q_{ls}$	kWh	3219,37	2522,41	3413,45	2657,23
Iskoristivi toplinski gubici	$Q_{rbl}$	kWh	1659,38	1980,17	1952,82	2112,92
Vraćena pomoćna energija	$Q_{aux,rvd}$	kWh	104,61	49,83	78,62	61,15
Iskoristivi toplinski gubici pomoćnih uređaja	$Q_{aux,rbl}$	kWh	21,72	13,97	42,47	19,89
Iskorišteni toplinski gubici	$Q_{ls,rvd}$	kWh	1024,09	1118,42	1971,98	2157,79
Pomoćna energija	$W_{aux}$	kWh	140,13	137,09	219,69	177,04
isporučena toplinska energija generatorima	$Q_{gen,in}$	kWh	2965,51	2585,63	2335,92	3102,19
Isporučena energija	$E_{del}$	kWh	3105,64	2722,72	2555,61	3279,23
Primarna energija	$E_{prim}$	kWh	590,93	539,30	641,90	667,32
Koeficijent utroška primarne energije	$e_p$	kWh	0,154	0,141	0,168	0,174

Zbog bolje vizualne usporedbe rezultata godišnje isporučene i primarne energije na sljedećim slikama nalaze se dijagramski prikazi za Zagreb (10 kWh/m<sup>2</sup>).



**Slika 26. Rezultati - godišnja isporučena energija (Zagreb, 10 kWh/m<sup>2</sup>)**

Najviša vrijednost isporučene energije dobivena je u proračunu S2 te u odnosu na proračun M1 odstupa 5%. Proračuni M2 i S1 odstupaju (u odnosu na proračun M1) 12% odnosno 18%.



**Slika 27. Rezultati - godišnja primarna energija (Zagreb, 10 kWh/m<sup>2</sup>)**

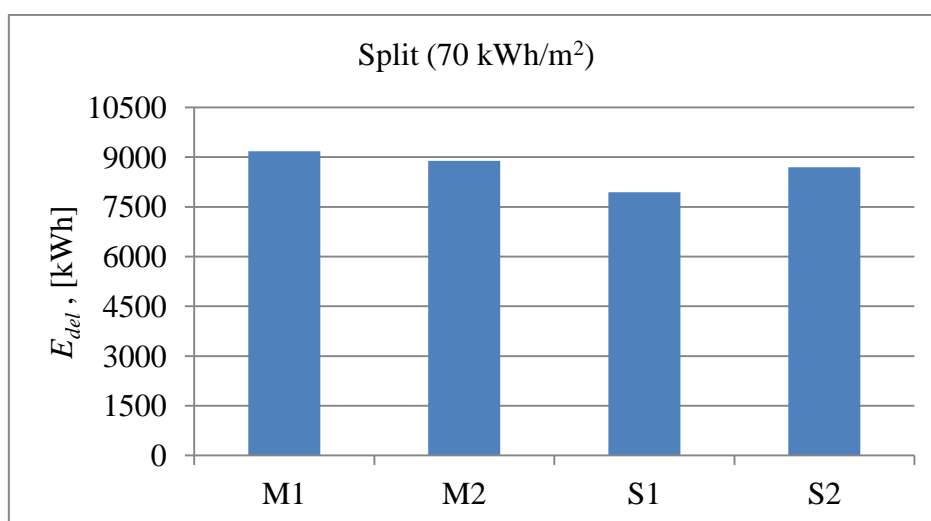
Najviša vrijednost primarne energije dobivena je u proračunu S2 te u odnosu na proračun M1 odstupa 11%. Proračuni M2 i S1 odstupaju (u odnosu na proračun M1) 9% odnosno 8%. Može se primjetiti da proračun S1 ima drugu najvišu vrijednost primarne energije (iako ima najmanju isporučenu) iz razloga što je do izražaja došla pomoćna električna energija  $W_{aux}$  (mala godišnja potrebna toplinska energija za grijanje) koja ima faktor pretvorbe 1,6, a najvišu vrijednost poprima u proračunu S1.

U sljedećoj tablici prikazani su ukupni rezultati za Split (70 kWh/m<sup>2</sup>).

**Tablica 29. Ukupni rezultati za Split (70 kWh/m<sup>2</sup>)**

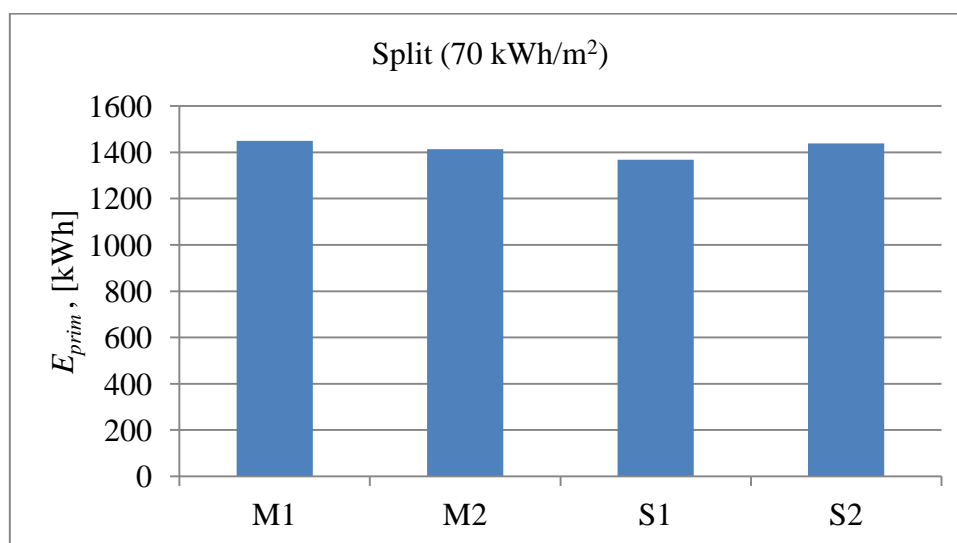
SPLIT 70 kWh/m <sup>2</sup>			M1	M2	S1	S2
PARAMETAR	OZNAKA	M. JED.	IZNOS	IZNOS	IZNOS	IZNOS
Ukupna toplinska energija	$Q_{H,nd} + Q_w$	kWh	8944,74	8944,74	8944,74	8944,74
Ukupni toplinski gubici	$Q_{ls}$	kWh	6538,98	5900,87	6360,33	5461,34
Iskoristivi toplinski gubici	$Q_{rbl}$	kWh	3064,61	3456,52	3698,26	3526,82
Vraćena pomoćna energija	$Q_{aux,rvd}$	kWh	207,79	108,46	113,60	110,38
Iskoristivi toplinski gubici pomoćnih uređaja	$Q_{aux,rbl}$	kWh	40,62	33,44	46,35	36,24
Iskorišteni toplinski gubici	$Q_{ls,rvd}$	kWh	2281,69	2387,19	3698,04	3526,82
Pomoćna energija	$W_{aux}$	kWh	214,62	215,13	262,53	247,57
isporučena toplinska energija generatorima	$Q_{gen,in}$	kWh	8965,16	8672,55	7680,19	8444,58
Isporučena energija	$E_{del}$	kWh	9179,78	8887,67	7942,72	8692,15
Primarna energija	$E_{prim}$	kWh	1449,11	1413,94	1368,39	1438,27
Koeficijent utroška primarne energije	$e_p$	kWh	0,162	0,158	0,153	0,161

Zbog bolje vizualne usporedbe rezultata godišnje isporučene i primarne energije na sljedećim slikama nalaze se dijagramski prikazi za Split (70 kWh/m<sup>2</sup>).



Slika 28. Rezultati - godišnja isporučena energija (Split, 70 kWh/m<sup>2</sup>)

Najviša vrijednost isporučene energije dobivena je u proračunu M1, a najviše odstupa proračun S1 (13%), dok su odstupanja proračuna M2 i S2 unutar 5% u odnosu na proračun M1.



Slika 29. Rezultati - godišnja primarna energija (Split, 70 kWh/m<sup>2</sup>)

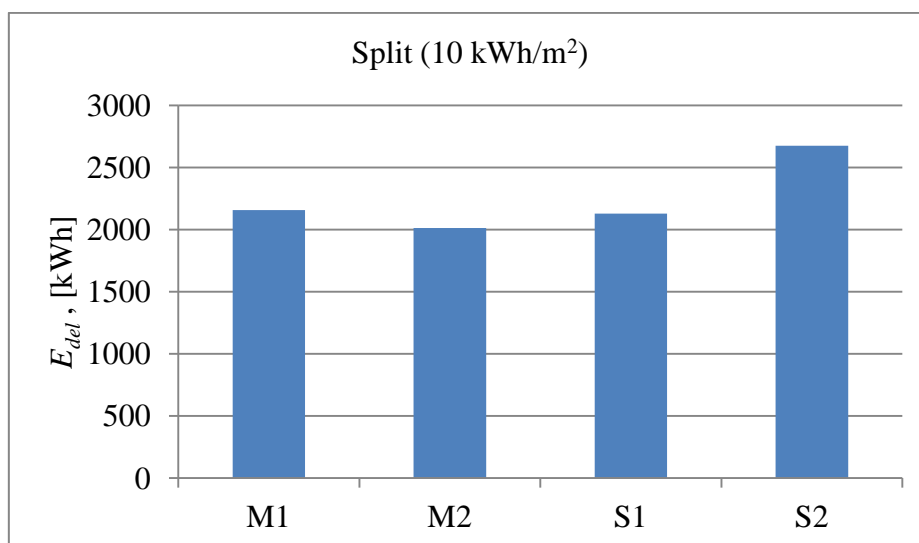
Najviša vrijednost primarne energije dobivena je u proračunu M1, a najviše odstupa proračun S1 (6%), dok su odstupanja proračuna M2 i S2 unutar 3% u odnosu na proračun M1.

U sljedećoj tablici prikazani su ukupni rezultati za Split (10 kWh/m<sup>2</sup>).

**Tablica 30. Ukupni rezultati za Split (10 kWh/m<sup>2</sup>)**

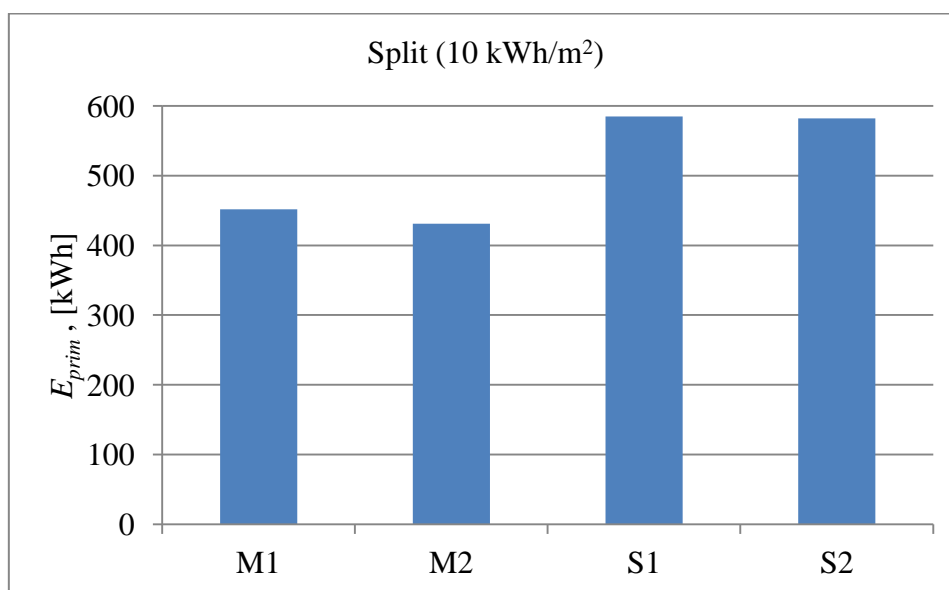
SPLIT 10 kWh/m <sup>2</sup>			M1	M2	S1	S2
PARAMETAR	OZNAKA	M. JED.	IZNOS	IZNOS	IZNOS	IZNOS
Ukupna toplinska energija	$Q_{H,nd} + Q_w$	kWh	3826,74	3826,74	3826,74	3826,74
Ukupni toplinski gubici	$Q_{ls}$	kWh	3154,19	2374,58	3565,62	2632,15
Iskoristivi toplinski gubici	$Q_{rbl}$	kWh	1634,46	1979,52	1889,93	2097,94
Vraćena pomoćna energija	$Q_{aux,rvd}$	kWh	93,34	39,46	68,84	52,05
Iskoristivi toplinski gubici pomoćnih uređaja	$Q_{aux,rbl}$	kWh	18,17	10,37	39,14	16,80
Iskorišteni toplinski gubici	$Q_{ls,rvd}$	kWh	950,72	1003,74	1891,97	2051,10
Pomoćna energija	$W_{aux}$	kWh	124,96	123,12	216,48	169,80
isporučena toplinska energija generatorima	$Q_{gen,in}$	kWh	2032,99	1889,64	1913,12	2505,63
Isporučena energija	$E_{del}$	kWh	2157,95	2012,76	2129,60	2675,43
Primarna energija	$E_{prim}$	kWh	451,74	431,15	584,71	582,25
Koeficijent utroška primarne energije	$e_p$	kWh	0,118	0,113	0,153	0,152

Zbog bolje vizualne usporedbe rezultata godišnje isporučene i primarne energije na sljedećim slikama nalaze se dijagramski prikazi za Split (10 kWh/m<sup>2</sup>).



**Slika 30. Rezultati - godišnja isporučena energija (Split, 10 kWh/m<sup>2</sup>)**

Najviša vrijednost isporučene energije dobivena je u proračunu S2 te u odnosu na proračun M1 odstupa 19%. Proračuni M2 i S1 odstupaju (u odnosu na proračun M1) 7% odnosno 1%.



**Slika 31. Rezultati - godišnja primarna energija (Split, 10 kWh/m<sup>2</sup>)**

Najviša vrijednost primarne energije dobivena je u proračunu S1 te u odnosu na proračun M1 odstupa 23%. Proračuni M2 i S2 odstupaju (u odnosu na proračun M1) 4% odnosno 22%. Proračun S1 ima najvišu vrijednost primarne energije (iako ima skoro najmanju isporučenu) iz razloga što je do izražaja došla pomoćna električna energija  $W_{aux}$  (mala godišnja potrebna toplinska energija za grijanje) koja ima faktor pretvorbe 1,6, a najvišu vrijednost poprima u proračunu S1.

U sljedećim tablicama prikazane su ukupne godišnje vrijednosti isporučene sunčeve energije u sustav i odstupanje rezultata u odnosu na proračun M1.

**Tablica 31. Ukupni godišnji rezultati isporučene sunčeve energije i odstupanje u odnosu na proračun M1 (Zagreb)**

	ZAGREB (70 kWh/m <sup>2</sup> )				ZAGREB (10 kWh/m <sup>2</sup> )			
	$Q_{sol,out}$ [kWh]				$Q_{sol,out}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
Ukupno	2168,26	2144,01	2054,85	2049,32	2041,74	2077,39	2404,59	2049,32
Razlika, [%]		1,12	5,23	5,49		1,72	15,09	0,37

**Tablica 32. Ukupni godišnji rezultati isporučene sunčeve energije i odstupanje u odnosu na proračun M1 (Split)**

	SPLIT (70 kWh/m <sup>2</sup> )				SPLIT (10 kWh/m <sup>2</sup> )			
	$Q_{sol,out}$ [kWh]				$Q_{sol,out}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
Ukupno	2794,11	2814,88	2841,12	2560,21	2584,08	2632,74	3006,99	2560,21
Razlika, [%]		0,74	1,65	8,37		1,85	14,06	0,92

U sljedećim tablicama prikazane su ukupne vrijednosti isporučene energije  $E_{del}$  i odstupanje rezultata u odnosu na proračun M1.

**Tablica 33. Ukupni rezultati isporučene energije i odstupanje u odnosu na proračun M1 (Zagreb)**

	ZAGREB (70 kWh/m <sup>2</sup> )				ZAGREB (10 kWh/m <sup>2</sup> )			
	$E_{del}$ [kWh]				$E_{del}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
Ukupno	9637,35	9278,18	7836,81	9119,10	3105,64	2722,72	2555,61	3279,23
Razlika, [%]		3,73	18,68	5,38		12,33	17,71	5,29

**Tablica 34. Ukupni rezultati isporučene sunčeve energije i odstupanje u odnosu na proračun M1 (Split)**

	SPLIT (70 kWh/m <sup>2</sup> )				SPLIT (10 kWh/m <sup>2</sup> )			
	$E_{del}$ [kWh]				$E_{del}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
Ukupno	9179,78	8887,67	7942,72	8692,15	2157,95	2012,76	2129,60	2675,43
Razlika, [%]		3,18	13,48	5,31		6,73	1,31	19,34



U sljedećim tablicama prikazane su ukupne vrijednosti primarne energije  $E_{prim}$  i odstupanje rezultata u odnosu na proračun M1.

**Tablica 35. Ukupni rezultati primarne energije i odstupanje u odnosu na proračun M1 (Zagreb)**

	ZAGREB (70 kWh/m <sup>2</sup> )				ZAGREB (10 kWh/m <sup>2</sup> )			
	$E_{prim}$ [kWh]				$E_{prim}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
Ukupno	1511,54	1465,29	1329,26	1488,07	590,93	539,30	641,90	667,32
Razlika, [%]		3,06	12,06	1,55		8,74	7,94	11,45

**Tablica 36. Ukupni rezultati primarne energije i odstupanje u odnosu na proračun M1 (Split)**

	SPLIT (70 kWh/m <sup>2</sup> )				SPLIT (10 kWh/m <sup>2</sup> )			
	$E_{prim}$ [kWh]				$E_{prim}$ [kWh]			
	M1	M2	S1	S2	M1	M2	S1	S2
Ukupno	1449,11	1413,94	1368,39	1438,27	451,74	431,15	584,71	582,25
Razlika, [%]		2,43	5,57	0,75		4,56	22,74	22,42

## 6. KRITIČKI OSVRT NA NOVE NORME IZ SKUPINE EN 15316:2016

U ovome poglavlju prikazane su primjedbe na izraze koji se koriste za proračun spremnika i solarnog sustava prema novim normama iz skupine EN 15316:2016. Izrazi su numerirani onako kako je navedeno u normama [4] i [5].

Metoda A prema normi FprEN 15316-5:2016.:

Toplinska energija za pripremu potrošne tople vode računa se prema sljedećem izrazu:

Za  $\theta_i > \theta_{sto,W}$ :

$$Q_W(t_0) = \sum_{i=1}^{NB.vol} \rho_w \cdot c_{p,w} \cdot V_{sto,i} \cdot (\theta_{sto,vol,i} - \theta_{W,out,min}) \quad [\text{kWh}] \quad (3)$$

Za  $\theta_i > \theta_{sto,H}$ :

Toplinska energija za grijanje računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{sto,H} = \sum_{i=1}^{NB.vol} \rho_w \cdot c_{p,w} \cdot V_{sto,i} \cdot (\theta_{sto,vol,i} - \theta_{H,out,min}) \quad [\text{kWh}] \quad (4)$$

Kod uvjeta u gornjim izrazima nigdje nije objašnjeno na koje temperature se odnose oznake  $\theta_i$ ,  $\theta_{sto,W}$ ,  $\theta_{sto,H}$ . Također te se oznake nigdje više ne pojavljuju u proračunu, barem ne u tom obliku što cijeli proračun čini nerazumljivim.

Temperatura u spremniku nakon povučenog volumena potrošne tople vode:

$$\theta_{sto,vol,i} = (\theta_{sto,vol,i-1} \cdot V_{sto,use,W} + \theta_{sto,vol,i} \cdot (V_{sto,vol,i} - V_{sto,use,W})) / V_{sto,vol,i} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (9)$$

U gornjem izrazu temperatura koja se računa nalazi se kao varijabla i u samom izrazu.

Ponovni izračun temperature vode u spremniku:

Ako je

$$\theta_{sto,vol,i} > \theta_{sto,vol,i+1} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

onda je

$$\theta_{sto,vol,i} = \theta_{sto,vol,i+1} = (\theta_{sto,vol,i} \cdot V_{sto,vol,i} + \theta_{sto,vol,i+1} \cdot V_{sto,vol,i+1}) / (V_{sto,vol,i} + V_{sto,vol,i+1}) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (12)$$

Gornji izraz je dosta nerazumljiv s obzirom da se iste varijable nalaze s obje strane jednakosti ( $\theta_{sto,vol,i}$ ,  $\theta_{sto,vol,i+1}$ ). Uvjet kaže da je jedna temperatura veća od druge, dok u izrazu piše da su jednake.

Metoda B prema normi FprEN 15316-5:2016.:

Potrebna toplinska energija iz pomoćnog sustava računa se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{H,sto,bu,in,tmp} = (Q_{W,sto,out} - Q_{W,sto,out,tmp1}) + (Q_{H,sto,out} - Q_{H,sto,ou,tmp2}) + f_{sto,bac,acc} \cdot f_{sto,dis,ls} \cdot H_{sto,ls} \cdot (\theta_{sto,set} - \theta_{amb}) \cdot t_{ci} + \rho_w \cdot c_{p,w} \cdot V_{sto,tot} \cdot (\theta_{sto,bu,set} - \theta_{amb}) - \Phi_{x,sto,in} \cdot t_{ci} \quad [\text{kWh}] \quad (25)$$

Gornji izraz daje neobično visoke vrijednosti toplinske energije iz pomoćnog sustava. Također izraz prikazan u normi je nedovršen. Dio  $(\theta_{sto,set} - \theta_{amb})$  nije vidljiv u normi te je pretpostavljen, a pretpostavljen je i član  $V_{sto,tot}$  koji se također ne nalazi u normi.

Konačna temperatura spremnika za promatrani vremenski korak računa se prema sljedećem izrazu:

$$\theta_{sto,H} = \theta_{sto,H,0} + (\Phi_{x,sto,in} \cdot t_{ci} + Q_{H,sto,bu,in} - Q_{W,sto,out,tmp1}) - Q_{H,sto,out,tmp2} - f_{sto,bac,acc} \cdot f_{sto,dis,ls} \cdot H_{sto,ls} \cdot (\theta_{sto,set} - \theta_{set,amb}) / (\rho_w \cdot c_{p,w} \cdot V_{sto,tot}) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (27)$$

Gornji izraz daje neobično visoke temperature spremnika zbog čega je cijeli postupak proračuna upitne točnosti.

Toplinski gubici spremnika topline računaju se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{sto,ls,tot} = f_{sto,bac,acc} \cdot f_{sto,dis,ls} \cdot (H_{sto,tot} / 1000) \cdot (\theta_{sto,set} - \theta_{sto,amb}) \cdot t_{ci} \quad [\text{kWh}] \quad (30)$$

Gornji izraz daje u svakom vremenskom koraku iste vrijednosti gubitaka kada je temperatura  $\theta_{sto,amb}$  konstantna (grijani prostor). Umjesto konstantne postavne temperature  $\theta_{sto,set}$  bilo bi logičnije koristiti srednju temperaturu vode u spremniku.

Satni proračun solarnog toplovodnog sustava prema normi FprEN 15316-4-3:2016.:

Gubici topline solarne petlje računaju se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{sol,loop,ls,h} = H_{sol,loop} \cdot (\theta_{col,avg,h} - \theta_{sol,amb,h}) \cdot t_{ci} \cdot 0,001 \quad [\text{kWh}] \quad (56)$$

Gornji izraz za proračun gubitaka topline solarne petlje daje nerealno visoke vrijednosti toplinskih gubitaka te je upitna njegova točnost.

Generalna kritika svih normi je nedovoljno detaljan opis proračuna. Također postoji dosta nedefiniranih oznaka varijabli te grešaka u izrazima, što dodatno otežava proračun.

## 7. ZAKLJUČAK

U ovome radu napravljen je računalni program za simulaciju godišnje potrošnje isporučene i primarne energije za grijanje i pripremu potrošne tople vode. Proračun se provodio (mjesečno i satno) za dvije razine potrebne godišnje toplinske energije za grijanje ( $70 \text{ kWh/m}^2$  i  $10 \text{ kWh/m}^2$ ) te za klimatska područja Zagreba i Splita. Za proračune su korišteni javno dostupni algoritmi i nove norme iz skupine EN 15316:2016. Za proračun spremnika tople vode korištena je pojednostavljena metoda spremnika modeliranog jednim volumnim dijelom (proračun S1) i metoda spremnika modeliranog s više volumnih dijelova (proračun S2) prema normi FprEN 15316-5:2016. Budući da su neki od navedenih izraza iz norme bili nejasni te su iz njih proizlazili neobični i nelogični rezultati za proračun spremnika modeliranog jednim volumnim dijelom su u konačnici korišteni modificirani izrazi. Zbog nerealnih vrijednosti temperatura u spremniku dobivenih i prema modificiranom proračunu, konačna temperatura u spremniku se umanjivala za  $20^\circ\text{C}$  (temperatura najnižeg volumena spremnika koja povezuje proračun spremnika s proračunom prema normi FprEN 15316-4-3:2016.) budući da su vrijednosti isporučene sunčeve energije bile i do 50% manje u odnosu na proračune M1, M2 i S2. Zbog problema s iteracijskim proračunom u MS Excel-u, kretanje konačne temperature u spremniku je dosta nelogično te je proračun S1 upitne točnosti. Također, zbog nejasnoća prikazanih izraza nije uspješno napravljen niti računalni program za proračun spremnika metodom više volumnih dijelova te je za proračun u konačnici korišten računalni program prema [8] koji je onda povezan s proračunom ostalih podsustava.

Mjesečni proračuni solarnog sustava prema algoritmu (proračun M1) i novoj normi (proračun M2) su relativno slični. Neke od razlika između ta dva mjesečna proračuna zbog kojih se javljaju razlike u rezultatima su: koeficijent toplinskih gubitaka kolektorskog kruga (kod algoritma je konstantan, dok se u novoj normi mijenja u ovisnosti o efektivnoj površini kolektora), nova norma ne sadrži izraze za proračun vraćene pomoćne energije radnom mediju u pojedinom mjesecu za solarni sustav i za proračun iskoristive pomoćne energije koja se vraća u prostor u pojedinom mjesecu za solarni sustav. Kod satnih proračuna solarnog sustava prema novim normama nema proračuna gubitaka topline primarne cirkulacije između dodatnog generatora i spremnika, dok se kod mjesečne metode ti gubici proračunavaju. Također, kod satnog proračuna solarnog sustava proračunavaju se gubici solarne petlje i uzima se u obzir pomoćna energija regulacije solarnog sustava što kod mjesečnih proračuna

nije slučaj. Kod proračuna S2 nema izračuna iskoristivih gubitaka spremnika topline i pomoćnih uređaja u solarnom sustavu.

Odstupanja rezultata proračuna godišnje isporučene sunčeve energije za Zagreb (70 kWh/m<sup>2</sup>) u odnosu na proračun M1 su: 1,12% (kod proračuna M2), 5,23% (kod proračuna S1), 5,49% (kod proračuna S2). Odstupanja rezultata proračuna godišnje isporučene sunčeve energije za Zagreb (10 kWh/m<sup>2</sup>) u odnosu na proračun M1 su: 1,72% (kod proračuna M2), 15,09% (kod proračuna S1), 0,37% (kod proračuna S2). Odstupanja rezultata proračuna godišnje isporučene sunčeve energije za Split (70 kWh/m<sup>2</sup>) u odnosu na proračun M1 su: 0,74% (kod proračuna M2), 1,65% (kod proračuna S1), 8,37% (kod proračuna S2). Odstupanja rezultata proračuna godišnje isporučene sunčeve energije za Split (10 kWh/m<sup>2</sup>) u odnosu na proračun M1 su: 1,85% (kod proračuna M2), 14,06% (kod proračuna S1), 0,92% (kod proračuna S2).

Odstupanja rezultata proračuna ukupne isporučene energije za Zagreb (70 kWh/m<sup>2</sup>) u odnosu na proračun M1 su: 3,73% (kod proračuna M2), 18,68% (kod proračuna S1), 5,38% (kod proračuna S2). Odstupanja rezultata proračuna ukupne isporučene energije za Zagreb (10 kWh/m<sup>2</sup>) u odnosu na proračun M1 su: 12,33% (kod proračuna M2), 17,71% (kod proračuna S1), 5,29% (kod proračuna S2). Odstupanja rezultata proračuna ukupne isporučene energije za Split (70 kWh/m<sup>2</sup>) u odnosu na proračun M1 su: 3,18% (kod proračuna M2), 13,48% (kod proračuna S1), 5,31% (kod proračuna S2). Odstupanja rezultata proračuna ukupne isporučene energije za Split (10 kWh/m<sup>2</sup>) u odnosu na proračun M1 su: 6,73% (kod proračuna M2), 1,31% (kod proračuna S1), 19,34% (kod proračuna S2).

Odstupanja rezultata proračuna ukupne primarne energije za Zagreb (70 kWh/m<sup>2</sup>) u odnosu na proračun M1 su: 3,06% (kod proračuna M2), 12,06% (kod proračuna S1), 1,55% (kod proračuna S2). Odstupanja rezultata proračuna ukupne primarne energije za Zagreb (10 kWh/m<sup>2</sup>) u odnosu na proračun M1 su: 8,74% (kod proračuna M2), 7,94% (kod proračuna S1), 11,45% (kod proračuna S2). Odstupanja rezultata proračuna ukupne primarne energije za Split (70 kWh/m<sup>2</sup>) u odnosu na proračun M1 su: 2,43% (kod proračuna M2), 5,57% (kod proračuna S1), 0,75% (kod proračuna S2). Odstupanja rezultata proračuna ukupne primarne energije za Split (10 kWh/m<sup>2</sup>) u odnosu na proračun M1 su: 4,56% (kod proračuna M2), 22,74% (kod proračuna S1), 22,42% (kod proračuna S2). Bitno je na kraju napomenuti da su kod određenih proračuna (posebno kod slučajeva gdje je godišnja potrebna toplinska energija za grijanje 10 kWh/m<sup>2</sup>) bili prisutni problemi s iteracijskim proračunom u MS Excel-u što je također utjecalo na konačne prikazane rezultate.

## LITERATURA

- [1] Bukarica, V., Dović, D., Hrs Borković, Ž., Soldo, V., Sučić, B., Švaić, S., Zanki, V.: Priručnik za energetske savjetnike, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, Zagreb, 2008.
- [2] Dović, D., Horvat, I., Rodić, A., Soldo, V., Švaić, S.: Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama: *Sustavi grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode*, Zagreb, 2017.
- [3] Andrassy, M., Balen, I., Boras, I., Dović, D., Hrs Borković, Ž., Lenić, K., Lončar, D., Pavković, B., Soldo, V., Sučić, B., Švaić, S.: Priručnik za energetske certificiranje zgrada, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, Zagreb, 2010.
- [4] FprEN 15316-4-3 Generation & Control Thermal solar / photovoltaics: *Energy performance of buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies - Part 4-3: Heat generation systems, thermal solar and photovoltaic systems, Module M3-8-3, M8-8-3, M11-8-3*, CEN/TC 228, 2016.
- [5] FprEN 15316-5 Storage & Control (Heating): *Energy performance of buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies - Part 5: Space heating and DHW storage systems (not cooling)*, M3-7, M8-7, CEN/TC 228, 2016.
- [6] Priprema baze klimatskih podataka potrebnih za proračun energetske svojstava zgrade, DHMZ, Zagreb, 2013.
- [7] Grgić, I.: Diplomski rad - Troškovno optimalna analiza energetske učinkovitosti stambene zgrade, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015.
- [8] van Amerongen, G.: Računalni program za proračun solarnog sustava satnom metodom prema FprEN 15316-4-3 i FprEN 15316-5, vAConsult, Nizozemska, 2014.

## **PRILOZI**

I. CD-R disc