

# Optimizacija sustava grijanja i hlađenja hotela

---

Čataj, Roman

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:895547>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-14**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Roman Čataj**

Zagreb, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Igor Balen, dipl. ing.

Student:

Roman Čataj

Zagreb, 2020.

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

Zahvaljujem se svome mentoru, prof. dr. sc. Igoru Balenu, dipl. ing. na stručnim savjetima, strpljenju i pomoći, gospodi Davoru Brkanoviću, dipl. ing. i Igoru Regetašu, dipl. ing. iz tvrtke MB Frigo Grupa te Valentinu Kocijanu, dipl. ing. i Vigoru Zupanicu iz tvrtke Centrometal na stručnim savjetima i informacijama u vezi opreme.

Roman Čataj



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: 602 - 04 / 20 - 6 / 3	
Ur. broj: 15 - 1703 - 20 -	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Roman Čataj** Mat. br.: 0035198809

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Optimizacija sustava grijanja i hlađenja hotela**

Naslov rada na engleskom jeziku: **The optimization of heating and cooling system for the hotel**

Opis zadatka:

U radu je potrebno odabrati i optimizirati sustav grijanja, hlađenja i pripreme potrošne tople vode hotela na sedam etaža (Pr+1K+2K+3K+4K+5K+Pk) ukupne korisne površine 6.900 m<sup>2</sup>, prema zadanoj arhitektonskoj podlozi. Geometrijske i tehničke značajke zgrade odgovaraju zgradi gotovo nulte energije (eng. nZEB) prema trenutno važećoj regulativi. Potrebno je razviti računalni model za energetska usporedbu sustava i provesti odabir i optimizaciju sustava prema kriteriju primarne energije, troškova investicije i troškova pogona. U sklopu izbora i optimizacije sustava potrebno je usporediti najmanje tri tehnička rješenja. U okviru analize predvidjeti akumulacijski sustav pripreme potrošne tople vode. Zgrada se nalazi na području grada Šibenika (referentni klimatski podaci za primorsku Hrvatsku).

Potrebne ulazne podatke za proračune osigurava mentor.

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

Zadatak zadan:	Datum predaje rada:	Predviđeni datum obrane:
30. travnja 2020.	2. srpnja 2020.	6. – 10.7.2020.
Zadatak zadao:		Predsjednica Povjerenstva:

Prof.dr.sc. Igor Balen

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

**SADRŽAJ**

POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA .....	VII
SAŽETAK.....	XIII
SUMMARY .....	XV
1. UVOD .....	1
2. METODOLOGIJA .....	5
2.1 Proračun potrebne energije za grijanje $Q_{H,nd}$ i hlađenje $Q_{C,nd}$ prostora zgrade prema HRN EN 13790 .....	5
2.1.1 Izmijenjena toplinska energija transmisijom $Q_{Tr}$ .....	5
2.1.2 Izmijenjena toplinska energija ventilacijom $Q_{Ve}$ .....	6
2.1.3 Unutarnji toplinski dobiti $Q_{int}$ .....	6
2.1.4 Toplinski dobiti od Sunčeva zračenja $Q_{sol}$ .....	7
2.1.5 Izračun mjesečnih i godišnjih vrijednosti potrebne toplinske energije za grijanje $Q_{H,nd}$ ..	7
2.1.6 Izračun mjesečnih i godišnjih vrijednosti potrebne toplinske energije za hlađenje $Q_{C,nd}$ ..	8
2.2 Proračun sustava pripreme potrošne tople vode prema HRN EN 15316:2008 .....	9
2.2.1 Potrebna toplinska energija za pripremu potrošne tople vode prema HRN EN 15316-3-1:2008 .....	9
2.2.2 Toplinska energija na ulazu u podsustav razvoda $Q_{W,dis,in}$ prema HRN EN 15316-3-2:2008 .....	9
2.2.3 Proračun gubitaka spremnika $Q_{W,st,ls}$ , gubitaka primarne cirkulacije između generatora ogrjevnog učina i spremnika $Q_{W,p,ls}$ i potrebne toplinske energije za pripremu PTV-a $Q_{W,gen,out}$ prema HRN EN 15316-3-3:2008.....	10
2.3 Proračun sustava za grijanje i hlađenje prostora prema HRN EN 15316:2008.....	12
2.3.1 Proračun energije za podsustav predaje topline prema normi HRN EN 15316-2-1:2008. ....	12
2.3.2 Proračun energije za podsustav razvoda grijanja i hlađenja prema normi HRN EN 15316-2-3:2008 .....	13
2.3.3 Proračun energije za podsustav proizvodnje topline .....	14
2.4 Proračun ukupne pomoćne energije, isporučene energije, primarne energije, godišnje emisije CO <sub>2</sub> .....	21
2.4.1 Ukupna pomoćna energija.....	21
2.4.2 Isporučena energija.....	21
2.4.3 Primarna energija.....	22
2.4.4 Emisija CO <sub>2</sub> .....	23
3. TEHNIČKA RJEŠENJA SUSTAVA GRIJANJA, HLAĐENJA I PRIPREME PTV .....	24

3.1	Dizalica topline zrak – voda s rekuperacijom topline Clivet WSAN-XCS3 MF 140.4 i <i>booster</i> dizalica topline Clivet WSH-XEE2 HW 80,2 .....	25
3.2	Dizalica topline voda – voda s rekuperacijom topline Clivet WSHN-XEE2 MF 120.4 i <i>booster</i> dizalica topline Clivet WSH-XEE2 HW 80,2 .....	29
3.3	Dizalica topline voda – voda bez rekuperacije topline Clivet WSHN-XSC3 120.2 i <i>booster</i> dizalica topline Clivet WSH-XEE2 HW 80,2 .....	30
3.4	Kotao na biomasu Centrometal EKO-CKS Multi plus 340 kW, rashladnik zrak-voda s rekuperacijom topline Clivet WSAT-XSC3 140.4 Excellence i <i>booster</i> dizalica topline Clivet WSH-XEE2 HW 80,2.....	32
3.5	Kotao na biomasu Centrometal EKO-CKS Multi plus 340 kW, rashladnik zrak-voda s rekuperacijom topline Clivet WSAT-XSC3 140.4 Excellence .....	34
4.	REZULTATI.....	36
4.1	Potrebna energija za grijanje $Q_{H,nd}$ i hlađenje $Q_{C,nd}$ prema HRN EN 13790.....	36
4.2	Toplinska energija za pripremu PTV-a $Q_{W,gnr,out}$ prema HRN EN 15316-3:2008 .....	46
4.3	Proračun sustava za grijanje i hlađenje prostora prema HRN EN 15316:2008.....	48
4.3.1	Energija podsustava predaje i razvoda topline za grijanje prostora prema normi HRN EN 15316-2:2008 .....	48
4.3.2	Usporedba energija $Q_{H,gen,out}$ , $Q_{C,gen,out}$ , $Q_{W,gen,out}$ .....	53
4.3.3	Sustavi za proizvodnju topline .....	55
4.4	Proračun ukupne pomoćne energije, isporučene energije, primarne energije, godišnje emisije CO <sub>2</sub> .....	61
4.4.1	Ukupna pomoćna energija.....	61
4.4.2	Isporučena energija.....	62
4.4.3	Primarna energija.....	63
4.4.4	Emisija CO <sub>2</sub> .....	64
4.5	Troškovi investicije i troškovi pogona .....	65
4.5.1	Troškovi investicije .....	65
4.5.2	Troškovi pogona.....	69
4.5.3	Ukupni trošak sustava kroz period od 15 godina .....	69
4.5.4	Utrošak primarne energije $E_{prim}$ kroz period od 15 godina.....	70
4.5.5	Emisija CO <sub>2</sub> tijekom 15 godina.....	72
5.	ZAKLJUČAK .....	73
6.	LITERATURA .....	75

**POPIS SLIKA**

Slika 1. Pročelja hotela.....	2
Slika 2. Karakterističan kat i presjek hotela .....	4
Slika 3. Parapetni i kazetni ventilokonvektor.....	24
Slika 4. Spremnik CAS 5002 .....	25
Slika 5. Clivet WSAN-XCS3 MF 140.4 .....	26
Slika 6. Ts dijagram dizalice topline .....	26
Slika 7. Shema rada četverocijevne dizalice topline s rekuperacijom .....	27
Slika 8. Pojednostavljena shema sustava grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a tehničkog rješenja 1 .....	28
Slika 9. Clivet WSH-XEE2 HW 80,2 .....	29
Slika 10. Pojednostavljena shema sustava grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a tehničkog rješenja 2 .....	30
Slika 11. Dizalica topline Clivet WSHN-XSC3 120.2.....	30
Slika 12. Shema rada dvocijevne dizalice topline bez rekuperacije.....	31
Slika 13. Pojednostavljena shema sustava grijanja, hlađenja i pripremu PTV-a tehničkog rješenja 3 .....	32
Slika 14. Kotao na biomasu Centrometal EKO-CS Multi plus 340 kW .....	32
Slika 15. Shema rada četverocijevnog rashladnika Clivet WSAT-XSC3 140.4.....	33
Slika 16. Pojednostavljena shema sustava grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a tehničkog rješenja 4 .....	34
Slika 17. Pojednostavljena shema sustava grijanja, hlađenja i pripremu PTV-a tehničkog rješenja 5 .....	35
Slika 18. Usporedba rezultata mjesečne i satne metode za zonu broj 1 .....	43
Slika 19. Usporedba rezultata mjesečne i satne metode za zonu broj 2.....	43
Slika 20. Usporedba rezultata mjesečne i satne metode za zonu broj 3.....	44
Slika 21. Potrebne topline za grijanje i hlađenje za čitavu zgradu.....	45
Slika 22. Godišnje potrebne energije za grijanje i hlađenje .....	45
Slika 23. $Q_{H,nd}$ , $Q_{H,em,out}$ , $Q_{H,dis,out}$ i $Q_{H,dis,in}$ zone broj 1.....	49
Slika 24. $Q_{H,nd}$ , $Q_{H,em,out}$ , $Q_{H,dis,out}$ i $Q_{H,dis,in}$ zone broj 3.....	51
Slika 25. $Q_{C,nd}$ , $Q_{C,em,out}$ , $Q_{C,dis,out}$ i $Q_{C,dis,in}$ zone broj 1 .....	52
Slika 26. $Q_{C,nd}$ , $Q_{C,em,out}$ , $Q_{C,dis,out}$ i $Q_{C,dis,in}$ zone broj 2 .....	52
Slika 27. $Q_{C,nd}$ , $Q_{C,em,out}$ , $Q_{C,dis,out}$ i $Q_{C,dis,in}$ zone broj 3 .....	53
Slika 28. Usporedba mjesečnih iznosa $Q_{H,gen,out}$ , $Q_{C,gen,out}$ , $Q_{W,gen,out}$ .....	54



---

Slika 29. Usporedba godišnjih iznosa $Q_{H,gen,out}$ , $Q_{C,gen,out}$ , $Q_{W,gen,out}$ .....	54
Slika 30. Grafička usporedba $E_{del}$ za promatrana tehnička rješenja.....	63
Slika 31. Grafička usporedba $E_{prim}$ za promatrana tehnička rješenja .....	64
Slika 32. Godišnja emisija $CO_2$ za promatrana tehnička rješenja .....	65
Slika 33. Cijena investicije za promatrana tehnička rješenja .....	68
Slika 34. Ukupni trošak kroz 15 godina .....	70
Slika 35. Utrošak primarne energije tijekom 15 godina.....	71
Slika 36. Emisija $CO_2$ tijekom 15 godina .....	72

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Karakteristike zona.....	5
Tablica 2. Rezultati proračuna $Q_{H,nd}$ zone broj 1, mjesečna metoda.....	37
Tablica 3. Rezultati proračuna $Q_{C,nd}$ zone broj 1, mjesečna metoda.....	37
Tablica 4. Rezultati proračuna $Q_{H,nd}$ zone broj 2, mjesečna metoda.....	38
Tablica 5. Rezultati proračuna $Q_{C,nd}$ zone broj 2, mjesečna metoda.....	38
Tablica 6. Rezultati proračuna $Q_{H,nd}$ zone broj 3, mjesečna metoda.....	39
Tablica 7. Rezultati proračuna $Q_{C,nd}$ zone broj 3, mjesečna metoda.....	39
Tablica 8. Rezultati proračuna $Q_{H,nd}$ zone broj 1, jednostavna satna metoda .....	40
Tablica 9. Rezultati proračuna $Q_{C,nd}$ zone broj 1, jednostavna satna metoda .....	40
Tablica 10. Rezultati proračuna $Q_{H,nd}$ zone broj 2, jednostavna satna metoda .....	41
Tablica 11. Rezultati proračuna $Q_{C,nd}$ zone broj 2, jednostavna satna metoda .....	41
Tablica 12. Rezultati proračuna $Q_{H,nd}$ zone broj 3, jednostavna satna metoda .....	42
Tablica 13. Rezultati proračuna $Q_{C,nd}$ zone broj 3, jednostavna satna metoda .....	42
Tablica 14. Karakteristike sustava pripreme PTV-a .....	46
Tablica 15. Rezultati proračuna razvoda sustava pripreme PTV-a.....	47
Tablica 16. Rezultati proračuna spremnika i primarne cirkulacije sustava pripreme PTV-a te $Q_{W,gen,out}$ .....	47
Tablica 17 Rezultati proračuna $Q_{H,em,in}$ i $Q_{H,dis,in}$ za zonu broj 1.....	48
Tablica 18 Rezultati proračuna $Q_{H,em,in}$ i $Q_{H,dis,in}$ za zonu 3 .....	50
Tablica 19. Energije $Q_{H,gen,out}$ , $Q_{C,gen,out}$ , $Q_{W,gen,out}$ .....	53
Tablica 20. Izlazni podaci booster dizalice topline Clivet WSH-XEE2 HW 80,2.....	55
Tablica 21. Izlazni podaci za dizalicu topline zrak-voda Clivet WSAN-XCS3 MF 140.4.....	56
Tablica 22. Izlazni podaci za dizalicu topline voda – voda Clivet WSHN-XEE2 MF 120.4 ..	57
Tablica 23. Izlazni podaci za dizalicu topline voda – voda Clivet WSHN-XSC3 120.2.....	57
Tablica 24. Rezultati proračuna kotla na biomasu, za tehničko rješenje 4 .....	59
Tablica 25. Izlazni podaci za dizalicu topline voda – voda Clivet WSH-XEE2 HW 80,2.....	59
Tablica 26. Rezultati proračuna kotla na drvenu sječku, za tehničko rješenje 5.....	60
Tablica 27. Pomoćne energije $W_{Ve,aux,rot}$ i $W_{Ve,aux,fan}$ .....	61
Tablica 28. Pomoćne energije sustava grijanja, hlađenja i pripreme PTV za tehnička rješenja 1 do 5 .....	62
Tablica 29. Isporučene energije $E_{del}$ za tehnička rješenja 1 do 5 .....	62
Tablica 30. Primarne energije $E_{prim}$ za tehnička rješenja 1 do 5 .....	63
Tablica 31. Emisija $CO_2$ za tehnička rješenja 1 do 5 .....	64

---

Tablica 32. Troškovi investicije za tehničko rješenje 1 .....	65
Tablica 33. Troškovi investicije za tehničko rješenje 2 .....	66
Tablica 34. Troškovi investicije za tehničko rješenje 3 .....	66
Tablica 35. Troškovi investicije za tehničko rješenje 4 .....	67
Tablica 36. Troškovi investicije za tehničko rješenje 5 .....	68
Tablica 37. Godišnji troškovi pogona za tehnička rješenja 1 do 5.....	69
Tablica 38. Ukupni trošak kroz 15 godina .....	69
Tablica 39. Utrošak primarne energije $E_{\text{prim}}$ kroz 15 godina .....	70
Tablica 40. Emisija $\text{CO}_2$ tijekom 15 godina .....	72

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Mjerna jedinica</b>	<b>Opis</b>
$Q_{H,nd}$	kWh	Potrebna toplinska energija za grijanje
$Q_{C,nd}$	kWh	Potrebna toplinska energija za hlađenje
$H_D$	W/K	Koeficijent transmisije izmjene topline od grijanog prostora prema vanjskom okolišu
$H_{Tr}$	W/K	Koeficijent transmisije izmjene topline
$Q_{Tr,H}$	kWh	Toplina izmijenjena transmisijom za sezonu grijanja
$Q_{Tr,C}$	kWh	Toplina izmijenjena transmisijom za sezonu hlađenja
$\vartheta_{int,H}$	°C	Unutarnja postavna temperatura grijane zone, sezona grijanja
$\vartheta_{int,C}$	°C	Unutarnja postavna temperatura grijane zone, sezona grijanja
$t$	h	Trajanje proračunskog razdoblja
$\vartheta_e$	°C	Vanjska temperatura za proračunski period
$Q_{Ve,H}$	kWh	Toplina izmijenjena transmisijom za sezonu grijanja
$Q_{Ve,C}$	kWh	Toplina izmijenjena transmisijom za sezonu hlađenja
$Q_{Ve,inf}$	kWh	Potrebna toplina radi infiltracije vanjskog zraka
$Q_{Ve,win}$	kWh	Potrebna toplina radi prozračivanja otvaranjem prozora
$Q_{H,Ve,mech}$	kWh	Potrebna toplinska energija u sustavu mehaničke ventilacije, sezona grijanja
$Q_{C,Ve,mech}$	kWh	Potrebna toplinska energija u sustavu mehaničke ventilacije, sezona hlađenja
$n_{mech,sup}$	h <sup>-1</sup>	Broj izmjena zraka dovedenog u prostor mehaničkom ventilacijom
$V_{mech,sup}$	m <sup>3</sup> /h	Volumni protok zraka dovedenog mehaničkom ventilacijom
$Q_{int}$	kWh	Unutarnji toplinski dobitci zgrade (ljudi, uređaji, rasvjeta)
$q_{spec}$	W/m <sup>2</sup>	Specifični unutarnji dobitak
$A_K$	m <sup>2</sup>	Ploština korisne površine
$Q_{sol}$	kWh	Toplinski dobitci od sunčevog zračenja
$Q_{sol,k}$	kWh	Toplinski dobitci od sunčevog zračenja k-tog građevnog dijela
$f_{with}$	-	Koeficijent udjela vremena s uključenom pomičnom zaštitom
$Q_{H,ht}$	kWh	Ukupno izmijenjena toplinska energija u periodu grijanja
$Q_{H,gn}$	kWh	Ukupni toplinski dobitci zgrade u periodu grijanja
$Q_{H,nd,cont}$	kWh	Potrebna toplinska energija za grijanje pri kontinuiranom radu

$\eta_{H,gn}$	-	Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka kod grijanja
$f_{H,m}$	-	Udio broja dana u mjesecu koji pripada sezoni grijanja
$L_{H,m}$	d/mj	Ukupni broj dana grijanja u mjesecu
$d_m$	d/mj	Ukupni broj dana u mjesecu
$Q_{H,nd,cont,a}$	kWh/a	Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje zgrade (zone) pri kontinuiranom radu
$Q_{H,nd,a}$	kWh/a	Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje zgrade (zone) pri nekontinuiranom radu
$Q_{C,ht}$	kWh	Ukupno izmijenjena toplinska energija u periodu hlađenja
$Q_{C,gn}$	kWh	Ukupni toplinski dobitci zgrade u periodu hlađenja
$Q_{C,nd,m}$	kWh/a	Mjesečna potrebna toplinska energija za hlađenje zgrade (zone) pri kontinuiranom radu
$\eta_{C,ls}$	-	Faktor iskorištenja toplinskih gubitaka kod hlađenja
$f_{C,m}$	-	Udio broja dana u mjesecu koji pripada sezoni hlađenja
$L_{C,m}$	d/mj	Ukupni broj dana hlađenja u mjesecu
$Q_{C,nd,a}$	kWh/a	Godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje zgrade (zone)
$Q_w$	kWh	Toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a u promatranom periodu
$V_{W,f,day}$	lit/jedinici/dan	Dnevna potrošnja PTV-a po jedinici pri temperaturi $\Theta_{W,del}$
$f$	jedinica	Broj jedinica (npr. kreveta)
$\Theta_{W,del}$	°C	Temperatura potrošne tople vode
$\Theta_{W,0}$	°C	Temperatura svježje vode
$d'$	dan	Broj dana u promatranom periodu
$Q_{W,dis,in}$	kWh	Toplinska energija na ulazu u podsustav razvoda PTV-a
$Q_{W,dis,aux,rvd}$	kWh	Vraćena pomoćna energija u podsustav razvoda PTV-a
$Q_{W,dis,ls}$	kWh	Ukupni toplinski gubici u podsustavu razvoda PTV-a
$W_{W,dis,aux}$	kWh	Pomoćna energija podsustava razvoda PTV-a
$Q_{W,dis,ls,nc}$	kWh	Toplinski gubici dijelova razvoda PTV-a izvan cirkulacijske petlje
$Q_{W,dis,ls,col}$	kWh	Toplinski gubici cirkulacijske petlje
$V_{W,st}$	l	Volumen spremnika za PTV
$Q_{W,day}$	kWh/dan	Toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a u jednom danu
$\Phi_n$	-	Faktor istovremenosti

$\Phi_2$	-	Faktor načina života
$Z_A$	h	Vrijeme zagrijavanja
$Z_B$	h	Trajanje najveće potrebe tople vode
$a$	-	Proračunski faktor
$\Phi_W$	kW	Potreban ogrjevni učin za zagrijavanje PTV-a
$c_W$	kJ/kgK	Specifični toplinski kapacitet vode
$\rho_W$	kg/m <sup>3</sup>	Gustoća vode
$Q_{W,st,ls}$	kWh	Ukupni toplinski gubici spremnika
$U_{W,st}$	W/K	Ukupni koeficijent toplinskih gubitaka spremnika
$Q_{W,p,ls}$	kWh	Ukupni toplinski gubici primarne cirkulacije između generatora i spremnika PTV-a
$L_{W,p}$	m	Ukupna duljina cjevovoda primarne cirkulacije
$t_{W,gen,nom}$	h	Vrijeme rada pumpe primarne cirkulacije
$Q_{W,gen,out}$	kWh	Toplinska energija koju generator predaje u sustav razvoda
$P_{gen,nom}$	kW	Nazivna snaga generatora
$Q_{H,em,out}$	kWh	Toplinska energija na izlazu iz podsustava predaje, sezona grijanja
$\Sigma Q_{H,ls,rvd}$	kWh	Zbroj svih iskorištenih toplinskih gubitaka sustava grijanja
$\Sigma Q_{W,ls,rvd}$	kWh	Zbroj svih iskorištenih toplinskih gubitaka sustava PTV-a
$\eta_{rvd}$	-	Stupanj iskorištenja iskoristivih gubitaka
$Q_{H,em,in}$	kWh	Toplinska energija na ulazu u podsustav predaje, sezona grijanja
$Q_{em,aux,rvd}$	kWh	Vraćena pomoćna energija u podsustav predaje
$Q_{H,em,ls}$	kWh	Ukupni toplinski gubici podsustava predaje, sezona grijanja
$Q_{C,em,out}$	kWh	Toplinska energija na izlazu iz podsustava predaje, sezona hlađenja
$\Sigma Q_{C,ls,rvd}$	kWh	Zbroj svih iskorištenih toplinskih gubitaka sustava hlađenja
$Q_{C,em,in}$	kWh	Toplinska energija na ulazu u podsustav predaje, sezona hlađenja
$Q_{C,em,ls}$	kWh	Ukupni toplinski gubici podsustava predaje, sezona hlađenja
$Q_{H,dis,in}$	kWh	Toplinska energija na ulazu u podsustav razvoda, sezona grijanja
$Q_{H,dis,out}$	kWh	Toplinska energija na izlazu iz podsustava razvoda, sezona grijanja
$Q_{H,dis,aux,rvd}$	kWh	Vraćena pomoćna energija radnom mediju za podsustav razvoda, sezona grijanja
$Q_{H,dis,ls}$	kWh	Ukupni toplinski gubici u podsustavu razvoda, sezona grijanja
$Q_{C,dis,in}$	kWh	Toplinska energija na ulazu u podsustav razvoda, sezona hlađenja

$Q_{C,dis,out}$	kWh	Toplinska energija na izlazu iz podsustava razvoda, sezona hlađenja
$Q_{C,dis,aux,rvd}$	kWh	Vraćena pomoćna energija radnom mediju za podsustav razvoda, sezona hlađenja
$Q_{C,dis,ls}$	kWh	Ukupni toplinski gubici u podsustavu razvoda, sezona hlađenja
$Q_{H,gen,out}$	kWh	Toplinska energija na izlazu iz podsustava proizvodnje, sezona grijanja
$Q_{C,gen,out}$	kWh	Toplinska energija na izlazu iz podsustava proizvodnje, sezona Hlađenja
$N_j$	h	Broj sati pojavljivanja vanjske temperature zraka u razredu j s korakom 1 K
$N_k$	h	Kumulativni broj sati pojavljivanja vanjske temperature u razredima od j do k
$DH_{H,j}$	°Ch	Stupanj sati grijanja za razred j
$DH_{H,k}$	°Ch	Kumulativno broj stupanj sati grijanja do razreda k
$E_{HW,gen,in}$	kWh	Pogonska energija za pogon generatora topline (dizalice topline i pomoćnog grijača), za grijanje prostora i PTV
$E_{H,hp,in}$	kWh	Utrošena energija za pogon dizalice topline u režimu grijanja
$E_{W,hp,in}$	kWh	Utrošena energija za pogon dizalice topline za pripremu PTV-a
$SPF_{HW,hp}$	-	Godišnji toplinski množitelj dizalice topline
$W_{gen,aux,sc}$	kWh	Pomoćna energija izvora topline
$W_{gen,aux,sby}$	kWh	Pomoćna energija regulacije
$EER$	-	Faktor energetske učinkovitosti rashladnog uređaja
$SEER$	-	Sezonski faktor energetske učinkovitosti rashladnog uređaja
$PLV_{AV}$	-	Prosječni faktor djelomičnog opterećenja
$t_{ci}$	h	Broj sati u promatranom periodu
$\beta_{gnr}$	-	Faktor opterećenja kotla
$\Phi_{Pn}$	kW	Nazivna snaga kotla
$Q_{H,sto,ls}$	kWh	Toplinski gubici akumulacijskog sustava, sezona grijanja
$Q_{H,sto,ls,ta}$	kWh	Toplinski gubitak kroz ovojnicu međuspremnika, sezona grijanja
$Q_{H,sto,ls,pip}$	kWh	Toplinski gubitak u primarnoj cirkulaciji sustava, sezona grijanja
$Q_{HW,gen,aux,rvd}$	kWh	Pomoćna energija vraćena radnom mediju kod režima grijanja

## prostora i pripreme PTV

$Q_{sto,aux,pu,rvd}$	kWh	Pomoćna energija vraćena radnom mediju od pumpe primarne cirkulacije
$W_{H,ve,aux}$	kWh	Ukupna pomoćna energija za sustav grijanja
$W_{W,aux}$	kWh	Ukupna pomoćna energija za sustav pripreme PTV-a
$W_{C,ve,aux}$	kWh	Ukupna pomoćna energija za sustav hlađenja
$W_{H,dis,aux}$	kWh	Pomoćna energija u sustavu razvoda grijanja
$W_{H,ve,aux,fan}$	kWh	Potrebna pogonska energija za pogon ventilatora mehaničke ventilacije, sezona grijanja
$W_{H,em,aux}$	kWh	Pomoćna energija u podsustavu predaje sustava grijanja
$W_{H,ve,aux,rot}$	kWh	Pomoćna energija rotora rekuperatora, sezona grijanja
$W_{H,gen,aux}$	kWh	Pomoćna energija generatora sustava grijanja
$W_{W,gen,aux}$	kWh	Pomoćna energija generatora sustava pripreme PTV-a
$W_{C,em,aux}$	kWh	Pomoćna energija u podsustavu predaje sustava hlađenja
$W_{C,dis,aux}$	kWh	Pomoćna energija u sustavu razvoda hlađenja
$W_{C,gen,aux}$	kWh	Pomoćna energija generatora sustava hlađenja
$W_{C,ve,aux,fan}$	kWh	Potrebna pogonska energija za pogon ventilatora mehaničke ventilacije, sezona hlađenja
$W_{C,ve,aux,rot}$	kWh	Pomoćna energija rotora rekuperatora, sezona hlađenja
$E_{H,del}$	kWh	Isporučena energija za sustav grijanja
$E_{H,gen,del,el}$	kWh	Isporučena električna energija generatoru za sustav grijanja
$Q_{H,gen,in}$	kWh	Toplinska energija na ulazu u podsustav proizvodnje, sustav grijanja
$E_{W,del}$	kWh	Isporučena električna energija generatoru za sustav grijanja
$E_{W,gen,in,el}$	kWh	Električna energija isporučena generatoru za pripremu PTV-a
$Q_{W,gen,in}$	kWh	Toplinska energija na ulazu u podsustav proizvodnje za pripremu PTV-a
$E_{W,del}$	kWh	Isporučena električna energija generatoru za sustav pripreme PTV-a
$E_{C,gen,in,el}$	kWh	Električna energija isporučena generatoru za sustav hlađenja
$E_{del,el}$	kWh	Ukupno isporučena električna energija
$E_{H,del,el}$	kWh	Isporučena električna energija za sustav grijanja
$E_{C,del,el}$	kWh	Isporučena električna energija za sustav hlađenja
$E_{C,del}$	kWh	Isporučena energija generatoru za sustav hlađenja
$E_{prim}$	kWh	Primarna energija



---

$f_{p,el}$	-	Faktor primarne energije za električnu energiju
$f_{p,sječka}$	-	Faktor primarne energije za drvenu sječku
$CO_{2,H}$	kg CO <sub>2</sub> /a	Godišnja emisija CO <sub>2</sub> za sustav grijanja
$CO_{2,W}$	kg CO <sub>2</sub> /a	Godišnja emisija CO <sub>2</sub> za sustav pripreme PTV
$CO_{2,C}$	kg CO <sub>2</sub> /a	Godišnja emisija CO <sub>2</sub> za sustav hlađenja
$C_{el}$	-	Faktor emisije CO <sub>2</sub> za električnu energiju
$C_{sječka}$	-	Faktor emisije CO <sub>2</sub> za drvenu sječku
$CO_{2,a}$	kg CO <sub>2</sub> /a	Godišnja emisija CO <sub>2</sub> za sve sustave

## SAŽETAK

U ovom radu uspoređeno je nekoliko tehničkih rješenja sustava grijanja, hlađenja i pripreme potrošne tople vode za referentnu niskoenergetsku hotelsku zgradu u primorskoj Hrvatskoj prema kriteriju primarne energije, troškova investicije i troškova pogona. Referentna hotelska zgrada se sastoji od 7 etaža i ukupne je podne površine 6.912 m<sup>2</sup>, potrebnog ogrjevnog učina 260 kW i rashladnog učina 400 kW.

Zgrada je podijeljena u tri proračunske zone. Zona broj 1 su sobe, nalazi se na katovima od 2 do 6, prirodno je ventilirana i ima cirkulacijsku petlju potrošne tople vode. Zona broj 2 je kuhinja, nalazi se na prvom katu, ima mehaničku ventilaciju s rekuperatorima i nema cirkulacijsku petlju potrošne tople vode. Zona broj 3 su zajedničke prostorije, nalazi se u prizemlju i na prvom katu, ima mehaničku ventilaciju s rekuperatorima i nema cirkulacijsku petlju potrošne tople vode.

Za sve proračunske zone je predviđeni sustav grijanja i hlađenja pomoću ventilokonvektora u dvocijevnoj izvedbi. Za sve proračunske zone je temperaturni režim grijanja je 45/40°C, a hlađenja 7/12°C. Potrebna toplinska energija za grijanje zgrade  $Q_{H,nd}$  i za hlađenje zgrade  $Q_{C,nd}$  izračunata je prema HRN EN ISO 13790 mjesečnom i jednostavnom satnom metodom za karakterističan dan u mjesecu te su rezultati međusobno uspoređeni. Proračun sustava za pripremu PTV-a je prema normama HRN EN 15316-3-1, HRN EN 15316-3-2, HRN EN 15316-3-3. Proračun sustava za grijanje i hlađenje prostora je prema normama HRN EN 15316-2-1, HRN EN 15316-2-3, HRN EN 15316-4-7, HRN EN 15316-4-2.

U ovom radu uspoređena su sljedeća tehnička rješenja sustava grijanja, hlađenja i pripreme potrošne tople vode:

1. Dizalica topline zrak-voda s rekuperacijom i *booster* dizalica topline voda-voda
2. Dizalica topline voda-voda s rekuperacijom i *booster* dizalica topline voda-voda
3. Dizalica topline voda-voda bez rekuperacije i *booster* dizalica topline voda-voda
4. Kotao na drvenu sječku, rashladnik zrak-voda i *booster* dizalica topline voda-voda
5. Kotao na drvenu sječku i rashladnik zrak-voda

*Booster* dizalica topline služi za pripremu potrošne tople vode temperature 60°C i pri tome koristi toplinu koju je pripremila glavna dizalica topline.

Za svako tehničko rješenje priložena je shema spajanja sustava.

Financijski najpovoljnije rješenje te s najmanjim utroškom primarne energije i emisijom CO<sub>2</sub> je tehničko rješenje broj 5. Najskuplje i s većim utroškom primarne energije te s većom emisijom CO<sub>2</sub> pokazalo se tehničko rješenje broj 1. Usporedbom ukupnih troškova nakon perioda od 15 godina, tehničko rješenje broj 1 je 26% skuplje od tehničkog rješenja broj 5.

Ključne riječi: grijanje, hlađenje, PTV, dizalica topline zrak-voda, dizalica topline voda-voda, kotao na biomasu, rashladnik zrak-voda, jednostavna satna metoda, mjesečna metoda

## SUMMARY

Within this thesis, several technical solutions for heating, cooling and preparation of domestic hot water systems were compared for a reference low-energy hotel building, based on criteria of primary energy, investment costs and operating costs. The reference hotel building is located in Primorska Hrvatska (Coastal Croatia) and has seven levels. The total floor area is 6.912 m<sup>2</sup> and the needed generator's heating capacity is a minimum of 260 kW while the cooling capacity is 400 kW.

The building is divided into three zones. Zone number 1, rooms, is located on floors from 2 to 6. Zone number 1 is naturally ventilated and has a circulation loop for DHW. Zone number 2, kitchen, is on the first floor. Zone number 2 is mechanically ventilated and has no circulation loop for DHW. Zone number 3, common areas, is located on the ground level and on the first floor. Zone number 3 is mechanically ventilated and has no circulation loop for DHW. Envisaged heating/cooling system is two pipe with fan coils. Heating regime is 45/40°C while the cooling regime is 7/12°C. Energy need for heating  $Q_{H,nd}$  and energy need for cooling  $Q_{C,nd}$  were calculated according to HRN EN ISO 13790 using both monthly method and simple hourly method and results of both methods were compared.

Following technical solutions for heating, cooling and DHW systems were compared:

1. Air-to-water heat pump with condenser heat recovery and *booster* heat pump water-to-water
2. Water-to-water heat pump with condenser heat recovery and *booster* heat pump water-to-water
3. Water-to-water heat pump without condenser heat recovery and *booster* heat pump water-to-water
4. Biomass boiler, air-to-water chiller and *booster* heat pump water-to-water
5. Biomass boiler and air-to-water chiller

*Booster* heat pump is used for the preparation of 60°C domestic hot water.

An assembly diagram is provided for each technical solution.

The most expensive and with a big usage of primary energy and CO<sub>2</sub> emission was technical solution number 1. The least expensive and with the lowest usage of primary energy and CO<sub>2</sub> emission was technical solution number 5.

Key words: heating, cooling, DHW, air-to-water heat pump, water-to-water heat pump, air-to-water chiller, biomass boiler, monthly method, simple hourly method

## 1. UVOD

Zgrada za koju je potrebno napraviti odabir i optimizaciju sustava prema kriteriju primarne energije, troškova investicije i troškova pogona je hotel u gradu Šibeniku na području primorske Hrvatske. Za izradu računalnog modela energetske usporedbe sustava korišten je program Microsoft Excel. Program KI Expert korišten je prilikom izrade računalnog modela radi provjere rezultata.

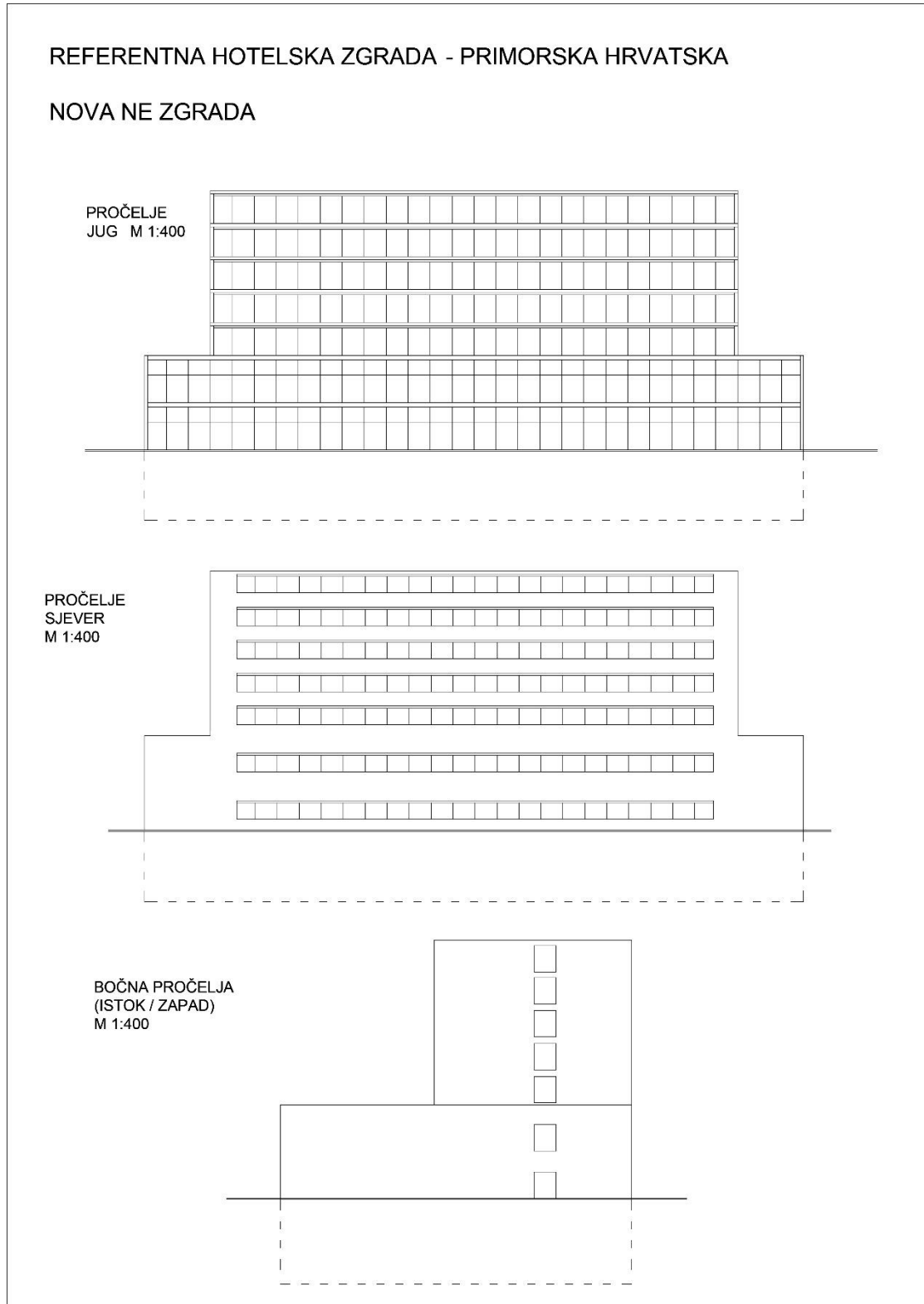
Hotel koji je predmet ovog rada je referentna hotelska zgrada za područje primorske Hrvatske, nova niskoenergetska zgrada. Prema delegiranoj uredbi komisije (EU) br. 244/2012, referentna zgrada znači hipotetska ili stvarna referentna zgrada koja predstavlja tipičnu geometriju i sustave zgrada, tipična energetska svojstva ovojnice i sustava zgrade, tipičnu funkcionalnost i tipičnu troškovnu strukturu u državi članici i reprezentativna je u smislu klimatskih uvjeta i zemljopisnog smještaja. Prema *Pravilniku o energetsom pregledu zgrade i energetsom certificiranju*, NN 88/2017, članku 18, točki 2, primorska Hrvatska uključuje sva mjesta kod kojih je srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade  $> 3$  °C.

Na slici 1. prikazana su pročelja hotela. Hotel ima šest katova, ukupna podna površina je 6.912 m<sup>2</sup>. Ispod hotelske zgrade nalazi se parkirališni prostor. Vanjski zidovi i pod prema parkirališnom prostoru su izolirani sa 20 cm mineralne vune. Ravni krov je izoliran sa 24 cm mineralne vune. Ostakljenja su izvedena s dvostruko izolirajućim staklom s jednim staklom niske emisije.

Unutarnja projektna temperatura  $\vartheta_{int,H}$  je 20°C za sezonu grijanja, a za sezonu hlađenja je  $\vartheta_{int,C}$  jednak 24°C. Za grijanje i hlađenje svih prostorija koriste se ventilokonvektori. Sustav grijanja i hlađenja je u dvocijevnoj izvedbi. Odabrani temperaturni režim grijanja je niskotemperaturni 45/40°C, a hlađenja 7/12°C. Za niskoenergetsku zgradu je specifično toplinsko opterećenje do 40 W/m<sup>2</sup>, podatak iz [7] i taj iznos je korišten za određivanje potrebnog učina grijanja i hlađenja.

Zgrada je podijeljena na tri proračunske zone. Zona broj 1 su hotelske sobe i hodnici, odnosno katovi dva do šest. Ova zona je ukupne podne površine 3.456 m<sup>2</sup> i obujma grijanog dijela 11.520 m<sup>2</sup>. Ukupan broj hotelskih soba je 132. U zoni broj 1 koriste se parapetni ventilokonvektori proizvod Sabiana tip CRC 14, ukupno 137 komada. Zona broj 1 je prirodno

ventilirana, a grijanje i hlađenje prostorija u zoni broj 1 se koristi 24 sata dnevno tijekom čitave godine.



*Slika 1. Pročelja hotela*

Zona broj 2 je kuhinja i smještena je na prvom katu. Podna površina kuhinje je  $388 \text{ m}^2$  i obujam grijanog dijela je  $1.857 \text{ m}^3$ . Ova zona ima intenzivne unutarnje toplinske dobitke od  $230 \text{ W/m}^2$  tijekom radnog vremena kuhinje. U zoni broj 2 se koristi mehanička ventilacija pomoću rekuperatora, shema 2 iz [3]. U zoni broj 2 koriste se kazetni ventilokonvektori proizvod Sabiana tip Skystar SK 62, ukupno 15 komada. Radno vrijeme kuhinje je 14 sati dnevno, a sustav grijanja odnosno hlađenja se koristi 16 sati dnevno tijekom čitave godine.

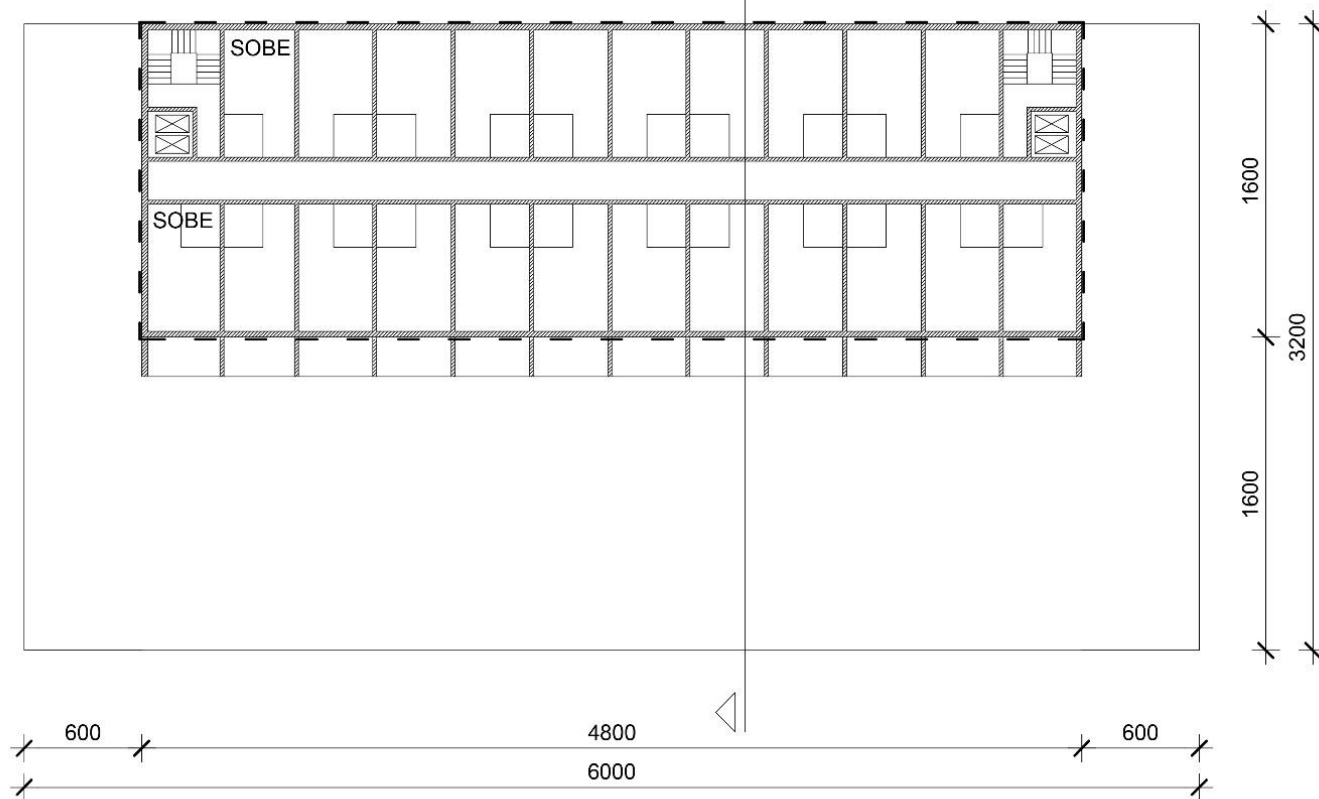
Zona broj 3 su zajedničke prostorije i nalazi se u prizemlju i prvom katu. Ukupna podna površina zone broj 3 je  $3.067 \text{ m}^2$  i obujam grijanog dijela je  $14.654 \text{ m}^3$ . Zona broj 3 je također mehanički ventilirana kao i zona broj 2, shema 2 iz [3]. U zoni broj 3 koriste se parapetni ventilokonvektori proizvod Sabiana tip CRC 54, ukupno 40 komada. Predviđeno radno vrijeme zajedničkih prostorija je 14 sati dnevno te se sustav grijanja odnosno hlađenja koristi 16 sati dnevno tijekom čitave godine.

Na slici 2. prikazan je tlocrt karakterističnog kata zone broj 1 i presjek hotela.

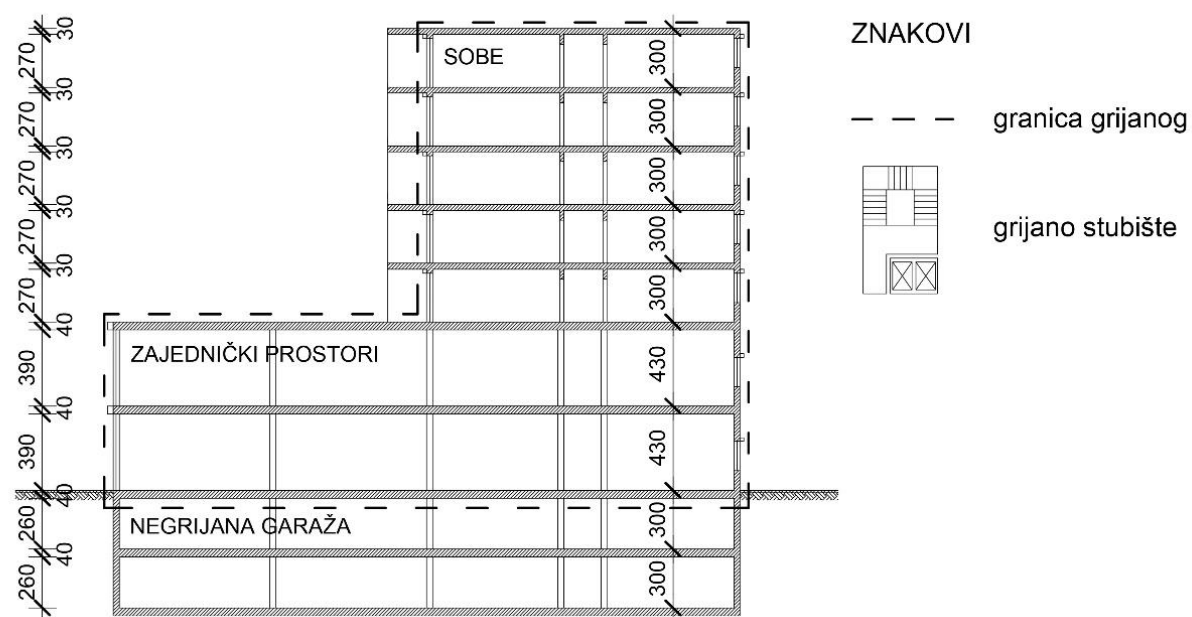
Na temelju podne površine i specifičnog toplinskog opterećenja izračunat je ukupni ogrjevni učin generatora topline od  $260 \text{ kW}$  i rashladni učin od  $400 \text{ kW}$ . Kuhinja ima intenzivne toplinske dobitke i zbog toga je za čitavu zgradu je potreban veći rashladni učin nego ogrjevni.

TLOCRT KARAKTERISTIČNOG KATA

M 1:400



PRESJEK M 1:400



Slika 2. Karakterističan kat i presjek hotela



## 2. METODOLOGIJA

U tablici 1. dane su osnovne karakteristike zona.

Tablica 1. Karakteristike zona

	Zona broj 1 - sobe	Zona broj 2 - kuhinja	Zona broj 3 – zajedničke prostorije	Čitava zgrada
Korisna površina, $A_k$	3456 m <sup>2</sup>	388,8 m <sup>2</sup>	3067,2 m <sup>2</sup>	6912 m <sup>2</sup>
Mehanička ventilacija	Ne	Da, rekuperatori (shema 2 iz [3])	Da, rekuperatori (shema 2 iz [3])	
Ogrjevna/rashladna tijela	Ventilokonvektori	Ventilokonvektori	Ventilokonvektori	
Ogrjevni učin	145,2 kW	109,9 kW	126,4 kW	381,5 kW
Rashladni učin	132,9 kW	111,1 kW	124,8 kW	368,8 kW
Temperatura PTV	45°C	60°C	45°C	
Specifični unutarnji toplinski dobici $q_{spec}$	5 W/m <sup>2</sup>	230 W/m <sup>2</sup>	6 W/m <sup>2</sup>	
Korištenje zone	24 h / 7 dana tjedno	16 h / 7 dana tjedno	16 h / 7 dana tjedno	

Učini su izračunati prema podacima za srednju brzinu vrtnje ventilatora ventilokonvektora.

Režim grijanja je 45/40°C, a hlađenja 7/12°C.

### 2.1 Proračun potrebne energije za grijanje $Q_{H,nd}$ i hlađenje $Q_{C,nd}$ prostora zgrade prema HRN EN 13790

Izračun vrijednosti  $Q_{H,nd}$  i  $Q_{C,nd}$  može biti mjesečnom metodom ili jednostavnom satnom metodom. Proračun kod jednostavne satne metode je izvršen za karakteristični dan u mjesecu. Usporedba rezultata dobivenih pomoću obje metode je prikazana u poglavlju 4. Potrebni meteorološki klimatski podaci za Šibenik preuzeti su sa internet stranice Ministarstva graditeljstva i prostornog uređenja Republike Hrvatske [1]. Vrijednosti sezone grijanja imaju indeks H, a vrijednosti sezone hlađenja indeks C.

#### 2.1.1 Izmijenjena toplinska energija transmisijom $Q_{Tr}$

Toplina se izmjenjuje transmisijom iz grijanog prostora prema vanjskom okolišu kroz zidove, krov, pod prema negrijanoj garaži, vrata i prozore. Za svaku zonu izračunat je  $H_D$ , koeficijent izmjene topline prema vanjskom okolišu koji je kod ove zgrade jednak  $H_{Tr}$ ,

koeficijentu transmisije izmjene topline. Toplina izmijenjena transmisijom  $Q_{Tr}$  računa se prema izrazima:

$$\text{Period grijanja (indeks H)} \quad Q_{Tr,H} = \frac{H_{Tr,H}}{1000} \cdot (\vartheta_{int,H} - \vartheta_e) \cdot t \text{ [kWh]} \quad (1)$$

$$\text{Period hlađenja (indeks C)} \quad Q_{Tr,C} = \frac{H_{Tr,C}}{1000} \cdot (\vartheta_{int,C} - \vartheta_e) \cdot t \text{ [kWh]} \quad (2)$$

Vrijednost  $t$  [h], trajanje proračunskog razdoblja, kod mjesečne metode iznosi zbroj svih sati u mjesecu, a kod jednostavne satne metode je 1 sat.

### 2.1.2 Izmijenjena toplinska energija ventilacijom $Q_{Ve}$

$$\text{Period grijanja: } Q_{Ve,H} = Q_{Ve,inf} + Q_{Ve,win} + Q_{H,Ve,mech} \text{ [kWh]} \quad (3)$$

$$\text{Period hlađenja: } Q_{Ve,C} = Q_{Ve,inf} + Q_{Ve,win} + Q_{C,Ve,mech} \text{ [kWh]} \quad (4)$$

$Q_{Ve,inf}$  je toplina izmijenjena uslijed infiltracije vanjskog zraka, izraz (1.55) iz [2];  $Q_{Ve,win}$  je toplina izmijenjena uslijed prozračivanja otvaranjem prozora, izraz (1.58) iz [2], a  $Q_{Ve,mech}$  je toplina uslijed mehaničke ventilacije. Zone broj 2 i broj 3 imaju mehaničku ventilaciju s rekuperatorima, shema 2 iz [3] i računa se prema izrazima (3.19a) do (3.27) iz [3].

Kod zone broj 1 mehanička ventilacija se ne koristi jer se samim otvaranjem prozora i infiltracijom ostvaruje broj izmjena zraka u prostoriji od  $1,13 \text{ h}^{-1}$  koji je veći od potrebnog  $1,11 \text{ h}^{-1}$ . Zona broj 2 ima intenzivne unutarnje dobitke topline i broj izmjena zraka dovedenog u prostor mehaničkom ventilacijom  $n_{mech,sup}$  je  $16,63 \text{ h}^{-1}$ . Kad mehanička ventilacija radi, volumni protok zraka dovedenog mehaničkom ventilacijom  $V_{mech,sup}$  je  $25222 \text{ m}^3/\text{h}$ . Kod zone broj 3 se mehanička ventilacija također koristi i  $n_{mech,sup}$  je  $4,99 \text{ h}^{-1}$ , a  $V_{mech,sup}$  je  $59592 \text{ m}^3/\text{h}$ .

### 2.1.3 Unutarnji toplinski dobitci $Q_{int}$

Unutarnji toplinski dobitci predstavljaju toplinu od ljudi i uređaja.

$$Q_{int} = \frac{q_{spec} A_k \cdot t}{1000} \text{ [kWh]} \quad (5)$$

U zoni broj 1 je specifični unutarnji dobitak po  $\text{m}^2$  korisne površine  $q_{spec} = 5 \text{ W}/\text{m}^2$ , u zoni broj 2 je  $q_{spec} = 230 \text{ W}/\text{m}^2$ , u zoni broj 3 je  $q_{spec} = 6 \text{ W}/\text{m}^2$ . Zona broj 2 je kuhinja i kod te zone je  $q_{spec}$  velik zbog intenzivnog razvijanja topline prilikom kuhanja. Unutarnji toplinski dobitci ne ovise o periodu grijanja ili hlađenja.

### 2.1.4 Toplinski dobici od Sunčeva zračenja $Q_{sol}$

Solarni dobici se prema HRN EN ISO 13790 računaju pomoću  $F_{sh,ob}$  metode, opisane u [2]. Promatrani hotel nema negrijanih prostora. Balkonske lože i podzemni garažni prostor su dio vanjskog okoliša. Solarni dobici su zbroj solarnih dobitaka pojedinih građevnih dijelova tj. krova, vanjskih zidova i ostakljenja.

$$Q_{sol} = \sum_k Q_{sol,k} \text{ [kWh]} \quad (6)$$

Srednja dozračena energija Sunčevog zračenja na površinu građevnog dijela  $k$  za promatrani period je za grad Šibenik i preuzeta je iz [1]. Faktor  $f_{with}$  izračunat je iz tog podatka.

Proračuni solarnih dobitaka ostakljenja u periodu grijanja i hlađenja se međusobno razlikuju. Kod sezone grijanja smatra se kako je pomična zaštita od Sunčeva zračenja prozora uključena samo ako je intenzitet zračenja veći od  $300 \text{ W/m}^2$ , a kod sezone hlađenja se smatra da je pomična zaštita stalno uključena.

### 2.1.5 Izračun mjesečnih i godišnjih vrijednosti potrebne toplinske energije za grijanje

$Q_{H,nd}$

Toplinski gubici su zbroj toplinskih energija transmisije i ventilacije:

$$Q_{H,ht} = Q_{Tr,H} + Q_{Ve,H} \text{ [kWh]} \quad (7)$$

Toplinski dobici su zbroj unutrašnjih i solarnih dobitaka topline:

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \text{ [kWh]} \quad (8)$$

Toplinski gubici i dobici se računaju za svaki mjesec kod mjesečne metode te za svaki sat karakterističnog dana u svakom mjesecu kod satne metode. Toplinski gubici povećavaju iznos potrebne toplinske energije za grijanje zgrade (zone)  $Q_{H,nd}$ .

Svi toplinski dobici zone neće biti iskorišteni. To se uzima u obzir preko faktora iskorištenja toplinskih dobitaka za grijanje  $\eta_{H,gn}$  koji može biti samo manji od 1. Proračun  $\eta_{H,gn}$  je opisan u [2] i funkcija je efektivnog toplinskog kapaciteta zgrade te se računa za svaki mjesec.

Potrebna mjesečna toplinska energija za grijanje zone pri kontinuiranom radu (bez prekida tijekom noći i/ili vikenda):

$$Q_{H,nd,cont,m} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn} \text{ [kWh]} \quad (9)$$

U mjesecu koji je na prijelazu iz hladnijih u toplije dane, odnosno iz toplijih u hladnije, grijanje neće biti potrebno cijeli mjesec. Faktor koji uzima u obzir udio broja dana u kojima je

potrebno grijanje u mjesecu koji pripada sezoni grijanja je  $f_{H,m}$  i računa se na način opisan u [2]. Ukupan broj dana rada sustava grijanja u mjesecu je:

$$L_{H,m} = f_{H,m} d_m \quad [\text{d/mj}] \quad (10)$$

Kod sustava s kontinuiranim radom tj. bez prekida noću i/ili vikendom, godišnja potrebna toplinska energija za grijanje zgrade (zone) je:

$$Q_{H,nd,cont,a} = \sum_i Q_{H,nd,cont,m,i} \cdot L_{H,m,i}/d_{m,i} \quad [\text{kWh}] \quad (11)$$

U prethodnom izrazu je  $i$  broj mjeseci. Ako postoje prekidi noću i/ili vikendom, to se uzima u obzir pomoću faktora  $\alpha_{H,red}$ . Ako prekidi postoje,  $\alpha_{H,red}$  je manji od 1 i računa se na način opisan u [2]. Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje zgrade (zone) kod sustava s nekontinuiranim radom je:

$$Q_{H,nd,a} = \sum_i \alpha_{H,red,i} \cdot Q_{H,nd,cont,m,i} \cdot L_{H,m,i}/d_{m,i} \quad [\text{kWh}] \quad (12)$$

### 2.1.6 Izračun mjesečnih i godišnjih vrijednosti potrebne toplinske energije za hlađenje

#### $Q_{C,nd}$

Toplinski gubici, ukupno izmijenjena toplinska energija u periodu hlađenja je:

$$Q_{C,ht} = Q_{Tr,C} + Q_{Ve,C} \quad [\text{kWh}] \quad (13)$$

Toplinski dobici u periodu hlađenja su zbroj unutrašnjih i solarnih dobitaka topline:

$$Q_{C,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad [\text{kWh}] \quad (14)$$

Potrebna mjesečna toplinska energija za hlađenje zgrade pri kontinuiranom radu:

$$Q_{C,nd,m} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht} \quad [\text{kWh}] \quad (15)$$

Toplinski gubici  $Q_{C,ht}$  smanjuju iznos potrebne toplinske energije za hlađenje  $Q_{C,nd}$ . Faktor iskorištenja toplinskih gubitaka kod hlađenja  $\eta_{C,ht}$  može biti samo manji od 1 i računa se na način opisan u [2]. Faktor  $f_{C,m}$  je udio broja dana u kojima je potrebno hlađenje u mjesecu koji pripada sezoni hlađenja, računa se na način opisan u [2] i služi za proračun ukupnog broja dana rada sustava hlađenja u mjesecu:

$$L_{C,m} = f_{C,m} \cdot d_m \quad [\text{d/mj}] \quad (16)$$

Faktor  $\alpha_{C,red}$  uzima u obzir prekide u hlađenju tijekom noći i/ili vikenda, također može biti samo manji od 1 ako prekidi postoje. Ako prekidi ne postoje,  $\alpha_{C,red}$  je jednak 1. Način na koji se taj faktor računa opisan je u [2].

Godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje zgrade (zone) je:

$$Q_{C,nd,a} = \sum_i \alpha_{C,red,i} \cdot Q_{C,nd,m,i} \cdot L_{C,m,i}/d_{m,i} \quad [\text{kWh}] \quad (17)$$

## 2.2 Proračun sustava pripreme potrošne tople vode prema HRN EN 15316:2008

Proračun sustava pripreme PTV-a prema normi HRN EN 15316:2008 opisan je u [4].

### 2.2.1 Potrebna toplinska energija za pripremu potrošne tople vode prema HRN EN 15316-3-1:2008

Toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a  $Q_W$  za nestambene zgrade:

$$Q_W = 4,182 \cdot V_{W,f,day} \cdot f \cdot (\theta_{W,del} - \theta_{W,0}) \cdot d'/3600 \quad [\text{kWh}] \quad (18)$$

Toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a  $Q_W$  ovisi o specifičnoj potrošnji PTV-a  $V_{W,f,day}$  [lit/jedinici/dan], broju jedinica tj. kreveta  $f$ , temperaturi isporučene potrošne tople vode  $\theta_{W,del}$ , temperaturi svježje vode  $\theta_{W,0}$  i broju dana u promatranom periodu kad postoji potreba za PTV-om  $d'$ .

U normi HRN EN 15316-3-1 propisana je vrijednost specifične potrošnje tople vode za hotele  $V_{W,f,day}$ . Vrijednost  $V_{W,f,day}$  ovisi o broju zvjezdica hotela i ima li hotel praonicu rublja ili ne. Pretpostavka za ovaj hotel je 3 zvjezdice i postojanje praonice rublje. Time je određena vrijednost specifične potrošnje PTV-a za čitav hotel od 111 litara/jedinici/dan.  $V_{W,f,day}$  je potrebno podijeliti na proračunske zone. Zona broj 1, sobe, ima  $V_{W,f,day}$  od 28 lit/krevetu/danu. Zona broj 2, kuhinja, ima  $V_{W,f,day}$  od 29 lit/krevetu/danu. Zona broj 3, zajedničke prostorije, ima  $V_{W,f,day}$  od 54 lit/krevetu/danu. Broj kreveta  $f$  je 231. Za zone broj 1 i broj 3 je temperatura isporučene vode  $\theta_{W,del}$  45°C, a za kuhinju, zonu broj 2, je 60°C. Toplinska energija  $Q_W$  izračunava se po mjesecima za svaku zonu.

### 2.2.2 Toplinska energija na ulazu u podsustav razvoda $Q_{W,dis,in}$ prema HRN EN 15316-3-2:2008

Proračun  $Q_{W,dis,in}$  je također se računa po mjesecima i zonama, prema izrazu:

$$Q_{W,dis,in} = Q_W - Q_{W,dis,aux,rvd} + Q_{W,dis,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (19)$$

U toj jednadžbi je  $Q_{W,dis,aux,rvd}$  vraćena pomoćna energija potrošnoj toploj vodi u promatranom periodu u cirkulacijskoj petlji. Cirkulacijska petlja u podsustavu razvoda potrošne tople vode služi da korisnik ne bi dugo čekao toplu vodu od trenutka kada otvori pipu i da se čitav volumen ohlađene vode u cijevi ne bi bacao. Zona broj 1, sobe, ima cirkulacijsku petlju. Zone broj 2 i broj 3 je nemaju. Pumpa cirkulacijske petlje smještena je u zoni broj 3. Pomoćna

energija potrebna za pogon cirkulacijske petlje  $W_{W,dis,aux}$  računa se prema izrazu (7.9) iz [4]. Pomoćna energija  $W_{W,dis,aux}$  postaje toplinska energija od koje se 75% vraća radnom mediju kao  $Q_{W,dis,aux,rvd}$ , a preostalih 25% se vraća u prostor zone broj 3 jer su u njoj nalazi pumpa cirkulacijske petlje i dijelom postaje iskoristivi gubitak jer sudjeluje u grijanju zone broj 3. Povrat toplinske energije od cijevi sustava pripreme PTV-a iz cirkulacijske petlje je u zonu broj 1. Zone broj 2 i broj 3 nemaju cirkulacijsku petlju pa je kod njih  $Q_{W,dis,aux,rvd}$  jednak 0.

Ukupni toplinski gubici podsustava razvoda su:

$$Q_{W,dis,ls} = Q_{W,dis,ls,nc} + Q_{W,dis,ls,col} \quad [\text{kWh}] \quad (20)$$

Ukupni toplinski gubici podsustava razvoda  $Q_{W,dis,ls}$  [kWh] zbroj su toplinskih gubitaka dijelova sustava razvoda izvan cirkulacijske petlje  $Q_{W,dis,ls,nc}$  i toplinske gubitaka cirkulacijske petlje  $Q_{W,dis,ls,col}$ . Gubici razvoda izvan cirkulacijske petlje  $Q_{W,dis,ls,nc}$  se računaju prema jednadžbi:

$$Q_{W,dis,ls,nc} = \alpha_{W,dis} \cdot Q_W \quad [\text{kWh}] \quad (21)$$

Faktor gubitka toplinske energije  $\alpha_{W,dis}$  ovisi o programu korištenja PTV-a.

Za proračun gubitaka razvoda cirkulacijske petlje  $Q_{W,dis,ls,col}$  potrebno je aproksimirati duljine cjevovoda sustava pripreme PTV-a zone broj 1 pomoću tablice 7.1 iz [4]. Gubici u ovom radu su računati pomoću fizikalne metode i izraza (7.5a) iz [4]. Aproksimirani koeficijenti toplinskih gubitaka  $U_W$  su preuzeti iz tablice 7.3 iz [4].

### 2.2.3 Proračun gubitaka spremnika $Q_{W,st,ls}$ , gubitaka primarne cirkulacije između generatora ogrjevnog učina i spremnika $Q_{W,p,ls}$ i potrebne toplinske energije za pripremu PTV-a $Q_{W,gen,out}$ prema HRN EN 15316-3-3:2008

Spremnik PTV-a nalazi se u zoni broj 3. Zbog razlike temperatura između spremnika i prostorije u kojoj se nalazi, postoje toplinski gubici spremnika  $Q_{W,st,ls}$ . Toplinski gubici spremnika su iskoristivi i smanjuju potrebnu toplinu za zagrijavanje zone broj 3.

Toplinski gubici indirektno grijanog spremnika potrošne tople vode računaju se za svaki mjesec pomoću jednadžbe:

$$Q_{W,st,ls} = U_{W,st} \cdot (\theta_{w,st,av} - \theta_{amb,avg}) \cdot 24 \cdot d_m / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad (22)$$

Ukupni koeficijent toplinskih gubitaka spremnika  $U_{W,st}$  iznosi:

$$U_{W,st} = 0,16 \cdot V_{W,st}^{0,5} \quad [\text{W/K}] \quad (23)$$

Prosječna temperatura vode u spremniku PTV-a  $\Theta_{w,st,av}$  iznosi  $60^{\circ}\text{C}$ . Prosječna temperatura okolišnjeg zraka  $\Theta_{amb,avg}$  je  $20^{\circ}\text{C}$ .

Primarna cirkulacija je cirkulacijski krug vode između spremnika PTV-a i generatora ogrjevnog učina. Cirkulacijska voda preuzima toplinu na izmjenjivaču generatora ogrjevnog učina i predaje je potrošnoj toploj vodi na izmjenjivaču spremnika PTV-a. Postoje toplinski gubici sa cirkulacijskog voda. Ako je generator ogrjevnog učina smješten izvan zgrade, dio gubitaka je nepovratan jer odlazi u okoliš. Dio cirkulacijskog voda koji je smješten unutar grijanog prostora predaje toplinu tom prostoru i taj dio gubitaka je povrativ. U ovom hotelu će povrat topline biti u zonu broj 3. Iznos iskoristivih gubitaka (rbl) spremnika PTV-a i primarne cirkulacije računa se pri proračunu generatora ogrjevnog učina.

Toplinski gubici primarne cirkulacije između generatora ogrjevnog učina i spremnika PTV-a, za izolirani cjevovod, potrebno je računati za svaki mjesec pomoću jednadžbe:

$$Q_{W,p,ls} = \left(14 \frac{\text{W}}{\text{m}}\right) \cdot L_{W,p} \cdot t_{W,gen,nom} / 1000 \quad [\text{kWh}] \quad (24)$$

U prethodnoj jednadžbi je  $L_{W,p}$  ukupna duljina cjevovoda primarne cirkulacije u metrima, a period rada pumpe  $t_{W,gen,nom}$  je:

$$t_{W,gen,nom} = \frac{Q_{W,gen,out}}{P_{gen,nom}} \quad [\text{h}] \quad (25)$$

U ovom koraku proračuna još nije poznata toplinska energija koju generator ogrjevnog učina predaje u sustav razvoda PTV-a  $Q_{W,gen,out}$  pa je  $Q_{W,gen,out} \approx Q_{W,dis,in}$ . Nazivna snaga generatora ogrjevnog učina ima oznaku  $P_{gen,nom}$ .

Potrebna toplinsku energiju za pripremu PTV-a  $Q_{W,gen,out}$  se računa za svaki mjesec prema jednadžbi:

$$Q_{W,gen,out} = Q_{W,dis,in} + Q_{W,st,ls} + Q_{W,p,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (26)$$

U spremniku PTV-a je izlazna voda temperature  $60^{\circ}\text{C}$ , a niža temperatura od  $45^{\circ}\text{C}$  za zone broj 1 i broj 3 se ostvaruje miješanjem sa svježom vodom. Režim na izmjenjivaču topline spremnika PTV-a je  $65/60^{\circ}\text{C}$  kako bi izlazna temperatura vode iz tog spremnika bila  $60^{\circ}\text{C}$ .

Za proračun volumena potrebnog spremnika za PTV i učina zagrijavanja  $V_{W,st}$  korištene su Viessmann upute za projektiranje [5].

Volumen potrebnog spremnika je:

$$V_{W,st} = \frac{860 \cdot Q_{W,day} \cdot \Phi_n \cdot \Phi_2 \cdot Z_A}{(Z_A + Z_B) \cdot (\vartheta_{W,del} - \vartheta_{W,0}) \cdot a} \quad [l] \quad (27)$$

U toj jednadžbi je  $Q_{W,day}$  [kWh/dan] toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a po danu. Faktor istovremenosti  $\Phi_n$  ovisi o broju soba i iznosi 0,6. Faktor načina života  $\Phi_2$  ovisi o kategoriji hotela i za vrlo dobru kategoriju iznosi 1,1. Vrijeme zagrijavanja  $Z_A$  je 2 h. Trajanje najveće potrebe tople vode  $Z_B$  iznosi 1,5 h,  $\vartheta_{W,del}$  je  $60^\circ\text{C}$ ,  $\vartheta_{W,0}$  je  $13,5^\circ\text{C}$ . Pomoću ove jednadžbe izračunat je volumen spremnika PTV-a  $V_{W,st}$  od 10.000 litara.

Potreban učin zagrijavanja PTV-a  $\Phi_W$  iznosi:

$$\Phi_W = \frac{V_{W,st} \cdot c_w \cdot \rho_w \cdot (\vartheta_{W,del} - \vartheta_{W,0})}{3600 \cdot Z_A} \quad [\text{kW}] \quad (28)$$

U prethodnoj jednadžbi je  $c_w$  specifični toplinski kapacitet vode koji iznosi 4,187 kJ/kgK,  $\rho_w$  je gustoća vode od 1000 kg/m<sup>3</sup>. Izračunati potreban ogrjevni učin za pripremu PTV-a  $\Phi_W$  iznosi 270 kW. Prema jednadžbi (23) je za zagrijavanje vode u spremniku od 10.000 litara sa  $13,5^\circ\text{C}$  na  $60^\circ\text{C}$  potreban ogrjevni učin od 270 kW.

## 2.3 Proračun sustava za grijanje i hlađenje prostora prema HRN EN 15316:2008

### 2.3.1 Proračun energije za podsustav predaje topline prema normi HRN EN 15316-2-1:2008

Sezona grijanja:

$$Q_{H,em,out} = Q_{H,nd} - \sum Q_{H,ls,rvd} - \sum Q_{W,ls,rvd} \quad [\text{kWh}] \quad (29)$$

Ogrjevna tijela u prostor predaju toplinsku energiju  $Q_{H,em,out}$ , no ona nije u punom iznosu potrebne topline za grijanje  $Q_{H,nd}$ . Što su veći iskorišteni toplinski gubici u prostor od sustava grijanja  $\sum Q_{H,ls,rvd}$  i pripreme PTV-a  $\sum Q_{W,ls,rvd}$ , ogrjevna tijela predaju manju količinu topline. Termotehničkim sustavom ukupno isporučena toplinska energija u grijani prostor uvijek ostaje  $Q_{H,nd}$ .

Iskorišteni toplinski gubici (indeks rvd) računaju se iz iskoristivih toplinskih gubitaka pomoću (indeks rbl):

$$Q_{ls,rvd} = \eta_{rvd} \cdot Q_{ls,rbl} \quad [\text{kWh}] \quad (30)$$

U prethodnoj jednadžbi je  $\eta_{rvd}$  stupanj iskorištenja iskoristivih gubitaka. Prema jednadžbi (4.26) iz [3], za sezonu grijanja je  $\eta_{rvd}$  iznosi  $0,8 \cdot \eta_{H,gn}$ .

Toplinska energija koju je potrebno dovesti podsustavu predaje toplinske energije u grijani prostor  $Q_{H,em,in}$  je:

$$Q_{H,em,in} = Q_{H,em,out} - Q_{em,aux,rvd} + Q_{H,em,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (31)$$



Prethodna jednadžba slijedi iz bilance toplinskih tokova za radni medij. Vraćena pomoćna energija  $Q_{em,aux,rvd}$  i  $Q_{H,em,in}$  su ulazni toplinski tokovi, a ogrjevnim tijelima predana toplinska energija  $Q_{H,em,out}$  i toplinski gubici podsustava predaje  $Q_{H,em,ls}$  su izlazni toplinski tokovi. Toplinski gubici podsustava predaje  $Q_{H,em,ls}$  računaju se pomoću izraza (2.5) iz [4].

Na početku proračuna nije poznata toplinska energija koja se ogrjevnim tijelima predaje u prostor  $Q_{H,em,out}$  pa se uzima da je  $Q_{H,em,out}=Q_{H,nd}$ . Do točne vrijednosti  $Q_{H,em,out}$  se dolazi iteracijom nakon što su izračunate vrijednosti iskoristivih gubitaka. Uvjet za posljednji korak iteracije je da razlika vrijednosti  $Q_{H,em,out}$  u zadnja dva koraka bude manja od 1%.

Sezona hlađenja:

$$Q_{C,em,out} = Q_{C,nd} - \sum Q_{C,ls,rvd} + \sum Q_{W,ls,rvd} \quad [\text{kWh}] \quad (32)$$

U sezoni hlađenja cijevima sustava hlađenja struji rashladni medij. Iskorišteni toplinski gubici sa cijevi  $\sum Q_{C,ls,rvd}$  smanjuju iznos rashladne toplinske energije koju u prostor predaju istrujni otvori  $Q_{C,em,out}$ . Iskorišteni toplinski gubici sustava pripreme PTV-a  $\sum Q_{W,ls,rvd}$  povećavaju iznos  $Q_{C,em,out}$ .

Prema jednadžbi (4.57) iz [3], iskorišteni toplinski gubici računaju se iz iskoristivih toplinskih gubitaka uz  $\eta_{rvd}$  od  $0,8 \cdot \eta_{C,ls}$ .

Iz bilance toplinskih tokova za radni medij slijedi izraz za toplinsku energiju koju je potrebno isporučiti podsustavu predaje (istrujni otvori):

$$Q_{C,em,in} = Q_{C,em,out} + Q_{em,aux,rvd} + Q_{C,em,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (33)$$

Toplinski gubici podsustava predaje u sezoni hlađenja  $Q_{C,em,ls}$  računaju se pomoću izraza (4.47) iz [3]. Toplinska energija  $Q_{C,em,out}$  nije poznata na početku proračuna. Do njenog točnog iznosa dolazi se iteracijom uz uvjet da razlika vrijednosti  $Q_{C,em,out}$  bude manja od 1%.

### 2.3.2 Proračun energije za podsustav razvoda grijanja i hlađenja prema normi HRN EN 15316-2-3:2008

Za proračun energija podsustava razvoda potrebno je aproksimirati duljine cjevovoda pomoću tablice 3.1 iz [4]. Sustav grijanja je u dvocijevnoj izvedbi.

Sezona grijanja:

Iz bilance toplinskih tokova za radni medij slijedi izraz za toplinsku energiju koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda grijanja:

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

Toplinska energija na izlazu iz podsustava razvoda  $Q_{H,dis,out}$  je istovremeno i toplinska energija na ulazu u podsustav predaje  $Q_{H,em,in}$ .

$Q_{H,dis,aux,rvd}$  je pomoćna energija od cirkulacijske pumpe vraćena radnom mediju u promatranom mjesecu. Iznosi 75%  $W_{H,dis,aux}$ , pomoćne energije potrebne za pogon distribucijskih pumpi u promatranom mjesecu. Cirkulacijska pumpa smještena je u kotlovnici unutar zone broj 3 pa je povrat preostalih 25%  $W_{H,dis,aux}$  u prostor zone broj 3. Za proračun  $W_{H,dis,aux}$  koristi se formula (3.7) iz [4].

$Q_{H,dis,ls}$  je toplinski gubitak razvoda sustava grijanja od generatora ogrjevnog učina do ogrjevnih tijela tj. gubitak topline sa cijevi razvoda u prostor u kojem se nalaze te cijevi. Cijevi u sustavu grijanja se izvode različitih promjera. Prosječna nazivna dimenzija cijevi razvoda je DN65. Toplinski gubitak  $Q_{H,dis,ls}$  se računa prema jednadžbi (3.1a) iz [4].

Sezona hlađenja:

$$Q_{C,dis,in} = Q_{C,dis,out} + Q_{C,dis,aux,rvd} + Q_{C,dis,ls} \quad [\text{kWh}] \quad (35)$$

Rashladna energija na izlazu iz podsustava razvoda  $Q_{C,dis,out}$  je također i rashladna energija na ulazu  $Q_{C,em,in}$ . Energija  $Q_{C,dis,aux,rvd}$  računa se na isti način kao i  $Q_{H,dis,aux,rvd}$ . Toplinski gubici razvoda sustava hlađenja od generatora rashladnog učina do rashladnih tijela  $Q_{C,dis,ls}$  računaju se pomoću jednadžbe (4.48) iz [3].

Toplinska energija na ulazu u podsustav razvoda  $Q_{H,dis,in}$  je istovremeno i toplinska energija na izlazu iz podsustava proizvodnje topline  $Q_{H,gen,out}$ . Isto vrijedi i za  $Q_{C,dis,in}$  koji je jednak  $Q_{C,gen,out}$ .

Za svaki mjesec potrebno je za svaku zonu izračunati  $Q_{H,gen,out}$  i  $Q_{C,gen,out}$ . Mjesečni zbroj  $Q_{H,gen,out}$  odnosno  $Q_{C,gen,out}$  po zonama je ukupna toplinska energija na izlazu iz podsustava proizvodnje za taj mjesec i početna je točka za proračun podsustava proizvodnje topline.

### 2.3.3 Proračun energije za podsustav proizvodnje topline

#### 2.3.3.1 Dizalica topline prema HRN EN 15316-4-2:2008

*Sezona grijanja*

Proračun energije za dizalice topline se prema [4] radi *bin* metodom. Proračun je podijeljen u jedanaest koraka. Ulazni podaci su prosječna satna temperatura zraka ispitne referentne godine za promatranu zemljopisnu lokaciju. Ulazni podaci preuzeti su sa internet

stranice Ministarstva graditeljstva i prostornog uređenja Republike Hrvatske [1] i u upotrebi su od 1. siječnja 2016. godine.

Iz ulaznih podataka potrebno je formirati tablicu s razredima učestalosti pojave vanjske temperature zraka s korakom od 1°C, počevši s minimalnom vanjskom temperaturom zraka. Osim  $N_j$  [h], broja sati pojavljivanja vanjske temperature zraka u razredu  $j$  s korakom od 1 K, potrebno je izračunati  $N_k$ , kumulativni broj sati pojavljivanja vanjske temperature u razredima  $j$  do  $k$ :

$$N_k = \sum_{j=1}^k N_j \text{ [h]} \quad (36)$$

Stupanj sati grijanja za razred  $j$  je  $DH_{H,j}$  prema izrazu:

$$DH_{H,j} = N_j(\vartheta_{i,des} - \vartheta_{e,j}) \text{ [°Ch]} \quad (37)$$

U prethodnoj jednadžbi je  $\vartheta_{i,des}$  projektna temperatura, a  $\vartheta_{e,j}$  je vanjska temperatura za razred  $j$ .

Kumulativno broj stupanj sati grijanja od prvog razreda do razreda  $k$  je  $DH_{H,k}$ , prema izrazu:

$$DH_{H,k} = \sum_{j=1}^k DH_{H,j} \text{ [°Ch]} \quad (38)$$

U *prvom koraku* potrebno je sezonu grijanja podijeliti na 3 do 5 temperaturnih razreda (binove) i za svaki razred osrednjiti radnu točku uređaja za koju se proračunava dizalica topline i njeni parametri. Binovi opisuju učestalost pojavljivanja vanjske temperature na promatranoj zemljopisnoj lokaciji i proračun se provodi za svaki raspon bina. Osim grijanja, dizalica topline će služiti i za pripremu PTV-a pa je uz binove koji pripadaju sezoni grijanja potrebno dodati i još jedan bin koji je samo za pripremu PTV. Radna točka bina nalazi se u sredini raspona svakog bina i ta točka predstavlja radnu točku za cijeli njegov raspon.

Za svaki od bin potrebno je pomoću ranije opisane tablice izračunati vrijeme razreda  $t_j$ , efektivno vrijeme razreda  $t_{eff,j}$ , stupanj sati grijanja, težinski faktor grijanja  $k_{H,j}$ , težinski faktor za PTV  $k_{W,j}$ , te  $Q_{H,gen,out}$  i  $Q_{W,gen,out}$ , prema izrazima iz [4].

U *drugom koraku* potrebno je interpolacijom proračunati učin i COP dizalice za svaki bin prema temperaturi toplinskog izvora i ponora pomoću podataka proizvođača uređaja.

Toplinski ponor u sezoni grijanja je ogrjevna voda. Temperatura toplinskog ponora tj. temperatura polaza ogrjevne vode ovisi o vanjskoj temperaturi zraka i potrebno ju je izračunati za radnu točku svakog bina prema izrazu u prilogu B1 od norme HRN EN 15316-4-2.

Kod dizalice topline zrak/voda je toplinski izvor zrak i njegova temperatura je temperatura radne točke bina. U ovom radu je za dizalicu topline voda/voda toplinski izvor morska voda i temperatura morske vode u sezonama grijanja i hlađenja izračunata je iz srednjih mjesečnih temperatura mora na dubini 10 metara.

U sezoni hlađenja je toplinski izvor rashladna voda sustava hlađenja izlazne temperature iz isparivača dizalice topline od  $7^{\circ}\text{C}$ . Toplinski ponor kod dizalice topline s rekuperacijom (eng. *recovery*) je PTV voda ili okolišnji zrak odnosno more.

*Treći korak se zanemaruje, prema uputama iz [4].*

U četvrtom koraku potrebno je po binovima izračunati gubitke međuspremnik ogrjevne vode  $Q_{H,st,ls,j}$  i spremnika PTV-a  $Q_{W,st,ls,j}$  te gubitke cjevovoda od dizalice topline do oba spremnika  $Q_{H,pi,ls,j}$  te  $Q_{W,pi,ls,j}$ . Spremnici su potrebni radi akumulacije topline. Bez njih bi radni vijek dizalice topline bio bitno skraćen jer bi bez njih bilo puno čestih i kratkih intervala rada, a najveće trošenje površina kompresora je upravo kod starta.

Toplinske gubitke spremnika potrebno je izračunati korištenjem izraza (9.20) iz [4], a toplinske gubitke cjevovoda pomoću izraza (9.22) ili (9.23) iz [4]. U četvrtom koraku također je potrebno izračunati i vrijeme rada dizalice topline u režimu grijanja prostora  $t_{H,hp,on,j}$  odnosno pripreme PTV-a  $t_{W,hp,on,j}$  za svaki bin pomoću izraza (9.24) iz [4].

*Peti korak je proračun energije pomoćnog izvora topline za grijanje i pripremu PTV. U ovom radu za sustav grijanja dodatni izvor topline neće biti potreban budući da izabrane dizalice topline same mogu osigurati dovoljno topline. Za pripremu PTV će dodatni izvor topline biti potreban jer dizalica topline koja se koristi za grijanje i hlađenje prostora ne može zagrijati PTV do potrebnih  $60^{\circ}\text{C}$ . Dodatni izvor topline je tzv. *booster* dizalica topline voda/voda koja će toplinu iz međuspremnik PTV-a dizati na veću energetska razinu i koristiti je za grijanje vode u spremniku PTV-a na  $60^{\circ}\text{C}$ .*

Faktor udjela rada pomoćnog grijača za pripremu PTV-a  $k_{W,bu,opr,j}$  potrebno je izračunati prema izrazu (9.25) iz [4], a toplinsku energiju pomoćnog izvora topline za pripremu PTV-a  $Q_{W,bu,j}$  pomoću izraza (9.32) iz [4].

U šestom koraku potrebno je izračunati vrijeme rada u režimima grijanja  $t_{H,hp,on,sngl,j}$  i pripreme PTV-a  $t_{W,hp,on,sngl,j}$ . Izračunato vrijeme u režimu pripreme PTV-a je manje od ranije izračunatog u koraku četiri jer se sada uzima u obzir da glavna dizalica topline neće sama grijati vodu do  $60^{\circ}\text{C}$  već će od  $45^{\circ}\text{C}$  do  $60^{\circ}\text{C}$  grijati druga, *booster* dizalica topline. Zbroj vremena

rada u režimima grijanja i pripreme PTV-a za svaki bin je ukupno vrijeme rada za taj bin  $t_{hp,on,tot,j}$ .

*Sedmi korak* je proračun pomoćnih energija toplinskog izvora i toplinskog ponora prema izrazu (9.50) iz [4]. Kada je izvor topline zrak, uzima se u obzir pomoćna energija za pogon ventilatora. Kada je izvor topline voda, u obzir se uzima pomoćna energija za pogon pumpe. Pomoćne energije koje se još uzimaju u obzir su pomoćna energija pumpi od dizalice topline do međuspremnika sustava grijanja i hlađenja te pomoćna energija regulacije kad je sustav izvan pogona.

*Osmi korak* je proračun ukupnih toplinskih gubitaka podsustava proizvodnje  $Q_{HW,gen,ls,tot,j}$  i iskoristivih toplinskih gubitaka  $Q_{HW,gen,ls,rbl,j}$ . Gubici oba međuspremnika i spremnika PTV-a su iskoristivi gubici jer se ti spremnici nalaze u kotlovnici unutar zone broj 3. Gubitak topline cjevovoda od generatora ogrjevnog učina do spremnika je dijelom iskoristivi gubitak jer je dio tog cjevovoda unutar zone broj 3. Pomoćne energije komponenta koje nalaze u kotlovnici zone broj 3 su također iskoristivi gubici. Iskoristivi toplinski gubici se mogu iskoristiti samo u binovima sezone grijanja, a u zadnjem binu, u kojem nema grijanja već je samo priprema PTV-a, ne mogu se iskoristiti.

*Deveti korak* je proračun električne energije za pogon dizalice topline za grijanje prostora  $E_{H,hp,in}$  prema izrazu (9.55) iz [4] te električne energije za pogon dizalice topline za pripremu PTV-a  $E_{W,hp,in}$  prema izrazu (9.56). Toplinska energija za pogon pomoćnog grijača koji nije električni  $Q_{W,bu,in}$  je zbroj svih po binovima izračunatih toplinskih energija pomoćnog izvora topline za pripremu PTV  $Q_{W,bu,j}$  koje su izračunate ranije u petom koraku.

Ukupno isporučena električna energija generatoru ogrjevnog učina je

$$E_{HW,gen,in} = E_{H,hp,in} + E_{W,hp,in} \text{ [kWh]} \quad (39)$$

*Deseti korak* su sabrani rezultati proračuna, izlazni podaci, prema izrazima (9.59) do (9.66b) iz [4]. Godišnji toplinski množitelj dizalice topline,  $SPF_{HW,hp}$  je:

$$SPF_{HW,hp} = \frac{Q_{H,gen,out} + Q_{H,gen,ls} + Q_{W,gen,out} + Q_{W,gen,ls} - Q_{HW,bu,out}}{E_{HW,hp,in} + W_{gen,aux,sc} + W_{gen,aux,sby}} \quad (40)$$

Godišnji toplinski množitelj dizalice topline je omjer ukupno isporučene toplinske energije tijekom godine sa ukupno uloženom električnom energijom. U gornjoj jednadžbi je  $W_{gen,aux,sc}$  pomoćna energija izvora topline, a  $W_{gen,aux,sby}$  pomoćna energija regulacije.

*Jedanaesti korak* je završni i služi za povezivanje proračuna iskoristivih toplinskih gubitaka dizalice topline  $Q_{HW,gen,ls,rbl,j}$  izračunatih u osmom koraku i mjesečnog proračuna. Iskoristivi gubici koji imaju povrat u prostor zone broj 3 dio su iterativnog postupka za proračun  $Q_{H,em,out}$  i  $Q_{C,em,out}$  te zone.

### *Sezona hlađenja*

Isporučena električna energija  $E_{C,gen,del,el}$  za pogon dizalice topline ili rashladnika (*chillera*) može se izračunati pomoću izraza

$$E_{C,gen,del,el} = \frac{Q_{C,gen,out}}{EER \cdot PLV_{AV}} \text{ [kWh]} \quad (41)$$

U toj jednadžbi je EER faktor energetske učinkovitosti rashladnog uređaja, podatak od proizvođača ili iz tablica 4.8 do 4.11 iz [3]. Prosječni faktor djelomičnog opterećenja  $PLV_{AV}$  potrebno je odabrati iz tablice 4.12 odnosno 4.13 iz [3].

Proizvođači u brošurama uređaja daju podatak o sezonskom faktoru energetske učinkovitosti rashladnog uređaja, SEER. Uz:

$$SEER = EER \cdot PLV_{AV} \quad (42)$$

Slijedi da je

$$E_{C,gen,del,el} = \frac{Q_{C,gen,out}}{SEER} \text{ [kWh]} \quad (43)$$

### **2.3.3.2 Kotao na biomasu prema normi HRN EN 15316-4-7:2008**

Četvrto i peto tehničko rješenje u ovom radu uključuje kotao na biomasu, tj. drvenu sječku koji služi za grijanje i pripremu PTV tijekom sezone grijanja. Proračun toplinske energije koju je potrebno isporučiti podsustavu proizvodnje  $Q_{HW,gen,in}$  je prema poglavlju 5. algoritma [4] i izrađen je mjesečnom metodom.

Broj sati u promatranom periodu, mjesecu,  $t_{ci}$  potrebno je izračunati pomoću izraza:

$$t_{ci} = t_d \cdot d_{use,tj}/7 \cdot L_{H,m,i} \text{ [h]} \quad (44)$$

Prosječna snaga sustava proizvodnje je za svaki mjesec:

$$\Phi_{HW,gen,out} = \frac{Q_{HW,gen,out}}{t_{ci}} \text{ [kW]} \quad (45)$$

Faktor opterećenja  $\beta_{gnr}$  iznosi za svaki mjesec:

$$\beta_{gnr} = \frac{\Phi_{HW,gen,out}}{\Phi_{Pn}} \quad [-] \quad (46)$$

U prethodnom izrazu je  $\Phi_{Pn}$  nazivna snaga kotla u kW.

Zatim slijedi proračun korigirane učinkovitosti kotla na 100% opterećenja. Faktor korekcije  $f_{corr,Pn}$  potrebno je odabrati za standardni kotao iz tablice 4.4. iz [4]. Koeficijente  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3, c_4$  i ograničenje pogonske temperature  $\Theta_{gnr,w,min}$  iz tablice 5.1 iz [4]. Promatrani kotao je na biomasu s ventilatorskim plamenikom. Učinkovitost kotla pri 100% opterećenju  $\eta_{gnr,Pn}$  potrebno je izračunati pomoću izraza (5.5) iz [4], korigiranu učinkovitost  $\eta_{gnr,Pn,corr}$  prema izrazu (5.6) iz [4], korigirani toplinski gubitak na 100% opterećenja  $\Phi_{gnr,ls,Pn,corr}$  prema izrazu (5.7) iz [4].

Nakon proračuna pri 100% opterećenja, slijedi proračun parametara pri djelomičnom opterećenju. Faktor korekcije  $f_{corr,Pint}$  iznosi 0,05 %/°C. Učinkovitost kotla pri djelomičnom opterećenju  $\eta_{gnr,Pint}$  potrebno je izračunati prema izrazu (5.9) iz [4], korigiranu učinkovitost pri djelomičnom opterećenju  $\eta_{gnr,Pint,corr}$  prema izrazu (5.10) iz [4], korigirani toplinski gubitak pri djelomičnom opterećenju  $\Phi_{gnr,ls,Pint,corr}$  prema izrazu (5.11) iz [4].

Pri 0% opterećenja potrebno je izračunati toplinske gubitke. Koeficijente  $c_5$  i  $c_6$  su odabrani iz tablice 5.3 iz [4]. Gubitak topline u stanju pripravnosti  $\Phi_{gnr,ls,P0}$  se računa pomoću izraza (5.12) iz [4], korigirani toplinski gubitak pri 0% opterećenja  $\Phi_{gnr,ls,P0,corr}$  prema izrazu (5.13) iz [4].

Stvarna snaga kotla je mjesečna vrijednost i računa se preko izraza:

$$\Phi_{Px} = \Phi_{Pn} \cdot \beta_{gnr} \quad [\text{kW}] \quad (47)$$

Promatrani kotao je snage 280 kW. Standardna vrijednost djelomičnog opterećenja kod kotlova na biomasu s prisilnom ventilacijom  $\Phi_{Pint}$  iznosi 50% nazivne snage kotla što je 140 kW. Sve izračunate vrijednosti  $\Phi_{Px}$  su između 0 i  $\Phi_{Pint}$  pa je toplinski gubitak kotla za pojedini mjesec potrebno izračunati prema izrazu (5.15) iz [4].

Ukupni toplinski gubitak kotla  $Q_{gnr,ls}$  potrebno je za svaki mjesec izračunati pomoću izraza (5.17) iz [4]. Ovaj toplinski gubitak je u potpunosti neiskoristiv jer je kotao smješten izvan grijanog prostora zgrade.

Potrebna pomoćna energija kotla  $P_{aux,Px}$  kod sva tri stanja opterećenja izračunata je prema izrazu (5.19) iz [4]. Ukupna pomoćna energija kotla  $W_{gnr,aux}$  je izračunata pomoću izraza (5.22) iz [4].

75% pomoćne energije  $W_{gnr,aux}$  je predan podsustavu razvoda kao  $Q_{gnr,aux,rvd}$ , vraćena pomoćna energija predana ogrjevnom mediju. Kotao je smješten izvan grijanog prostora, ali ispod krova pa je faktor  $b_{brm}$  jednak 0,2 prema tablici 5.6 iz [4].

Iskoristiva pomoćna energija koja se predaje grijanom prostoru  $Q_{gnr,aux,rbl}$  je izračunata prema izrazu (5.25) iz [4], ali neće biti iskorištena jer je kotao smješten izvan promatranih grijanih zona i nalazi se ispod zgrade, u preuređenom parkirališnom prostoru.

Iskoristivi toplinski gubici kroz ovojnicu kotla  $Q_{gnr,ls,P0,corr}$  računaju se za svaki mjesec prema izrazu (5.26) iz [4].

U sustav proizvodnje biti će ugrađen međuspremnik grijanja/hlađenja za ogrjevnu vodu od 5.000 litara koji će biti smješten unutar zone broj 3. Ukupni toplinski gubici akumulacijskog sustava  $Q_{H,sto,ls}$  računaju se prema izrazu:

$$Q_{H,sto,ls} = Q_{H,sto,ls,ta} + Q_{H,sto,ls,pip} \text{ [kWh]} \quad (48)$$

U prethodnom izrazu je  $Q_{H,sto,ls,ta}$  toplinski gubitak kroz ovojnicu međuspremnika grijanja i računa se prema jednadžbi (8.1) iz [4]. Toplinski gubitak u primarnoj cirkulaciji akumulacijskog sustava je  $Q_{H,sto,ls,pip}$  i za izolirani cjevovod se računa prema jednadžbi (8.3a). Iskoristivi toplinski gubici koji se vraćaju u prostor zone broj 3  $Q_{H,sto,ls,rbl}$  su zbroj  $Q_{H,sto,ls,ta}$  i dijelom  $Q_{H,sto,ls,pip}$  jer se unutar zone broj 3 nalazi samo dio cjevovoda.

Spremnik za PTV od 10.000 litara s vodom temperature  $80^{\circ}\text{C}$  smješten je unutar zone broj 3. Za njega je također potrebno napraviti proračun na isti način i izračunati  $Q_{W,sto,ls}$ . Kotao grije PTV na  $80^{\circ}\text{C}$  tako da u zimskom periodu neće biti potrebna dodatna dizalica topline.

Pomoćna energiju potrebnu za pogon pumpe primarne cirkulacije  $W_{sto,aux,pu}$  se računa pomoću izraza (5.34) iz [4]. 75% te energije je vraćen radnom mediju kao  $Q_{sto,aux,pu,rvd}$ , a preostalih 25% se vraća u prostor kao  $Q_{sto,aux,pu,rbl}$ . Pumpa je smještena pokraj kotla, izvan promatranih zona i energija  $Q_{sto,aux,pu,rbl}$  neće biti iskorištena.

Toplinska energija koju je potrebno gorivom isporučiti podsustavu proizvodnje:

$$Q_{HW,gen,in} = Q_{HW,gen,out} - Q_{HW,gen,aux,rvd} + Q_{HW,gen,ls} - Q_{sto,aux,pu,rvd} \text{ [kWh]} \quad (49)$$



## 2.4 Proračun ukupne pomoćne energije, isporučene energije, primarne energije, godišnje emisije CO<sub>2</sub>

### 2.4.1 Ukupna pomoćna energija

Prema poglavlju 5.7 od [3].

Ukupna pomoćna energija za sustav grijanja  $W_{H,ve,aux}$ :

$$W_{H,ve,aux} = W_{H,em,aux} + W_{H,dis,aux} + W_{H,gen,aux} + W_{H,ve,aux,fan} + W_{H,ve,aux,rot} \text{ [kWh]} \quad (50)$$

U prethodnoj jednadžbi je  $W_{H,ve,aux}$  ukupna pomoćna energija u periodu grijanja;  $W_{H,em,aux}$  je pomoćna energija u podsustavu predaje sustava grijanja prostora;  $W_{H,dis,aux}$  je pomoćna energija u razvodu sustava grijanja prostora;  $W_{H,gen,aux}$  je pomoćna energija generatora za režim grijanja prostora;  $W_{H,ve,aux,fan}$  je pomoćna energija za pogon dobavnog i odsisnog ventilatora u kanalskom razvodu mehaničke ventilacije zona broj 2 i broj 3 prema jednadžbi (5.14) iz [3] u režimu grijanja prostora;  $W_{H,ve,aux,rot}$  je pomoćna energija za pogon rotora od rekuperatora u periodu grijanja prema (5.21) iz [3].

Ukupna pomoćna energija za sustav pripreme PTV-a  $W_{W,aux}$ :

$$W_{W,aux} = W_{W,dis,aux} + W_{W,gen,aux} \text{ [kWh]} \quad (51)$$

$W_{W,dis,aux}$  je pomoćna energija za pogon cirkulacijske pumpe;  $W_{W,gen,aux}$  je pomoćna energija generatora ogrjevnog učina za režim pripreme PTV-a.

Ukupna pomoćna energija za sustav hlađenja  $W_{C,ve,aux}$ :

$$W_{C,ve,aux} = W_{C,em,aux} + W_{C,dis,aux} + W_{C,gen,aux} + W_{C,ve,aux,fan} + W_{C,ve,aux,rot} \text{ [kWh]} \quad (52)$$

U toj jednadžbi je  $W_{C,ve,aux}$  ukupna pomoćna energija u periodu hlađenja;  $W_{C,em,aux}$  je pomoćna energija u podsustavu predaje sustava hlađenja prostora;  $W_{C,dis,aux}$  je pomoćna energija u razvodu sustava hlađenja prostora;  $W_{C,gen,aux}$  je pomoćna energija generatora rashladnog učina;  $W_{C,ve,aux,fan}$  je pomoćna energija za pogon dobavnog i odsisnog ventilatora mehaničke ventilacije zone broj 2 i broj 3 u periodu hlađenja prema jednadžbi (5.14) iz [3];  $W_{C,ve,aux,rot}$  je pomoćna energija za pogon rotora od rekuperatora u periodu hlađenja prema (5.21) iz [3].

### 2.4.2 Isporučena energija

Isporučena energija za sustav grijanja  $E_{H,del}$ :

$$E_{H,del} = E_{H,gen,del,el} + Q_{H,gen,in} + W_{H,ve,aux} \text{ [kWh]} \quad (53)$$

U toj jednadžbi je  $E_{H,gen,del,el}$  isporučena električna energija generatoru ogrjevnog učina na ulazu u podsustav proizvodnje u periodu grijanja;  $Q_{H,gen,in}$  je toplinska energija na ulazu u podsustav proizvodnje u režimu grijanja odnosno toplinska energija nastala izgaranjem goriva u kotlu;  $W_{H,ve,aux}$  je ukupna pomoćna energija za sustav grijanja.

Isporučena energija za sustav pripreme PTV-a  $E_{W,del}$ :

$$E_{W,del} = E_{W,gen,in,el} + Q_{W,gen,in} + W_{W,aux} \text{ [kWh]} \quad (54)$$

$E_{W,gen,in,el}$  je zbroj električnih energija za pogon DT za pripremu PTV-a  $E_{W,hp,in}$  od obje dizalice topline;  $Q_{W,gen,in}$  je toplinska energija na ulazu u podsustav proizvodnje u režimu pripreme PTV-a;  $W_{W,aux}$  je ukupna pomoćna energija generatora ogrjevnog učina za režim pripreme PTV-a.

Isporučena energija za sustav hlađenja  $E_{C,del}$ :

$$E_{C,del} = E_{C,gen,del,el} + W_{C,ve,aux} \text{ [kWh]} \quad (55)$$

U prethodnoj jednadžbi je  $E_{C,gen,del,el}$  isporučena električna energija generatoru ogrjevnog učina na ulazu u podsustav proizvodnje u periodu hlađenja;  $W_{C,ve,aux}$  je ukupna pomoćna energija za sustav hlađenja.

Ukupno isporučena električna energija  $E_{del,el}$ :

$$E_{del,el} = E_{H,del,el} + E_{C,del,el} \text{ [kWh]} \quad (56)$$

U toj jednadžbi je  $E_{C,del,el}$  jednak  $E_{C,del}$ , a  $E_{H,del,el}$  je:

$$E_{H,del,el} = E_{H,gen,del,el} + W_{H,ve,aux} \quad (57)$$

Ukupno isporučena energija  $E_{del}$ :

$$E_{del} = E_{H,del} + E_{C,del} + E_{W,del} \text{ [kWh]} \quad (58)$$

### 2.4.3 Primarna energija

Primarna energija  $E_{prim}$  je:

$$E_{prim} = f_{p,el} \cdot E_{del,el} + f_{p,sječka} \cdot Q_{HW,gen,in} \text{ [kWh]} \quad (59)$$

U prethodnoj jednadžbi je  $f_{p,el}$  faktor primarne energije za električnu energiju;  $f_{p,sječka}$  je faktor primarne energije za drvenu sječku;  $Q_{HW,gen,in}$  je zbroj  $Q_{H,gen,in}$  i  $Q_{W,gen,in}$ . Faktori primarne

energije preuzeti su sa internet stranice Ministarstva graditeljstva i prostornog uređenja Republike Hrvatske [6].

#### 2.4.4 Emisija CO<sub>2</sub>

Godišnja emisija CO<sub>2</sub> se računa prema isporučenoj energiji u pojedini sustav.

Sustav grijanja:

$$CO_{2,H} = C_{el} \cdot E_{H,del,el} + C_{sječka} \cdot Q_{H,gen,in} + W_{H,ve,aux} \cdot C_{el} \quad [\text{kg CO}_2] \quad (60)$$

Sustav pripreme PTV-a:

$$CO_{2,W} = C_{el} \cdot E_{W,del,el} + C_{sječka} \cdot Q_{W,gen,in} + W_{W,aux} \cdot C_{el} \quad [\text{kg CO}_2] \quad (61)$$

Sustav hlađenja:

$$CO_{2,C} = C_{el} \cdot E_{C,del,el} + W_{C,ve,aux} \cdot C_{el} \quad [\text{kg CO}_2] \quad (62)$$

Godišnja emisija CO<sub>2</sub> računa se prema isporučenoj energiji prema jednadžbi:

$$CO_{2,a} = C_{el} \cdot E_{del,el} + C_{sječka} \cdot Q_{HW,gen,in} \quad [\text{kg CO}_2/\text{god}] \quad (63)$$

U tim jednadžbama su  $C_{el}$  faktor emisije CO<sub>2</sub> za električnu energiju, a  $C_{sječka}$  faktor emisije CO<sub>2</sub> za drvenu sječku. Preuzeti su sa internet stranice Ministarstva graditeljstva i prostornog uređenja Republike Hrvatske [6].

### 3. TEHNIČKA RJEŠENJA SUSTAVA GRIJANJA, HLAĐENJA I PRIPREME PTV

U zoni broj 1 i zoni broj 3 su ogrjevna i rashladna tijela parapetni ventilokonvektori, a u zoni broj 2 kazetni (stropni) ventilokonvektori. Ventilokonvektori proizvod Sabiana prikazani su na slici 3.



Slika 3. Parapetni i kazetni ventilokonvektor

Sustavu grijanja i hlađenja potreban je međuspremnik toplinske i rashladne energije zbog sprječavanja čestog paljenja i gašenja generatora ogrjevnog/rashladnog učina, tzv. puffer (od eng. *buffer*). Generator toplinskog/rashladnog učina u spremniku radnog medija akumulira energiju. Minimalni volumen za međuspremnik sustava grijanja i hlađenja je 10 litara/kW. Potreban rashladni učin generatora topline je 400 kW i odabran je spremnik od 5000 litara CAS 5002, prikazan na slici 4. Kod tehničkih rješenja sa *booster* dizalicom topline, kao međuspremnik PTV-a biti će korišten drugi spremnik od 5000 litara CAS 5002.



Slika 4. Spremnik CAS 5002

Izračunati volumen spremnika za PTV je 10.000 litara i biti će korišten spremnik SB-100-20NIRO, Pireko. Za proračun volumena spremnika korištene su Viessmannove upute [5].

### 3.1 Dizalica topline zrak – voda s rekuperacijom topline Clivet WSAN-XCS3 MF

#### 140.4 i booster dizalica topline Clivet WSH-XEE2 HW 80,2

Prvo tehničko rješenje uključuje dizalicu topline zrak-voda sa rekuperacijom topline Clivet WSAN-XCS3 MF 140.4 uz *booster* dizalicu topline Clivet WSH-XEE2 HW 80,2. Glavna dizalica topline zrak-voda Clivet WSAN-XCS3 MF 140.4 je odabrana prema rashladnom učinku od 397 kW u radnoj točki A35/W7 i prikazana je na slici 5. Odabrana dizalica je multifunkcionalna, tj. istovremeno može hladiti i grijati prostor kod četverocijevnog sustava grijanja. Kod dvocijevnog sustava grijanja može istovremeno ili hladiti ili grijati prostor te pripremati PTV. Također je s potpunom rekuperacijom topline (eng. *total recovery*). Kod potpune rekuperacije topline se sav učin kondenzatora može predati potrošnoj toploj vodi. Kod djelomične rekuperacije (eng. *partial recovery*), samo je dio te topline kondenzacije iskorišten za pripremu PTV-a.



Slika 5. Clivet WSAN-XCS3 MF 140.4

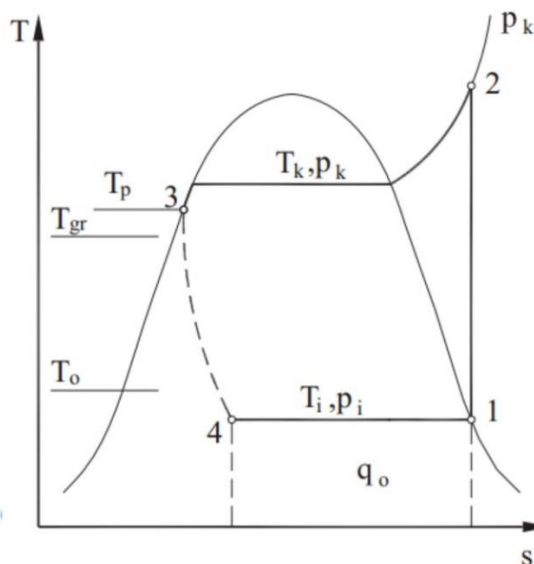
Sezona grijanja:

Temperatura polaza ogrjevne vode je  $45^{\circ}\text{C}$ , a temperatura povrata je  $40^{\circ}\text{C}$ .

Sezona hlađenja:

Temperatura polaza rashladne vode je  $7^{\circ}\text{C}$ , a temperatura povrata je  $12^{\circ}\text{C}$ .

Za Clivet WSAN-XCS3 MF 140.4 je temperatura PTV-a polaz  $45^{\circ}\text{C}$ , povrat  $40^{\circ}\text{C}$ .



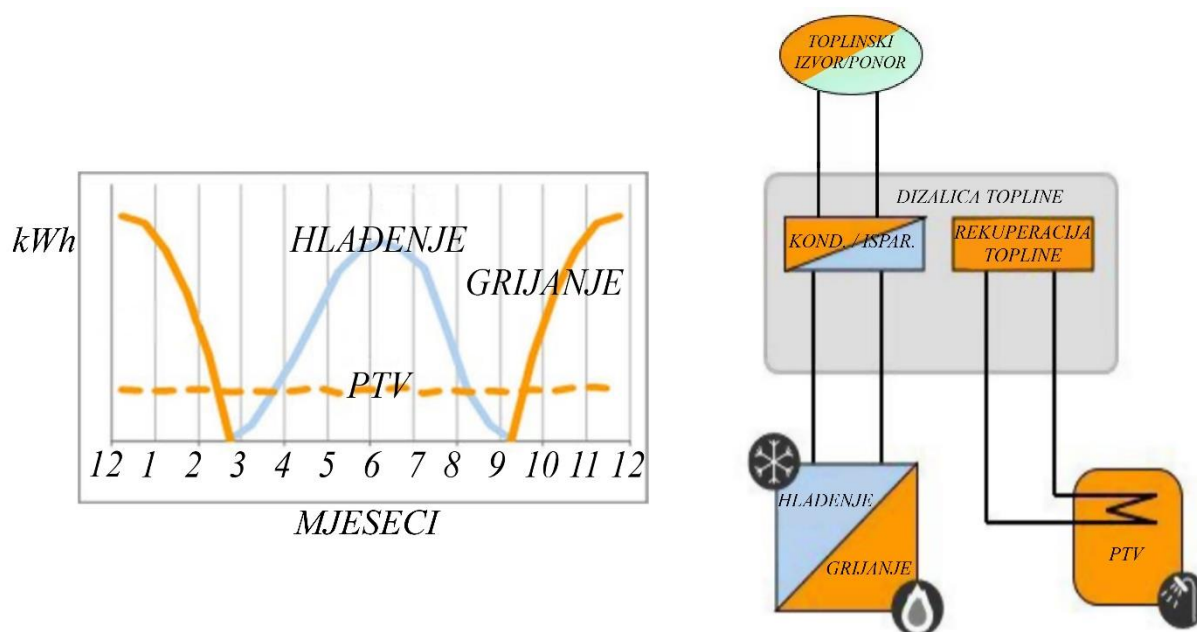
Slika 6. Ts dijagram dizalice topline

Na slici 6. prikazan je Ts dijagram dizalice topline. U ljetnom režimu kod ove zgrade je toplinski izvor temperature  $T_o$  rashladna voda kojoj se temperatura u isparivaču smanjuje sa

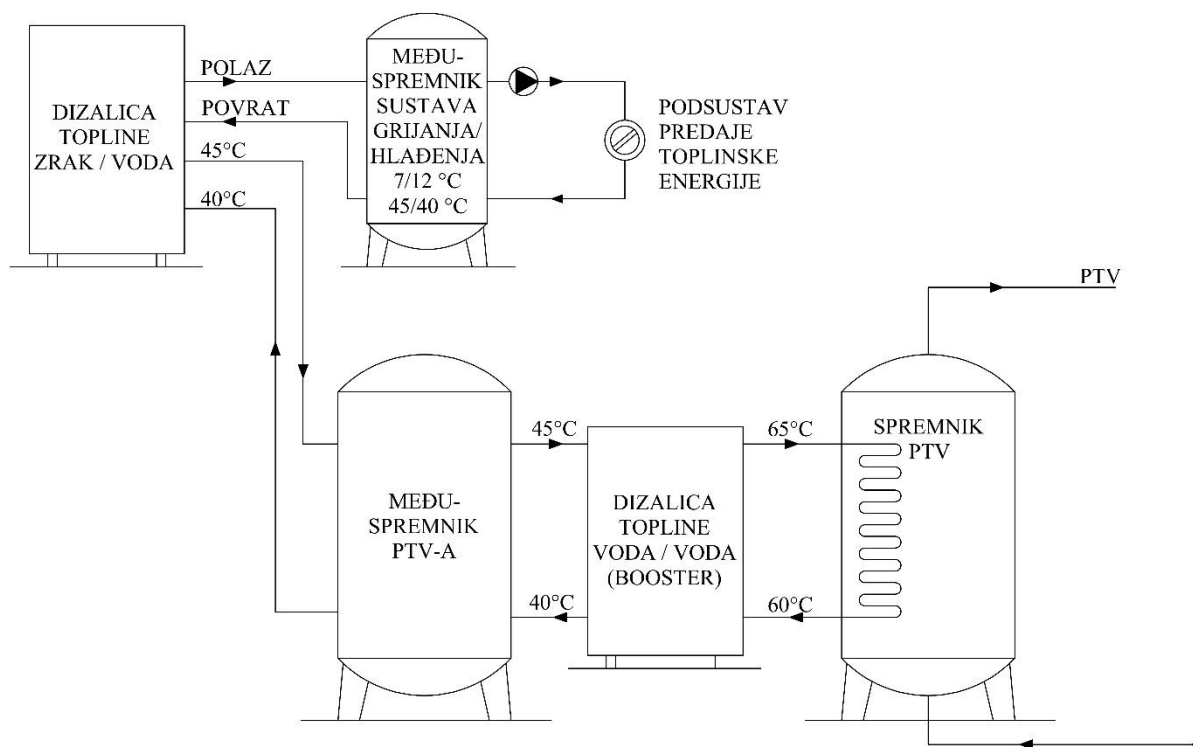
12°C na 7°C. Toplinski ponor temperature  $T_{gr}$  je pri uobičajenom radu dizalice topline okolišnji zrak koji na sebe preuzima toplinu kondenzacije. Kod dizalica topline s rekuperacijom moguće je po potrebi iskoristiti toplinu kondenzacije za zagrijavanje potrošne tople vode. Toplina kondenzacije time nije bačena u okoliš čime je omogućena ušteda električne energije na grijanju PTV-a.

Odabrana dizalica topline je četverocijevna. Dvije priključne cijevi služe kao polazni i povratni vod za sustav grijanja/hlađenja prostora. Preostale dvije priključne cijevi služe kao polazni i povratni vod za PTV. Time je omogućeno istovremeno grijanje/hlađenje prostora i priprema PTV-a.

Temperatura PTV-a kod rekuperacije topline je polaz 45, povrat 40°C uz temperaturu rashladne vode 7/12°C. Na slici 7. prikazana je shema rada izabrane dizalice topline zrak–voda koja omogućuje pripremu potrošne tople vode temperature 45°C tijekom cijele godine.



Slika 7. Shema rada četverocijevne dizalice topline s rekuperacijom



Slika 8. Pojednostavljena shema sustava grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a tehničkog rješenja I

Na slici 8. prikazana je pojednostavljena shema sustava grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a sa dizalicom topline zrak–voda Clivet WSAN-XCS3 MF 140.4 i *booster* dizalicom topline voda-voda Clivet WSH-XEE2 HW 80,2.

Potrebna temperatura potrošne tople vode je 60°C. Glavna dizalica topline voda Clivet WSAN-XCS3 MF 140.4 ne može sama isporučiti PTV temperature 60°C već je grije na nižu temperaturu 45°C i akumulira u međuspremniku PTV-a volumena 5000 litara. *Booster* dizalica topline voda-voda Clivet WSH-XEE2 HW 80,2 preuzima toplinu od vode iz međuspremnika PTV-a, diže je na višu energetska razinu i predaje pomoću izmjenjivača potrošnoj toploj vodi u spremniku PTV-a. Temperaturni režim na izmjenjivaču je 65/60°C. Ulazna temperatura vode u spremnik PTV-a je 13,5°C. Potrebna su dva spremnika za sustav pripreme PTV-a jer je direktno povezivanje obje dizalice topline u praksi teško ostvarivo, rad obje dizalice topline bi morao biti izuzetno dobro sinkroniziran. Uz to, pomoću upotrebe međuspremnika za PTV je omogućen i duži radni vijek dizalica topline jer će broj startova rada kompresora biti minimalan.

*Booster* dizalica topline Clivet WSH-XEE2 HW 80,2 je ogrjevnog učina 290,5 kW i COP 6,04 pri temperaturi toplinskog izvora 45/40°C i toplinskog ponora 65/60°C. Ova dizalica prikazana je na slici 9. Potrošna topla voda pomoću *booster* dizalice topline može biti



zagrijavana maksimalno do 77°C, što je periodički i potrebno napraviti zbog otklanjanja opasnosti od bakterije legionele.



Slika 9. Clivet WSH-XEE2 HW 80,2

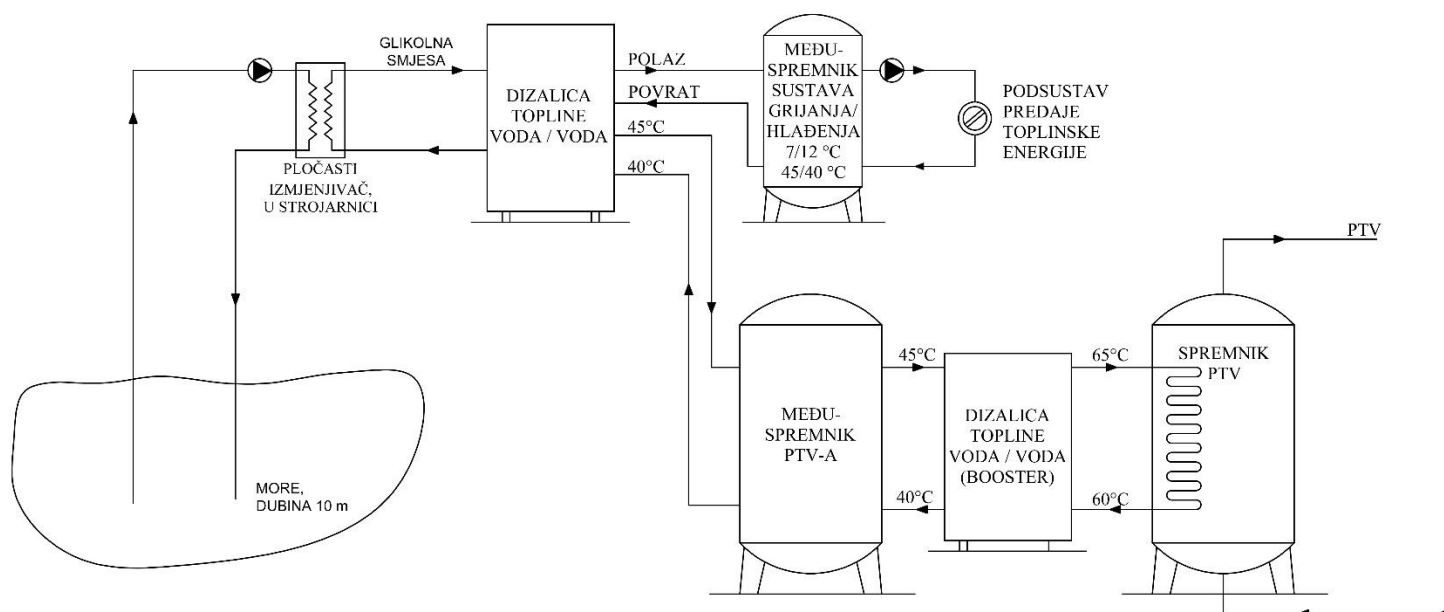
*Booster* dizalica topline voda-voda je novi koncept koji nije razmatran u sklopu *Algoritma za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama* [4]. Uobičajeni način pripreme potrošne tople vode temperature 60°C je dogrijavanje visokotemperaturnom dizalicom topline (npr. zrak-voda) sa 45°C.

Za razliku od skuplje visokotemperaturne dizalice topline, ovakva *booster* dizalica topline voda-voda ne dogrijava PTV vodu već je zagrijava sa temperature svježije vode od 13,5°C koristeći pri tome toplinu koju osigurala glavna dizalica topline.

### **3.2 Dizalica topline voda – voda s rekuperacijom topline Clivet WSHN-XEE2 MF 120.4 i *booster* dizalica topline Clivet WSH-XEE2 HW 80,2**

Drugo tehničko rješenje uključuje dizalicu topline voda-voda s rekuperacijom topline Clivet WSHN-XEE2 MF 120.4 uz *booster* dizalicu topline Clivet WSH-XEE2 HW 80,2.

Shema spajanja prikazana je na slici 10. I ova dizalica topline je četverocijevna, multifunkcionalna s potpunom rekuperacijom i shema rada je identična kao na slici 8. Razlika u odnosu na prethodnu je toplinski izvor/ponor, a to je more. U moru se nalaze plastične cijevi koje morsku vodu sa dubine 10 metara dovode do pločastog izmjenjivača snage 500 kW koji se nalazi u strojarnici. Izmjenjivač topline je cirkulacijskim krugom sa glikolnom smjesom povezan sa dizalicom topline voda-voda. Direktna cirkulacija morske vode je izbjegnuta kako ne bi dolazilo do korozije dizalice topline.



Slika 10. Pojednostavljena shema sustava grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a tehničkog rješenja 2

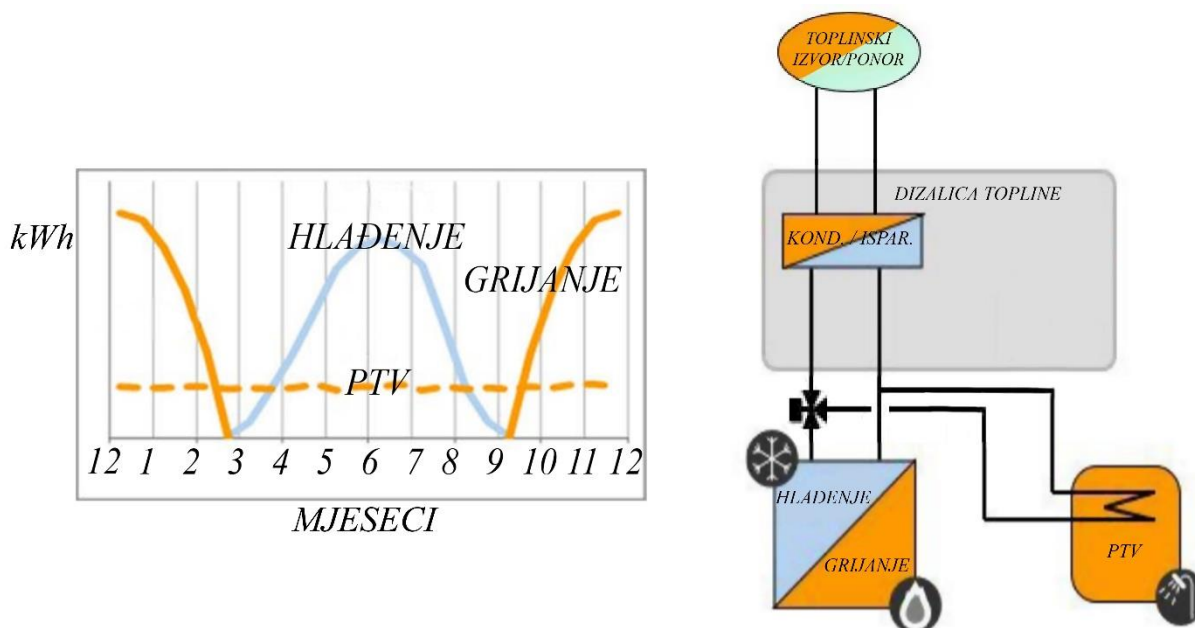
### 3.3 Dizalica topline voda – voda bez rekuperacije topline Clivet WSHN-XSC3 120.2 i booster dizalica topline Clivet WSH-XEE2 HW 80,2

Treće tehničko rješenje uključuje dizalicu topline voda-voda bez rekuperacije topline Clivet WSHN-XSC3 120.2 uz *booster* dizalicu topline Clivet WSH-XEE2 HW 80,2. Dizalica topline voda-voda Clivet WSHN-XSC3 120.2 prikazana je na slici 11.



Slika 11. Dizalica topline Clivet WSHN-XSC3 120.2

Ova dizalica topline nema rekuperaciju topline i dvocijevna je. Shema rada prikazana je na slici 12.



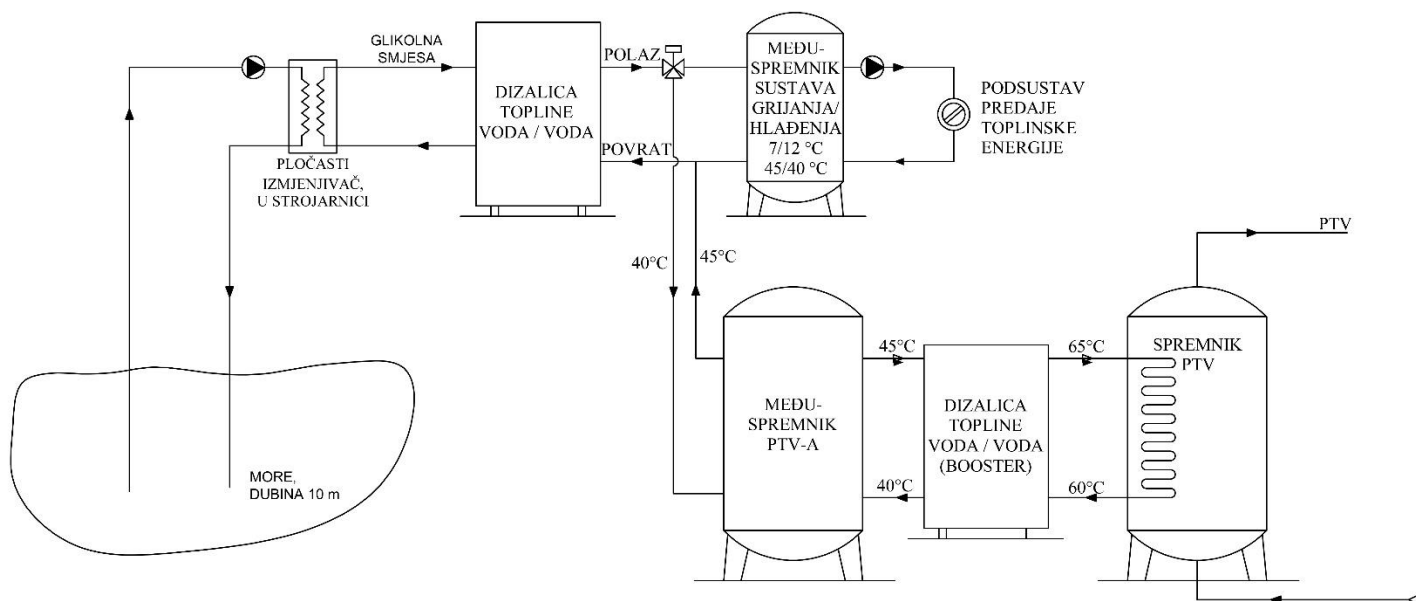
Slika 12. Shema rada dvocijevne dizalice topline bez rekuperacije

Dvije priključne cijevi služe kao polazni i povratni vod za sustav grijanja/hlađenja prostora. Kada je potrebna potrošna topla voda, pomoću troputnog ventila topla voda 45°C se preusmjeruje u spremnik PTV-a. Ova dizalica topline može pripremiti PTV tijekom čitave godine.

U sezoni grijanja je toplinski izvor more, a toplinski ponor je ogrjevna voda sustav grijanja i pripreme PTV-a.

U sezoni hlađenja je za hlađenje prostora toplinski izvor rashladna voda, a toplinski ponor je more. Za grijanje PTV-a u sezoni hlađenja je toplinski izvor more, a toplinski ponor voda za pripremu PTV-a. Shema spajanja prikazana je na slici 13.

Kao i kod prethodne dizalice topline voda-voda, pomoću cirkulacijskog kruga sa glikolnom smjesom i pločastog izmjenjivača topline je izbjegnuta direktan kontakt dizalice topline sa morskom vodom.



Slika 13. Pojednostavljena shema sustava grijanja, hlađenja i pripremu PTV-a tehničkog rješenja 3

### 3.4 Kotao na biomasu Centrometal EKO-CKS Multi plus 340 kW, rashladnik zrak-voda s rekuperacijom topline Clivet WSAT-XSC3 140.4 Excellence i booster dizalica topline Clivet WSH-XEE2 HW 80,2

Četvrto tehničko rješenje uključuje kotao na drvenu sječku Centrometal EKO-CKS Multi plus 340 kW uz rashladnik zrak-voda s rekuperacijom topline Clivet WSAT-XSC3 140.4 Excellence i *booster* dizalicu topline Clivet WSH-XEE2 HW 80,2.

Na slici 14. prikazan je kotao na biomasu Centrometal EKO-CS Multi plus 340 kW.



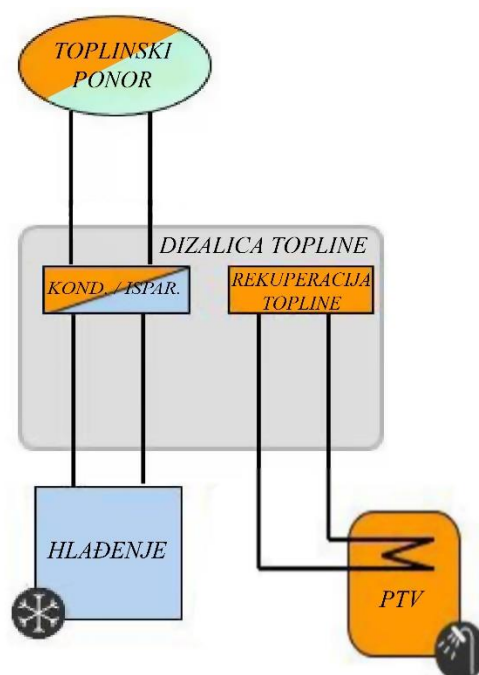
Slika 14. Kotao na biomasu Centrometal EKO-CS Multi plus 340 kW

Kotao je klase 5 i predviđen je za loženje drvenom sječkom te drvenim peletom. Maksimalni radni pretlak kotla je 4 bara i maksimalna radna temperatura je 95°C. Kotao ima ugrađenu pomičnu rešetku na kojoj izgara gorivo, lambda sondu, sustav automatskog ubacivanja goriva, automatsku potpalu, termičku zaštitu, automatsko vađenje pepela iz ložišta te ciklon za izdvajanje čestica iz dimnih plinova.

Smještaj kotla je ispod razine tla i dio parkirališnog prostora ispod zgrade je potrebno preurediti u kotlovnicu. Za drvenu sječku je potrebno prirediti prostoriju također u podrumskom dijelu koja bi poslužila kao skladište za smještaj sječke. Istovar sječke iz kamiona može se vršiti u prostoriju bez potrebe za silosom. Dozirni i pužni transporter s mješačem sječke služe za dobavu goriva iz prostorije.

Kotao služi kao generator topline ogrjevnog učina za grijanje prostora i za pripremu PTV-a. Kotao je povezan sa međuspremnikom ogrjevne vode CAS 5002 volumena 5.000 litara i PTV spremnikom volumena 10.000 litara. Temperatura polaza kotla je 80°C. PTV potrebnih temperatura 60°C i 45°C se ostvaruje miješanjem sa hladnom vodom.

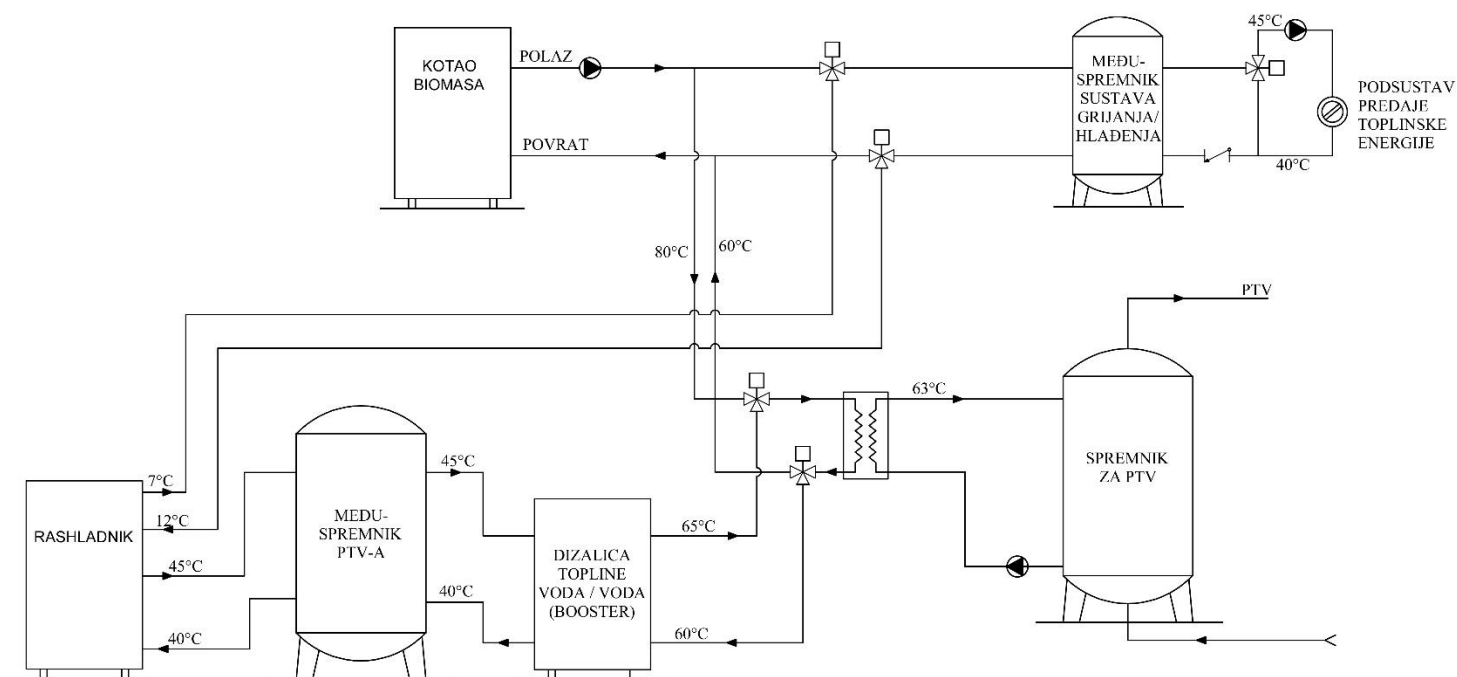
U ljetnim mjesecima kao generator rashladnog učina služi četverocijevni rashladnik zrak-voda Clivet WSAT-XSC3 140.4 Excellence. Ovaj rashladnik je s rekuperacijom pomoću koje je omogućeno istovremeno hlađenje prostora i besplatna priprema potrošne tople vode temperature 45°C u ljetnim mjesecima. Shema rada rashladnika prikazana je na slici 15.



Slika 15. Shema rada četverocijevnog rashladnika Clivet WSAT-XSC3 140.4

Kao i kod ranijih tehničkih rješenja, priprema PTV-a temperature  $60^{\circ}\text{C}$  je pomoću *booster* dizalice topline koja preuzima toplinu od vode temperature  $45^{\circ}\text{C}$  i diže je na veću energetska razinu te predaje potrošnoj toploj vodi.

U prijelaznim mjesecima između sezone grijanja i hlađenja za pripremu potrošne tople vode služi kotao jer iznos rekuperirane topline nije dovoljan za zadovoljenje potreba *booster* dizalice topline. U ljetnim mjesecima rashladnik proizvodi dovoljno rekuperirane topline za zagrijavanje do  $45^{\circ}\text{C}$ . Na slici 16. nalazi se shema spajanja tehničkog rješenja 4.



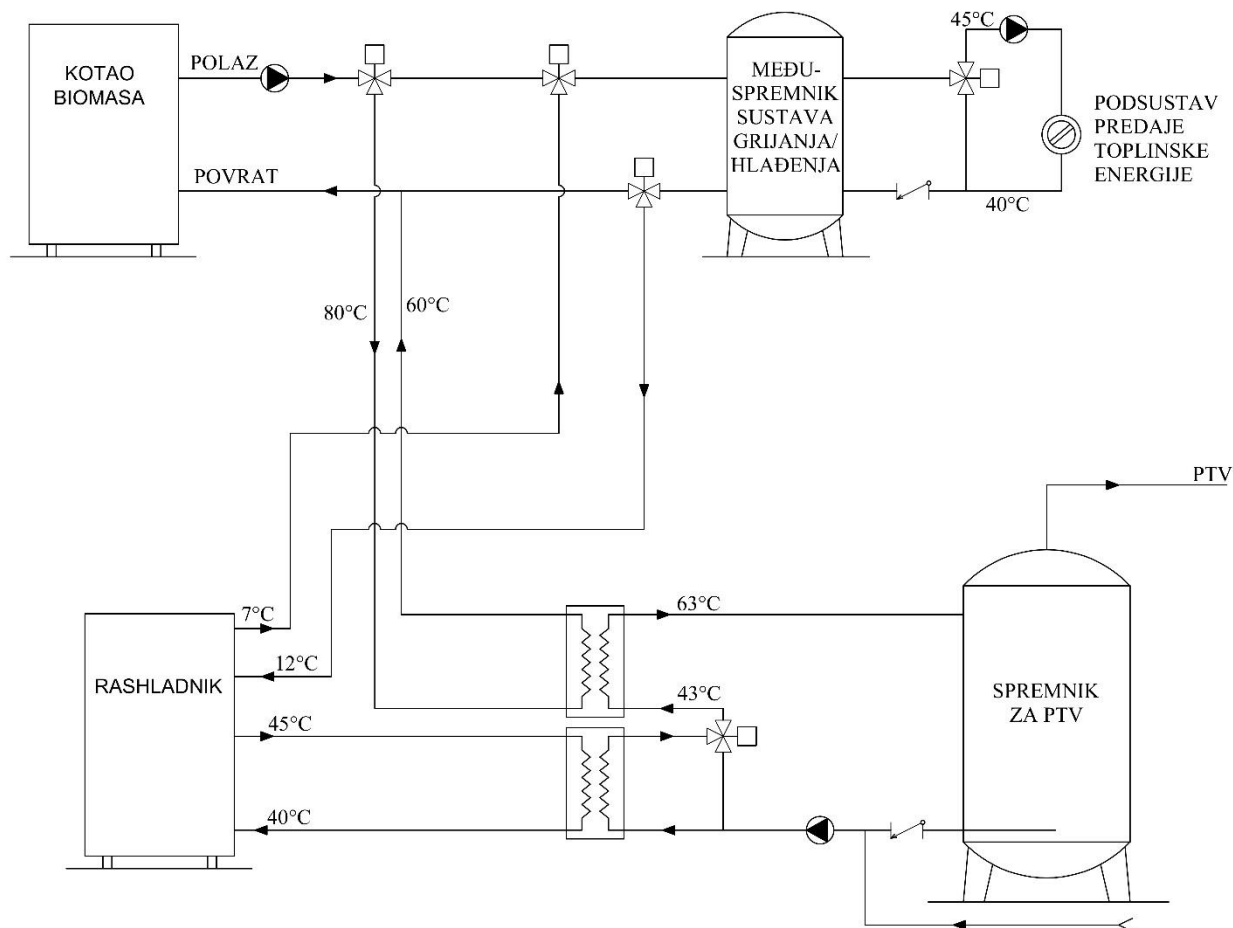
Slika 16. Pojednostavljena shema sustava grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a tehničkog rješenja 4

U sezoni grijanja kotao služi kao generator ogrjevnog učina za sustav grijanja i pripreme PTV-a. U sezoni hlađenja rashladnik zrak-voda je generator rashladnog učina i rekuperiranom toplinom pomaže pripremu PTV-a koju sa  $13,5^{\circ}\text{C}$  na  $60^{\circ}\text{C}$  grije *booster* dizalica topline voda-voda.

### 3.5 Kotao na biomasu Centrometal EKO-CKS Multi plus 340 kW, rashladnik zrak-voda s rekuperacijom topline Clivet WSAT-XSC3 140.4 Excellence

Peto tehničko rješenje uključuje kotao na drvenu sječku Centrometal EKO-CKS Multi plus 340 kW uz rashladnik zrak-voda s rekuperacijom topline Clivet WSAT-XSC3 140.4 Excellence.

Generator ogrjevnog učina je kotao na biomasu Centrometal EKO-CS Multi plus 340 kW. Generator rashladnog učina je rashladnik zrak-voda Clivet WSAT-XSC3 140.4 Excellence. Za pripremu PTV-a tijekom zimskog razdoblja služi kotao. Tijekom ljetnog razdoblja kotao služi za dogrijavanje PTV-a kojeg do 45°C rekuperiranom toplinom grije rashladnik. Na slici 17. prikazana je pojednostavljena shema spajanja ovog tehničkog rješenja.



Slika 17. Pojednostavljena shema sustava grijanja, hlađenja i pripremu PTV-a tehničkog rješenja 5

Režim grijanja prostora je 45/40°C. U međuspremniku sustava grijanja je voda temperature 80°C. Pomoću troputnog ventila ostvaruje se potrebnih 45°C za sustav grijanja prostora. Za ovo rješenje potrebna su dva izmjenjivača topline. Tijekom sezone grijanja radi samo gornji, a tijekom sezone hlađenja oba izmjenjivača topline. Temperatura PTV-a u spremniku je 60°C.

## 4. REZULTATI

### 4.1 Potrebna energija za grijanje $Q_{H,nd}$ i hlađenje $Q_{C,nd}$ prema HRN EN 13790

Sve zone su grijane i unutarnja postavna temperatura tijekom zimskog razdoblja je 20°C. Sve zone su i hlađene te je unutarnja postavna temperatura tijekom ljetnog razdoblja 24°C.

Proračun je rađen mjesečnom metodom i jednostavnom satnom metodom. Kod mjesečne metode vrijednosti se izračunavaju za čitav mjesec. Kod satne metode za karakteristični dan u mjesecu.

Za svaku zonu izračunati su transmisivski i ventilacijski gubici, unutrašnji i solarni dobici, faktori opisani u poglavlju 2.1.5 i 2.1.6 te su izračunate vrijednosti potrebnih energija za grijanje  $Q_{H,nd}$  i za hlađenje  $Q_{C,nd}$ .

Za mjesečni proračun te su vrijednosti dane u tablicama 2. do 7, a u tablicama 8. do 13. za jednostavnu satnu metodu.

Usporedba rezultata mjesečne i satne metode prikazana je grafički na slikama 18. do 20.



Tablica 2. Rezultati proračuna  $Q_{H,nd}$  zone broj 1, mjesečna metoda

Mj.	$Q_{Tr,H}$ [kWh]	$Q_{Ve,H}$ [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh]	$Q_{int}$ [kWh]	$Q_{sol}$ [kWh]	$Q_{gn}$ [kWh]	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd,cont}$ [kWh]	$\alpha_{H,red}$	$f_{H,m}$	$L_{H,m}$	$Q_{H,nd,m}$ [kWh]
1.	14025,6	34351,8	48377,4	12856,3	11665,9	24522,2	0,98	24374,1	1	1,00	31,0	24374,1
2.	12283,4	30084,8	42368,2	11612,2	14417,5	26029,6	0,96	17442,4	1	1,00	28,0	17442,4
3.	10439,9	25569,6	36009,4	12856,3	18490,3	31346,6	0,88	8568,3	1	1,00	31,0	8568,3
4.	6527,7	15987,9	22515,7	12441,6	18836,8	31278,4	0,67	1611,1	1	0,16	5,0	268,5
5.	1088,0	2664,7	3752,6	12856,3	6560,3	19416,6	0,19	1,4	1	0,00	0,0	0,0
6.	-3158,6	-7736,1	-10894,7	12441,6	6511,1	18952,7	-0,57	0,0	1	0,00	0,0	0,0
7.	-6201,4	-15188,5	-21389,9	12856,3	6762,7	19619,0	-1,09	0,0	1	0,00	0,0	0,0
8.	-5770,7	-14133,8	-19904,5	12856,3	6616,5	19472,8	-1,02	0,0	1	0,00	0,0	0,0
9.	-412,4	-1010,0	-1422,4	12441,6	6323,8	18765,4	-0,08	0,0	1	0,00	0,0	0,0
10.	3916,6	9592,7	13509,4	12856,3	19534,1	32390,5	0,41	134,1	1	0,00	0,0	0,0
11.	8523,8	20876,7	29400,5	12441,6	13387,2	25828,8	0,87	6869,6	1	0,72	22,0	5037,7
12.	12946,7	31709,4	44656,1	12856,3	10723,2	23579,5	0,98	21657,7	1	1,00	31,0	21657,7

Tablica 3. Rezultati proračuna  $Q_{C,nd}$  zone broj 1, mjesečna metoda

Mj.	$Q_{Tr,C}$ [kWh]	$Q_{Ve,C}$ [kWh]	$Q_{C,ht}$ [kWh]	$Q_{int}$ [kWh]	$Q_{sol}$ [kWh]	$Q_{gn}$ [kWh]	$\eta_{C,ls}$	$Q_{C,nd,cont}$ [kWh]	$\alpha_{C,red}$	$f_{C,m}$	$L_{C,m}$	$Q_{C,nd,m}$ [kWh]
1.	20553,3	50339,7	70893,1	12856,3	11665,9	24522,2	0,34	113,6	1	0,0	0	0,0
2.	18179,4	44525,5	62704,9	11612,2	14417,5	26029,6	0,41	253,5	1	0,0	0	0,0
3.	16967,6	41557,5	58525,1	12856,3	18490,3	31346,6	0,52	814,3	1	0,0	0	0,0
4.	12844,9	31460,1	44305,0	12441,6	18836,8	31278,4	0,66	2104,7	1	0,0	0	0,0
5.	7615,7	18652,6	26268,3	12856,3	6560,3	19416,6	0,68	1508,5	1	0,3	10	486,6
6.	3158,6	7736,1	10894,7	12441,6	6511,1	18952,7	0,97	8423,7	1	1,0	30	8423,7
7.	326,4	799,4	1125,8	12856,3	6762,7	19619,0	1,00	18493,2	1	1,0	31	18493,2
8.	757,0	1854,2	2611,2	12856,3	6616,5	19472,8	1,00	16861,8	1	1,0	31	16861,8
9.	5904,8	14462,2	20367,0	12441,6	6323,8	18765,4	0,79	2712,5	1	1,0	30	2712,5
10.	10444,4	25580,7	36025,1	12856,3	19534,1	32390,5	0,78	4396,2	1	0,6	19	2694,4
11.	14841,0	36348,9	51189,8	12441,6	13387,2	25828,8	0,49	537,2	1	0,0	0	0,0
12.	19474,4	47697,3	67171,7	12856,3	10723,2	23579,5	0,35	116,1	1	0,0	0	0,0

Prema rezultatima mjesečnog proračuna iz tablica 2 i 3, zoni broj 1 je potrebno grijanje od siječnja do travnja te u studenom i prosincu. Hlađenje je potrebno od svibnja do listopada. Ne postoji niti jedan mjesec u kojem je potrebno i grijanje i hlađenje.

Tablica 4. Rezultati proračuna  $Q_{H,nd}$  zone broj 2, mjesečna metoda

Mj.	$Q_{Tr,H}$ [kWh]	$Q_{Ve,H}$ [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh]	$Q_{int}$ [kWh]	$Q_{sol}$ [kWh]	$Q_{gn}$ [kWh]	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd,cont}$ [kWh]	$\alpha_{H,red}$	$f_{H,m}$	$L_{H,m}$	$Q_{H,nd,m}$ [kWh]
1.	940,7	15455,8	16396,4	39533,2	493,1	40026,3	0,33	3301,8	0,7	0,0	0,0	0,0
2.	823,8	13528,3	14352,1	35707,4	628,4	36335,8	0,32	2787,5	0,7	0,0	0,0	0,0
3.	700,2	11561,3	12261,5	39533,2	1037,6	40570,8	0,26	1805,8	0,7	0,0	0,0	0,0
4.	437,8	7289,5	7727,3	38257,9	1314,2	39572,1	0,18	698,6	0,7	0,0	0,0	0,0
5.	73,0	1230,3	1303,3	39533,2	492,0	40025,2	0,03	12,3	0,7	0,0	0,0	0,0
6.	-211,8	-12785,8	-12997,6	38257,9	502,1	38760,0	-0,34	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
7.	-415,9	-25124,9	-25540,8	39533,2	496,9	40030,0	-0,64	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
8.	-387,0	-23395,6	-23782,6	39533,2	438,7	39971,9	-0,59	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
9.	-27,7	-1666,7	-1694,4	38257,9	325,2	38583,1	-0,04	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
10.	262,7	4418,1	4680,8	39533,2	800,9	40334,0	0,11	226,5	0,7	0,0	0,0	0,0
11.	571,7	9507,4	10079,1	38257,9	525,0	38783,0	0,23	1259,9	0,7	0,0	0,0	0,0
12.	868,3	14299,1	15167,4	39533,2	430,0	39963,2	0,31	2830,3	0,7	0,0	0,0	0,0

Tablica 5. Rezultati proračuna  $Q_{C,nd}$  zone broj 2, mjesečna metoda

Mj.	$Q_{Tr,C}$ [kWh]	$Q_{Ve,C}$ [kWh]	$Q_{C,ht}$ [kWh]	$Q_{int}$ [kWh]	$Q_{sol}$ [kWh]	$Q_{gn}$ [kWh]	$\eta_{C,ls}$	$Q_{C,nd,cont}$ [kWh]	$\alpha_{C,red}$	$f_{C,m}$	$L_{C,m}$	$Q_{C,nd,m}$ [kWh]
1.	1378,5	82324,8	83703,2	39533,2	493,1	40026,3	0,37	9355,2	1,00	0,0	0	0,0
2.	1219,3	72805,0	74024,2	35707,4	628,4	36335,8	0,37	8702,9	1,00	0,0	0	0,0
3.	1138,0	68054,9	69192,9	39533,2	1037,6	40570,8	0,42	11405,6	1,00	0,6	19	6990,5
4.	861,5	51638,5	52500,0	38257,9	1314,2	39572,1	0,49	13693,2	1,00	1,0	30	13693,2
5.	510,8	30724,1	31234,9	39533,2	492,0	40025,2	0,64	19893,4	1,00	1,0	31	19893,4
6.	211,8	12785,8	12997,6	38257,9	502,1	38760,0	0,84	27898,6	1,00	1,0	30	27898,6
7.	21,9	1322,4	1344,3	39533,2	496,9	40030,0	0,99	38699,0	1,00	1,0	31	38699,0
8.	50,8	3069,2	3120,0	39533,2	438,7	39971,9	0,97	36943,7	1,00	1,0	31	36943,7
9.	396,0	23865,6	24261,7	38257,9	325,2	38583,1	0,70	21564,5	1,00	1,0	30	21564,5
10.	700,5	42106,4	42806,9	39533,2	800,9	40334,0	0,56	16463,8	1,00	1,0	31	16463,8
11.	995,4	59643,6	60639,0	38257,9	525,0	38783,0	0,45	11745,2	1,00	0,9	28	10962,2
12.	1306,1	78051,8	79358,0	39533,2	430,0	39963,2	0,38	9801,2	1,00	0,0	0	0,0

Zona broj 2 ima velike unutrašnje toplinske dobitke tijekom rada kuhinje koji iznose 230 W/m<sup>2</sup>. Prema rezultatima mjesečnog proračuna za zonu broj 2, iz tablica 4 i 5, grijanje zone broj 2 nije potrebno zbog intenzivnih unutrašnjih toplinskih dobitaka, dok je hlađenje potrebno većinu godine.

Tablica 6. Rezultati proračuna  $Q_{H,nd}$  zone broj 3, mjesečna metoda

Mj.	$Q_{Tr,H}$ [kWh]	$Q_{Ve,H}$ [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh]	$Q_{int}$ [kWh]	$Q_{sol}$ [kWh]	$Q_{gn}$ [kWh]	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd,cont}$ [kWh]	$\alpha_{H,red}$	$f_{H,m}$	$L_{H,m}$	$Q_{H,nd,m}$ [kWh]
1.	11057,96	44770,5	55828,5	13692,0	16485,3	30177,3	0,85	30322,3	0,7	1,0	31,0	20214,9
2.	9684,39	39191,3	48875,7	12367,0	19931,7	32298,7	0,80	23145,4	0,7	1,0	28,0	15430,3
3.	8230,93	33459,3	41690,2	13692,0	23103,5	36795,5	0,71	15492,0	0,7	1,0	31,0	10328,0
4.	5146,56	21064,5	26211,1	13250,3	20812,9	34063,2	0,58	6445,5	0,7	0,6	17,0	2435,0
5.	857,76	3547,2	4405,0	13692,0	6561,0	20252,9	0,21	154,8	0,7	0,0	0,0	0,0
6.	-2490,27	-32104,6	-34594,8	13250,3	6267,1	19517,4	-1,77	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
7.	-4889,23	-63084,3	-67973,5	13692,0	6700,8	20392,8	-3,33	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
8.	-4549,70	-58740,1	-63289,8	13692,0	7148,1	20840,1	-3,04	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
9.	-325,12	-4185,4	-4510,5	13250,3	7760,2	21010,5	-0,21	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
10.	3087,94	12743,8	15831,7	13692,0	26222,4	39914,4	0,36	1540,2	0,7	0,0	0,0	0,0
11.	6720,28	27479,4	34199,7	13250,3	18221,7	31472,0	0,70	12214,6	0,7	0,9	26,0	7057,3
12.	10207,35	41402,9	51610,3	13692,0	15417,2	29109,2	0,84	27284,5	0,7	1,0	31,0	18189,6

Tablica 7. Rezultati proračuna  $Q_{C,nd}$  zone broj 3, mjesečna metoda

Mj.	$Q_{Tr,C}$ [kWh]	$Q_{Ve,C}$ [kWh]	$Q_{C,ht}$ [kWh]	$Q_{int}$ [kWh]	$Q_{sol}$ [kWh]	$Q_{gn}$ [kWh]	$\eta_{C,ls}$	$Q_{C,nd,cont}$ [kWh]	$\alpha_{C,red}$	$f_{C,m}$	$L_{C,m}$	$Q_{C,nd,m}$ [kWh]
1.	16204,52	206839,7	223044,3	13692,0	16485,3	30177,3	0,13	441,5	1,00	0,0	0	0,0
2.	14332,90	182923,1	197256,0	12367,0	19931,7	32298,7	0,16	675,8	1,00	0,0	0	0,0
3.	13377,49	170973,4	184350,9	13692,0	23103,5	36795,5	0,19	1107,5	1,00	0,0	0	0,0
4.	10127,11	129713,5	139840,6	13250,3	20812,9	34063,2	0,23	1463,9	1,00	0,0	0	0,0
5.	6004,32	77161,8	83166,1	13692,0	6561,0	20252,9	0,23	870,0	1,00	0,0	0	0,0
6.	2490,27	32104,6	34594,8	13250,3	6267,1	19517,4	0,47	3208,4	1,00	0,3	10	1069,5
7.	257,33	3320,2	3577,6	13692,0	6700,8	20392,8	0,98	16900,3	1,00	1,0	31	16900,3
8.	596,86	7705,9	8302,7	13692,0	7148,1	20840,1	0,90	13350,8	1,00	0,9	28	12058,7
9.	4655,43	59930,8	64586,2	13250,3	7760,2	21010,5	0,30	1482,3	1,00	0,0	0	0,0
10.	8234,50	105752,0	113986,5	13692,0	26222,4	39914,4	0,32	3179,0	1,00	0,0	0	0,0
11.	11700,82	149824,7	161525,5	13250,3	18221,7	31472,0	0,19	906,7	1,00	0,0	0	0,0
12.	15353,91	196097,0	211450,9	13692,0	15417,2	29109,2	0,14	440,1	1,00	0,0	0	0,0

Prema mjesečnom proračunu koji je prikazan u tablicama 6 i 7, zoni broj 3 je potrebno grijanje od siječnja do travnja te u studenom i prosincu, kao i zoni broj 1. Hlađenje je potrebno u tri mjeseca, od lipnja do kolovoza, za razliku od zone broj 1 kojoj je hlađenje potrebno šest mjeseci. Zona broj 1 i zona broj 3 imaju različitu geometriju koja je utjecala na razliku, a zona broj 3 ima i mehaničku ventilaciju s rekuperatorima koja pomaže pri smanjenju potrebne mjesečne energije za hlađenje.

Tablica 8. Rezultati proračuna  $Q_{H,nd}$  zone broj 1, jednostavna satna metoda

Mj.	$Q_{Tr,H,day}$ [kWh]	$Q_{Ve,H,day}$ [kWh]	$Q_{H,ht,day}$ [kWh]	$Q_{int,day}$ [kWh]	$Q_{sol,day}$ [kWh]	$Q_{gn,day}$ [kWh]	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd,day}$ [kWh]	$f_{H,m}$	$L_{H,m}$	$Q_{H,nd,m}$ [kWh]
1.	452,44	1119,03	1571,47	414,72	376,32	791,04	0,98	790,41	1,00	31,00	24502,6
2.	438,69	1085,03	1523,72	414,72	514,91	929,63	0,96	618,74	1,00	28,00	17324,7
3.	336,77	832,94	1169,71	414,72	596,46	1011,18	0,88	226,88	1,00	31,00	7033,3
4.	217,59	538,18	755,77	414,72	627,89	1042,61	0,67	0,00	0,18	5,00	0,0
5.	35,10	86,80	121,90	414,72	211,62	626,34	0,19	0,00	0,00	0,00	0,0
6.	-105,29	-260,41	-365,69	414,72	217,04	631,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
7.	-200,04	-494,77	-694,82	414,72	218,15	632,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
8.	-186,15	-460,42	-646,57	414,72	213,43	628,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
9.	-13,75	-34,00	-47,74	414,72	208,64	623,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
10.	126,34	312,49	438,83	414,72	611,58	1026,30	0,42	0,00	0,00	0,00	0,0
11.	284,13	702,74	986,87	414,72	427,99	842,71	0,88	197,22	0,74	22,00	4338,8
12.	417,64	1032,95	1450,59	414,72	345,91	760,63	0,98	700,07	1,00	31,00	21702,2

Tablica 9. Rezultati proračuna  $Q_{C,nd}$  zone broj 1, jednostavna satna metoda

Mj.	$Q_{Tr,C,day}$ [kWh]	$Q_{Ve,C,day}$ [kWh]	$Q_{C,ht,day}$ [kWh]	$Q_{int,day}$ [kWh]	$Q_{sol,day}$ [kWh]	$Q_{gn,day}$ [kWh]	$\eta_{C,ls}$	$Q_{C,nd,day}$ [kWh]	$f_{C,m}$	$L_{C,m}$	$Q_{C,nd,m}$ [kWh]
1.	663,01	1639,84	2302,86	414,72	376,32	791,04	0,34	0,00	0,00	0	0,0
2.	649,26	1605,85	2255,11	414,72	514,91	929,63	0,41	0,00	0,00	0	0,0
3.	547,34	1353,76	1901,10	414,72	596,46	1011,18	0,52	0,00	0,00	0	0,0
4.	428,16	1058,99	1487,16	414,72	627,89	1042,61	0,65	0,00	0,00	0	0,0
5.	245,67	607,62	853,29	414,72	211,62	626,34	0,68	0,00	0,31	10	0,0
6.	105,29	260,41	365,69	414,72	217,04	631,76	0,97	273,95	1,00	30	8218,4
7.	10,53	26,04	36,57	414,72	218,15	632,87	1,00	582,47	1,00	31	18056,5
8.	24,42	60,40	84,82	414,72	213,43	628,15	1,00	531,57	1,00	31	16478,8
9.	196,83	486,82	683,64	414,72	208,64	623,36	0,78	9,34	1,00	30	280,3
10.	336,92	833,30	1170,22	414,72	611,58	1026,30	0,77	0,00	0,58	18	0,0
11.	494,70	1223,55	1718,25	414,72	427,99	842,71	0,48	0,00	0,00	0	0,0
12.	628,21	1553,77	2181,97	414,72	345,91	760,63	0,35	0,00	0,00	0	0,0

U tablicama 8 i 9 prikazani su rezultati proračuna  $Q_{H,nd}$  i  $Q_{C,nd}$  zone broj 1 jednostavnom satnom metodom za karakteristični dan u svakom mjesecu. U usporedbi sa mjesečnom metodom, manjem broju mjeseci je potrebno i grijanje i hlađenje.

Tablica 10. Rezultati proračuna  $Q_{H,nd}$  zone broj 2, jednostavna satna metoda

Mj.	$Q_{Tr,H,day}$ [kWh]	$Q_{Ve,H,day}$ [kWh]	$Q_{H,ht,day}$ [kWh]	$Q_{int,day}$ [kWh]	$Q_{sol,day}$ [kWh]	$Q_{gn,day}$ [kWh]	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd,day}$ [kWh]	$f_{H,m}$	$L_{H,m}$	$Q_{H,nd,m}$ [kWh]
1.	30,34	2897,45	2927,80	1275,26	15,90	1291,17	0,758	0,0	1,00	31,00	0,0
2.	29,42	2809,42	2838,85	1275,26	22,44	1297,71	0,751	0,0	1,00	28,00	0,0
3.	22,59	2156,70	2179,29	1275,26	33,47	1308,74	0,688	0,0	1,00	31,00	0,0
4.	14,59	1393,47	1408,07	1275,26	43,81	1319,07	0,571	0,0	0,68	21,00	0,0
5.	2,35	224,75	227,11	1275,26	15,87	1291,14	0,159	0,0	0,00	0,00	0,0
6.	-7,06	-674,26	-681,32	1275,26	16,73	1292,00	0,001	0,0	0,00	0,00	0,0
7.	-13,42	-1281,10	-1294,51	1275,26	16,03	1291,29	0,001	0,0	0,00	0,00	0,0
8.	-12,48	-1192,13	-1204,62	1275,26	14,15	1289,41	0,001	0,0	0,00	0,00	0,0
9.	-0,92	-88,03	-88,95	1275,26	10,84	1286,10	0,001	0,0	0,00	0,00	0,0
10.	8,47	809,11	817,59	1275,26	25,83	1301,09	0,425	0,0	0,50	16,00	0,0
11.	19,06	1819,57	1838,63	1275,26	17,50	1292,76	0,648	0,0	1,00	30,00	0,0
12.	28,01	2674,57	2702,58	1275,26	13,87	1289,13	0,741	0,0	1,00	31,00	0,0

Tablica 11. Rezultati proračuna  $Q_{C,nd}$  zone broj 2, jednostavna satna metoda

Mj.	$Q_{Tr,C,day}$ [kWh]	$Q_{Ve,C,day}$ [kWh]	$Q_{C,ht,day}$ [kWh]	$Q_{int,day}$ [kWh]	$Q_{sol,day}$ [kWh]	$Q_{gn,day}$ [kWh]	$\eta_{C,ls}$	$Q_{C,nd,day}$ [kWh]	$f_{C,m}$	$L_{C,m}$	$Q_{C,nd,m}$ [kWh]
1.	44,47	4245,98	4290,44	1275,26	15,90	1291,17	0,250	236,58	0,00	0	0,0
2.	43,55	4157,95	4201,49	1275,26	22,44	1297,71	0,255	261,39	0,00	0	0,0
3.	36,71	3505,22	3541,93	1275,26	33,47	1308,74	0,293	127,64	0,00	0	0,0
4.	28,72	2742,00	2770,71	1275,26	43,81	1319,07	0,353	208,81	0,16	5	1044,1
5.	16,48	1573,28	1589,75	1275,26	15,87	1291,14	0,495	667,83	1,00	31	20702,6
6.	7,06	674,26	681,32	1275,26	16,73	1292,00	0,719	1200,62	1,00	30	36018,5
7.	0,71	67,43	68,13	1275,26	16,03	1291,29	0,975	1423,66	1,00	31	44133,3
8.	1,64	156,39	158,03	1275,26	14,15	1289,41	0,934	1371,10	1,00	31	42504,2
9.	13,20	1260,49	1273,70	1275,26	10,84	1286,10	0,556	813,50	1,00	30	24404,9
10.	22,60	2157,64	2180,23	1275,26	25,83	1301,09	0,411	376,04	0,67	21	7896,7
11.	33,18	3168,09	3201,27	1275,26	17,50	1292,76	0,314	146,54	0,00	0	0,0
12.	42,13	4023,09	4065,23	1275,26	13,87	1289,13	0,261	266,84	0,00	0	0,0

U tablicama 10. i 11. su rezultati proračuna  $Q_{H,nd}$  i  $Q_{C,nd}$  zone broj 2 jednostavnim satnom metodom. I ovaj proračun pokazuje da zbog intenzivnih unutrašnjih toplinskih dobitaka zoni broj 2 nije potrebno dodatno grijanje. U usporedbi sa mjesečnom metodom, i kod zone broj 2 manjem broju mjeseci je potrebno hlađenje.

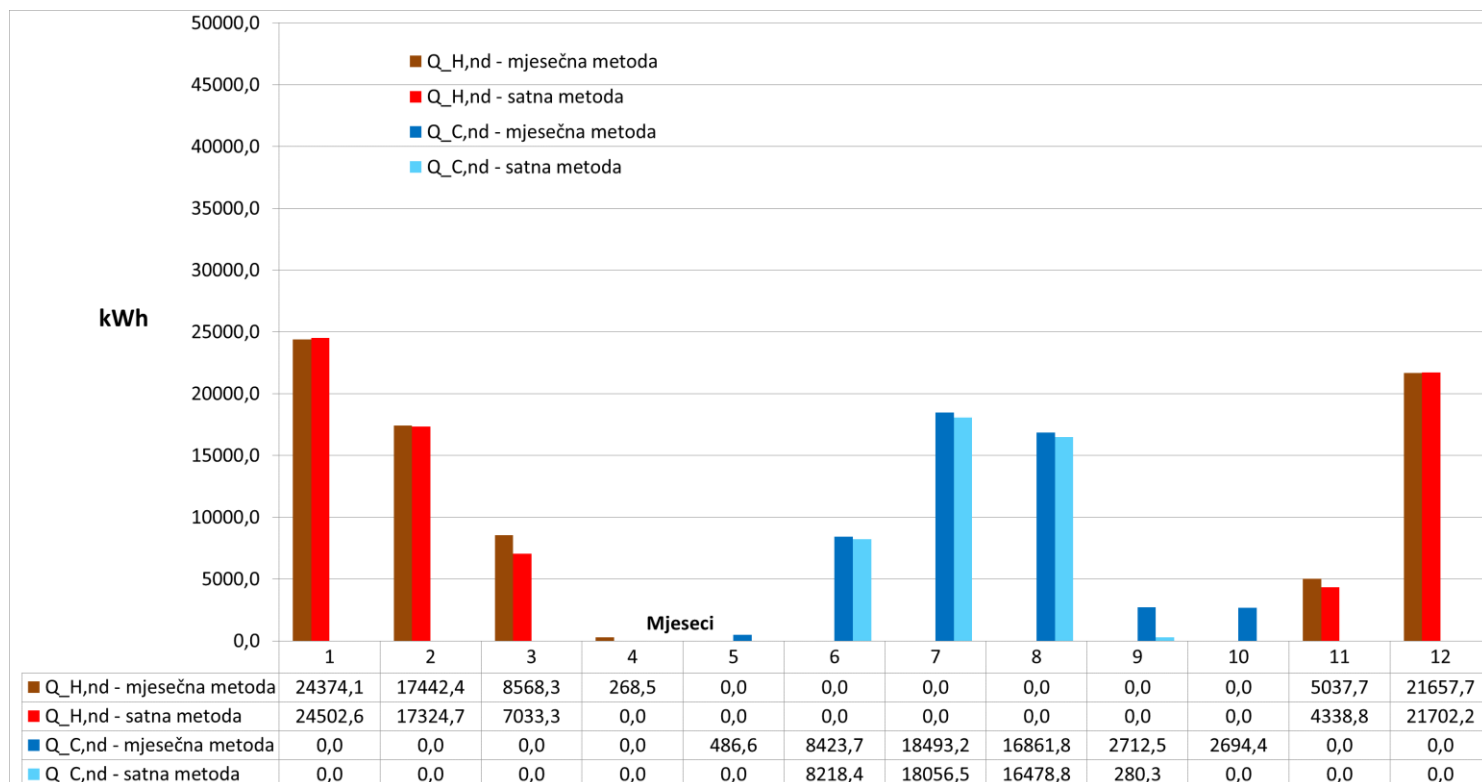
Tablica 12. Rezultati proračuna  $Q_{H,nd}$  zone broj 3, jednostavna satna metoda

Mj.	$Q_{Tr,H,day}$ [kWh]	$Q_{Ve,H,day}$ [kWh]	$Q_{H,ht,day}$ [kWh]	$Q_{int,day}$ [kWh]	$Q_{sol,day}$ [kWh]	$Q_{gn,day}$ [kWh]	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd,day}$ [kWh]	$f_{H,m}$	$L_{H,m}$	$Q_{H,nd,m}$ [kWh]
1.	356,71	6656,93	7013,64	441,68	531,80	973,48	0,972	780,42	1,00	31,00	24193,0
2.	345,87	6454,68	6800,56	441,68	711,87	1153,55	0,961	549,86	1,00	28,00	15396,0
3.	265,51	4955,05	5220,56	441,68	745,32	1186,99	0,939	165,77	1,00	31,00	5138,7
4.	171,55	3201,52	3373,08	441,68	693,75	1135,43	0,894	0,00	1,00	30,00	0,0
5.	27,67	516,37	544,04	441,68	211,64	653,32	0,575	0,00	0,50	16,00	0,0
6.	-83,01	-1549,12	-1632,13	441,68	208,90	650,58	0,001	0,00	0,00	0,00	0,0
7.	-157,72	-2943,34	-3101,05	441,68	216,16	657,84	0,001	0,00	0,00	0,00	0,0
8.	-146,76	-2738,94	-2885,70	441,68	230,57	672,25	0,001	0,00	0,00	0,00	0,0
9.	-10,84	-202,25	-213,08	441,68	258,68	700,36	0,001	0,00	0,00	0,00	0,0
10.	99,61	1858,95	1958,56	441,68	845,89	1287,57	0,757	5,24	0,50	16,00	83,8
11.	224,01	4180,48	4404,49	441,68	607,39	1049,06	0,935	128,05	1,00	30,00	3841,6
12.	329,27	6144,86	6474,13	441,68	497,33	939,00	0,970	682,38	1,00	31,00	21153,8

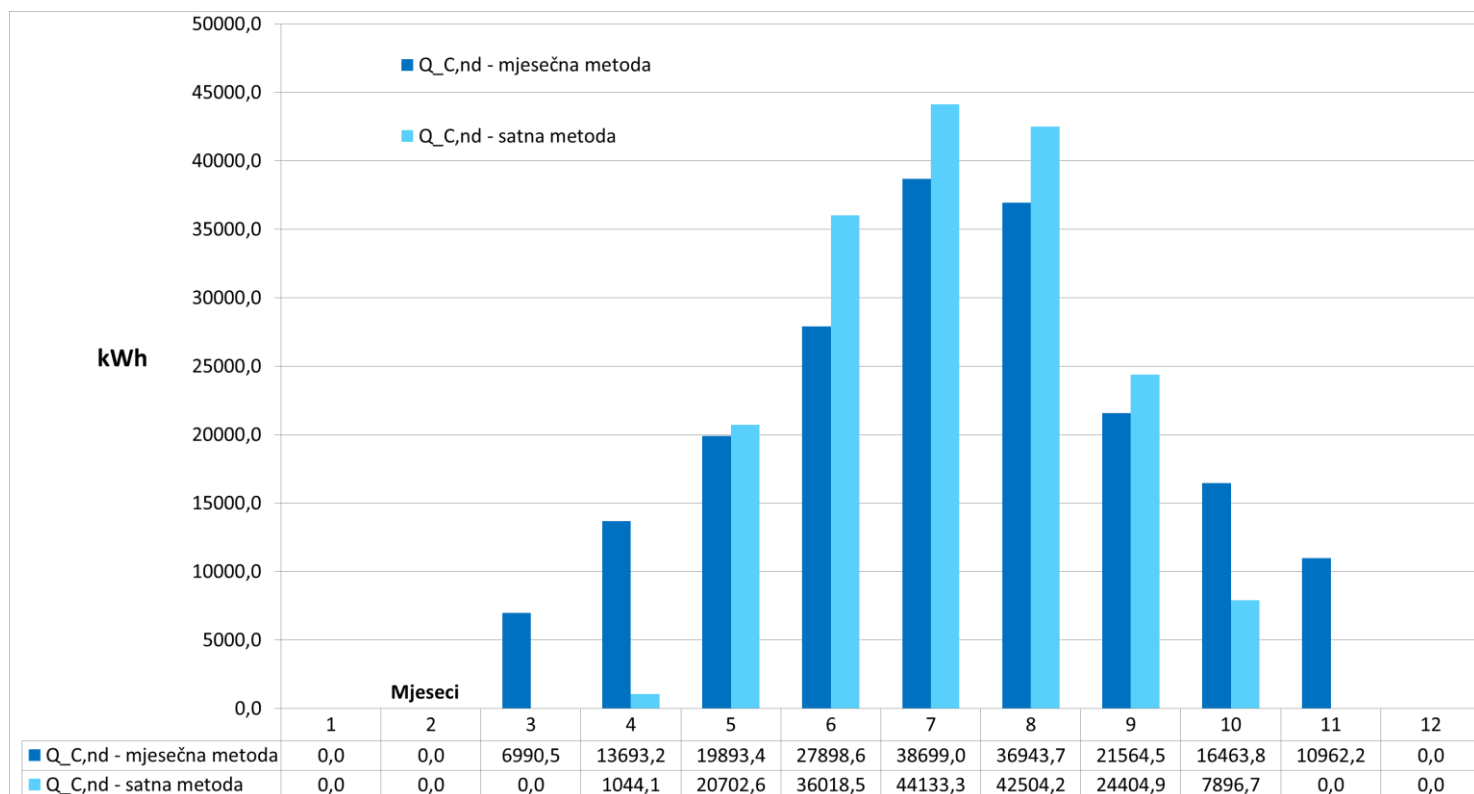
Tablica 13. Rezultati proračuna  $Q_{C,nd}$  zone broj 3, jednostavna satna metoda

Mj.	$Q_{Tr,C,day}$ [kWh]	$Q_{Ve,C,day}$ [kWh]	$Q_{C,ht,day}$ [kWh]	$Q_{int,day}$ [kWh]	$Q_{sol,day}$ [kWh]	$Q_{gn,day}$ [kWh]	$\eta_{C,ls}$	$Q_{C,nd,day}$ [kWh]	$f_{C,m}$	$L_{C,m}$	$Q_{C,nd,m}$ [kWh]
1.	522,73	9755,18	10277,91	441,68	531,80	973,48	0,093	0,00	0,00	0	0,0
2.	511,89	9552,93	10064,82	441,68	711,87	1153,55	0,112	0,00	0,00	0	0,0
3.	431,53	8053,29	8484,83	441,68	745,32	1186,99	0,136	0,00	0,00	0	0,0
4.	337,57	6299,77	6637,34	441,68	693,75	1135,43	0,164	0,00	0,00	0	0,0
5.	193,69	3614,62	3808,31	441,68	211,64	653,32	0,165	0,00	0,00	0	0,0
6.	83,01	1549,12	1632,13	441,68	208,90	650,58	0,345	185,94	0,09	3	557,8
7.	8,30	154,91	163,21	441,68	216,16	657,84	0,931	643,46	1,00	31	19947,3
8.	19,25	359,31	378,56	441,68	230,57	672,25	0,796	552,84	0,77	24	13268,1
9.	155,18	2896,00	3051,18	441,68	258,68	700,36	0,215	0,00	0,00	0	0,0
10.	265,63	4957,20	5222,83	441,68	845,89	1287,57	0,230	0,00	0,00	0	0,0
11.	390,03	7278,73	7668,76	441,68	607,39	1049,06	0,133	0,00	0,00	0	0,0
12.	495,29	9243,11	9738,40	441,68	497,33	939,00	0,095	0,00	0,00	0	0,0

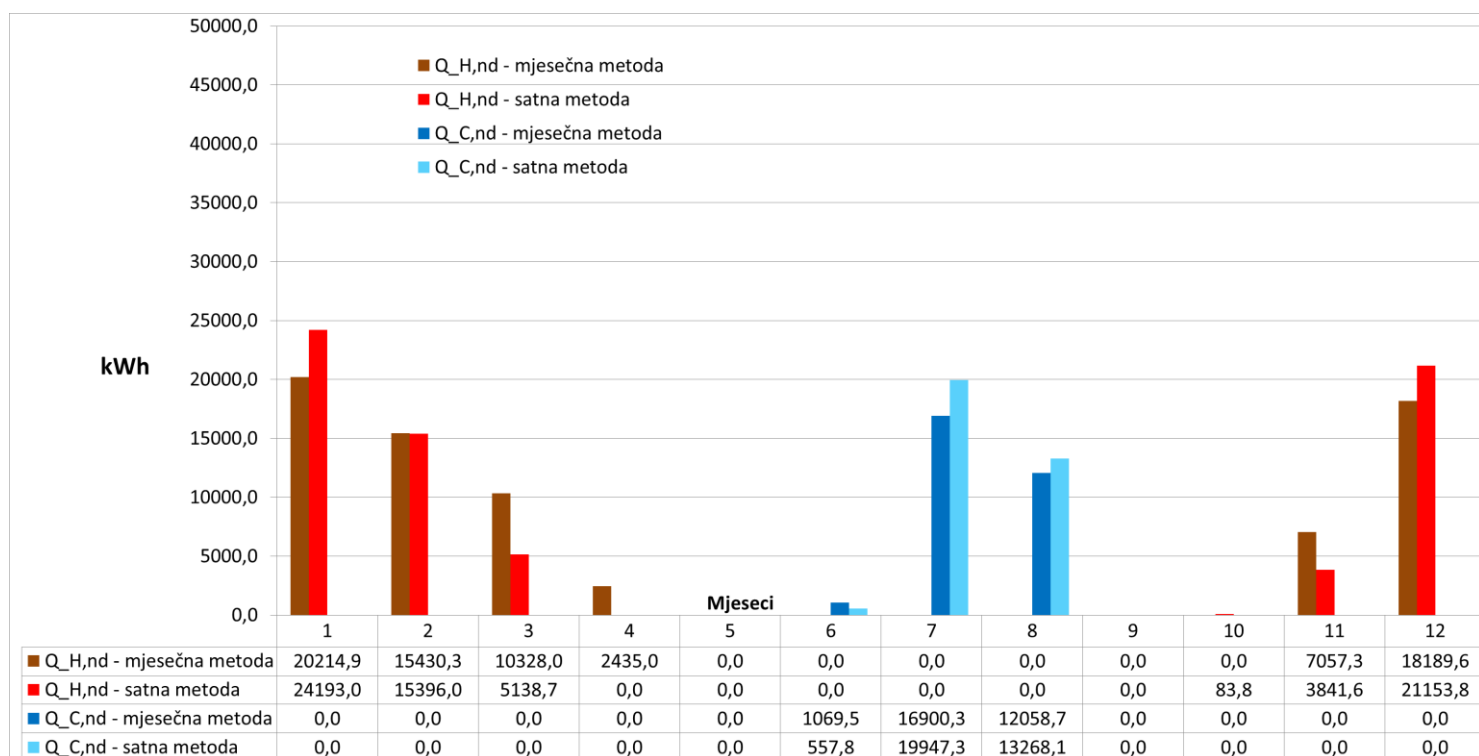
U tablicama 12. i 13. su rezultati proračuna  $Q_{H,nd}$  i  $Q_{C,nd}$  za zonu broj 3 jednostavnom satnom metodom.



Slika 18. Usporedba rezultata mjesečne i satne metode za zonu broj 1



Slika 19. Usporedba rezultata mjesečne i satne metode za zonu broj 2



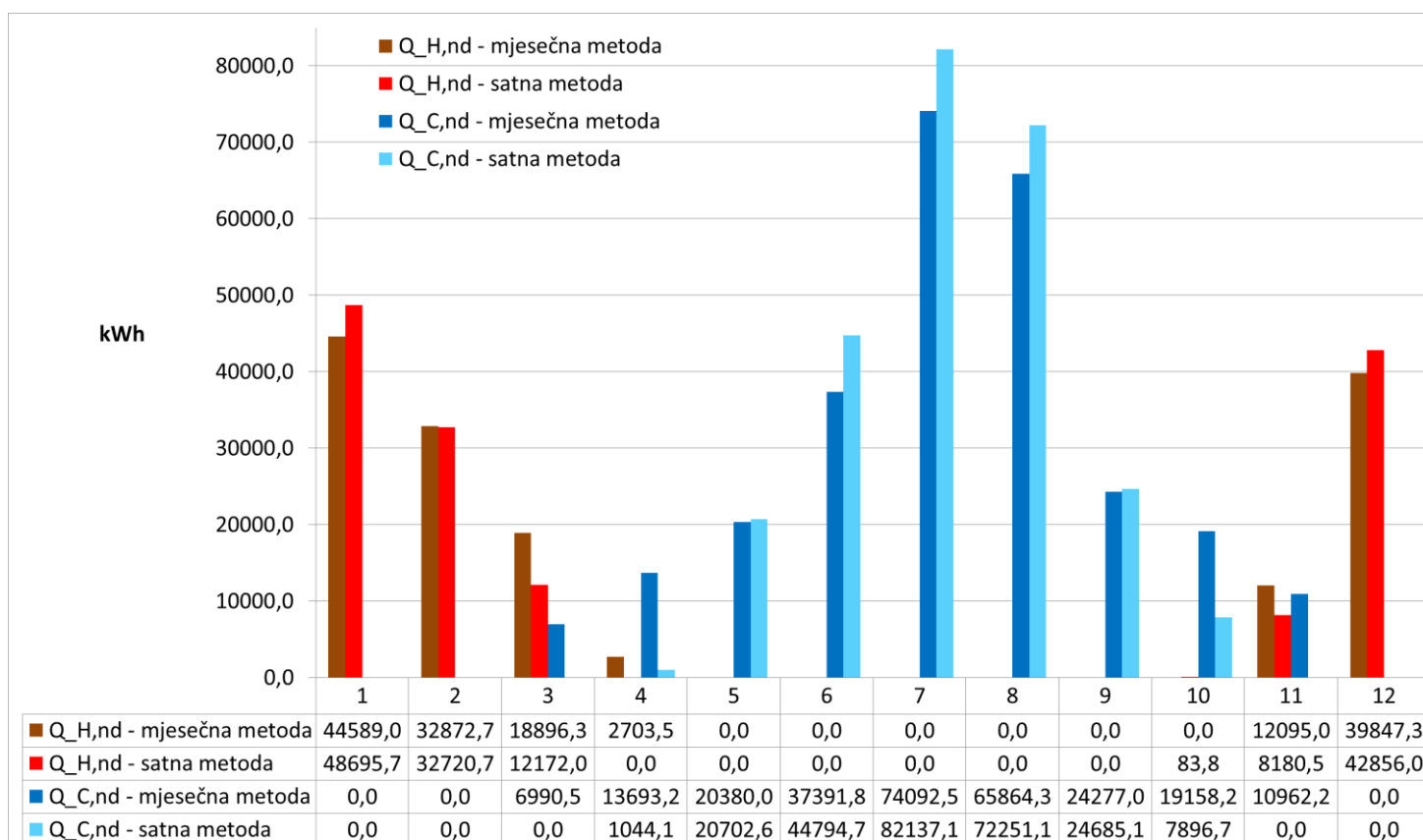
Slika 20. Usporedba rezultata mjesečne i satne metode za zonu broj 3

Iz slika 18, 19. i 20. je vidljivo da mjesečna i satna metoda daju slične, ali ipak drugačije rezultate. Iznosi su najujednačeniji kod zone broj 1, sobe na slici 18, koja zbog geometrije zgrade ima površinu najviše izloženu suncu. Kad se utjecaj insolacije smanji, rezultati su kao na slikama 19. i 20. Kod zona broj 2 i broj 3 su na sredini sezona grijanja i hlađenja, u mjesecima siječnju i srpnju, vršne vrijednosti veće kod satne metode. Kod prijelaznih mjeseci dvaju sezona, mjesečna metoda pokazuje veće vrijednosti. Postoje mjeseci kod kojih mjesečna metoda pokazuje da je hlađenje ili hlađenje potrebno, a satna prema satnoj nije.

U nastavku ovog rada korišteni su rezultati jednostavne satne metode zbog veće točnosti proračuna jer uzima u obzir promjenu vanjske temperature, relativne vlažnosti zraka i insolacije tijekom dana dok se mjesečna metoda temelji na prosječnim vrijednostima. Prema Algoritmu [1], proračun  $Q_{C,nd}$  satnom metodom je posebno preporučeno jer kod mjesečne metode nije moguće izuzeti iz ukupne bilance situacije kada je  $Q_{C,nd} < 0$  pa zbog osrednjavanja satnih temperatura na mjesečnoj razini dolazi do umanjivanja sume pozitivnih vrijednosti  $Q_{C,nd}$ . Kod proračuna  $Q_{H,nd}$  situacije kada je  $Q_{H,nd} < 0$  su vrlo rijetke, pa je razlika između rezultata proračuna dobivenih mjesečnom i satnom metodom znatno manja nego kod proračuna  $Q_{C,nd}$ .

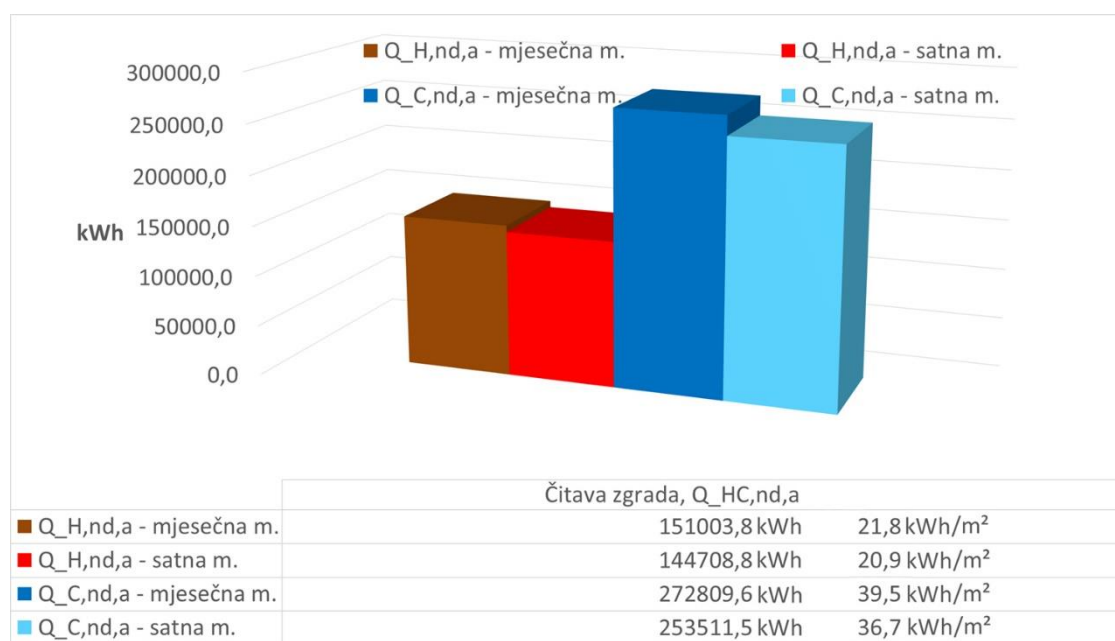
Rezultati obje metode za čitavu zgradu prikazani su na slici 21.





Slika 21. Potrebne topline za grijanje i hlađenje za čitavu zgradu

Iz slike 21. vidljivo kako su vršne vrijednosti u siječnju i srpnju veće kod proračuna satnom metodom. Kod prijelaznih mjeseci su vrijednosti dobivene mjesečnom metodom veće od onih dobivenih satnom. Zgrada je u energetske razredu A.



Slika 22. Godišnje potrebne energije za grijanje i hlađenje

Na slici 22. je prikazana usporedba godišnjih potrebnih energija za grijanje i hlađenje  $Q_{H,nd,a}$  i  $Q_{C,nd,a}$  mjesečne i satne metode. Satna metoda daje nešto manje rezultate na godišnjoj razini za obje potrebne energije.

Prema tablici 8 iz *Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama*, NN 128-15 i 70-18, najveća dopuštena vrijednost  $Q_{H,nd}$  po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade za hotele i restorane u Primorju, uz faktor oblika zgrade  $f_0$  od 0,26 iznosi 13,0 kWh/m<sup>2</sup>. Faktor oblika zgrade  $f_0$  je omjer vanjske površine grijanog dijela A i obujma grijanog dijela  $V_e$ . Najveća dopuštena vrijednost primarne energije  $E_{prim}$  po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade iznosi 80 kWh/m<sup>2</sup>.

Ova zgrada ne bi zadovoljila uvjet kod novih zgrada za najveću dopuštenu vrijednost  $Q_{H,nd}$  po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade prema *Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama*.

#### 4.2 Toplinska energija za pripremu PTV-a $Q_{W,gnr,out}$ prema HRN EN 15316-3:2008

U tablici 14. dane su karakteristike sustava pripreme potrošne tople vode hotela.

Tablica 14. Karakteristike sustava pripreme PTV-a

	Zona broj 1 - sobe	Zona broj 2 - kuhinja	Zona broj 3 – zajedničke prostorije	Čitava zgrada
$V_{w,f,day}$ [lit/kreветu/dan]	28	29	54	111
Cirkulacijska petlja	Da	Ne	Ne	
Temperatura PTV [°C]	45	60	45	

Ukupni  $V_{w,f,day}$  je određen tablicom 6.1 iz [4] i zatim je podijeljen na zone. Proračun toplinske energije koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda pripreme PTV-a potrebno je raditi zonu po zonu. Rezultati tog proračuna su u tablici 15. Samo kod zone broj 1 postoji pomoćna energija vraćena radnom mediju  $Q_{W,dis,aux,rvd}$  jer jedino zona broj 1 ima cirkulacijsku petlju i  $Q_{W,dis,aux,rvd}$  je pomoćna energija cirkulacijske pumpe te petlje. Kod ostalih zona strujanje PTV-a je ostvareno pretlakom u spremniku PTV-a. Dužina cjevovoda potrošne tople vode svih zona aproksimirana je pomoću tablice 7.1 iz [4].

Tablica 15. Rezultati proračuna razvoda sustava pripreme PTV-a

Mj.	Zona broj 1				Zona broj 2			Zona broj 3			Ukupno
	Q <sub>w</sub> [kWh]	Q <sub>w,dis,ls</sub> [kWh]	Q <sub>w,dis,aux,rvd</sub> [kWh]	Q <sub>w,dis,in</sub> [kWh]	Q <sub>w</sub> [kWh]	Q <sub>w,dis,ls</sub> [kWh]	Q <sub>w,dis,in</sub> [kWh]	Q <sub>w</sub> [kWh]	Q <sub>w,dis,ls</sub> [kWh]	Q <sub>w,dis,in</sub> [kWh]	
1.	7337,1	4907,7	79,5	12165,2	11217,8	1682,7	12900,4	14150,1	2122,5	16272,6	41338,3
2.	6627,0	4432,7	71,8	10988,0	10132,2	1519,8	11652,0	12780,7	1917,1	14697,8	37337,8
3.	7337,1	4907,7	79,5	12165,2	11217,8	1682,7	12900,4	14150,1	2122,5	16272,6	41338,3
4.	7100,4	4749,4	77,0	11772,8	10855,9	1628,4	12484,3	13693,6	2054,0	15747,7	40004,8
5.	7337,1	3994,0	79,5	11251,5	11217,8	1682,7	12900,4	14150,1	2122,5	16272,6	40424,6
6.	7100,4	3865,1	77,0	10888,6	10855,9	1628,4	12484,3	13693,6	2054,0	15747,7	39120,6
7.	7337,1	3994,0	79,5	11251,5	11217,8	1682,7	12900,4	14150,1	2122,5	16272,6	40424,6
8.	7337,1	3994,0	79,5	11251,5	11217,8	1682,7	12900,4	14150,1	2122,5	16272,6	40424,6
9.	7100,4	3865,1	77,0	10888,6	10855,9	1628,4	12484,3	13693,6	2054,0	15747,7	39120,6
10.	7337,1	4907,7	79,5	12165,2	11217,8	1682,7	12900,4	14150,1	2122,5	16272,6	41338,3
11.	7100,4	4749,4	77,0	11772,8	10855,9	1628,4	12484,3	13693,6	2054,0	15747,7	40004,8
12.	7337,1	4907,7	79,5	12165,2	11217,8	1682,7	12900,4	14150,1	2122,5	16272,6	41338,3

Unutar sustava pripreme PTV-a potrebna su dva spremnika zbog korištenja *booster* dizalice topline. Voda je u prvom spremniku zagrijana na 45°C, a u drugom na 60°C. Prvi spremnik (međuspremnik PTV-a) služi samo kao spremnik topline za *booster* dizalicu topline voda-voda i dio je zatvorenog sustava jer nema dotoka svježe vode. Drugi spremnik je spremnik PTV-a u kojeg ulazi svježa voda iz vodovoda i izlazi zagrijana na 60°C. Oba spremnika, kao i primarni cjevovod između dizalice topline i prvog spremnika, imaju toplinske gubitke koje je potrebno izračunati.

Tablica 16. Rezultati proračuna spremnika i primarne cirkulacije sustava pripreme PTV-a te  $Q_{W,gen,out}$ 

Mj.	Q <sub>w,dis,in</sub> [kWh]	Q <sub>w,st,ls,1</sub> [kWh]	Q <sub>w,st,ls,2</sub> [kWh]	Q <sub>w,p,ls</sub> [kWh]	Q <sub>w,gen,out</sub> [kWh]
1.	41338,3	244,0	404,7	96,5	42083,5
2.	37337,8	220,4	365,6	87,1	38010,9
3.	41338,3	244,0	404,7	96,5	42083,5
4.	40004,8	236,2	391,7	93,3	40726,0
5.	40424,6	244,0	404,7	94,3	41167,7
6.	39120,6	236,2	391,7	91,3	39839,7
7.	40424,6	244,0	404,7	94,3	41167,7
8.	40424,6	244,0	404,7	94,3	41167,7
9.	39120,6	236,2	391,7	91,3	39839,7
10.	41338,3	244,0	404,7	96,5	42083,5
11.	40004,8	236,2	391,7	93,3	40726,0

12.	41338,3	244,0	404,7	96,5	42083,5
-----	---------	-------	-------	------	---------

Izračunata je toplinska energija koju generator ogrjevnog učina predaje u sustav razvoda za svaki mjesec  $Q_{W,gen,out}$  koja je potrebna pri proračunu generatora ogrjevnog učina i rezultati se nalaze u tablici 16.

### 4.3 Proračun sustava za grijanje i hlađenje prostora prema HRN EN 15316:2008

#### 4.3.1 Energija podsustava predaje i razvoda topline za grijanje prostora prema normi HRN EN 15316-2:2008

Grijanje i hlađenje svih zona je pomoću ventilokonvektora. Zone broj 2 i broj 3 imaju mehaničku ventilaciju s rekuperatorima, shema [2] iz [3].

##### 4.3.1.1 Sezona grijanja

Svakoj zoni je mjesečno potrebna toplinska energija  $Q_{H,nd}$ , izračunata ranije u toku proračuna. Tu će energiju promatranj zoni većinom predati istrujni otvori, i taj dio ima oznaku  $Q_{H,em,out}$ , toplinska energija istrujnih otvora. Ostatak će biti od iskoristivih toplina koju predaju pomoćni uređaji poput pumpi i ventilatora te cijevi distribucije ogrjevnog medija i potrošne tople vode. U zoni broj 3 će sudjelovati i spremnici PTV-a, njihov cjevovod i generator ogrjevnog učina smješten unutar zone broj 3.

Na početku proračuna nije poznata toplinska energija koja se na istrujnim otvorima predaje u prostor  $Q_{H,em,out}$ . U prvom koraku proračuna je pretpostavka  $Q_{H,em,out} = Q_{H,nd}$ . Do točne vrijednosti  $Q_{H,em,out}$  se dolazi iteracijom nakon što su izračunate vrijednosti iskoristivih gubitaka. Iznosi koji će biti napisani u ovom poglavlju su dobiveni iteracijom uz razliku vrijednosti  $Q_{H,em,out}$  u posljednja dva koraka <1%.

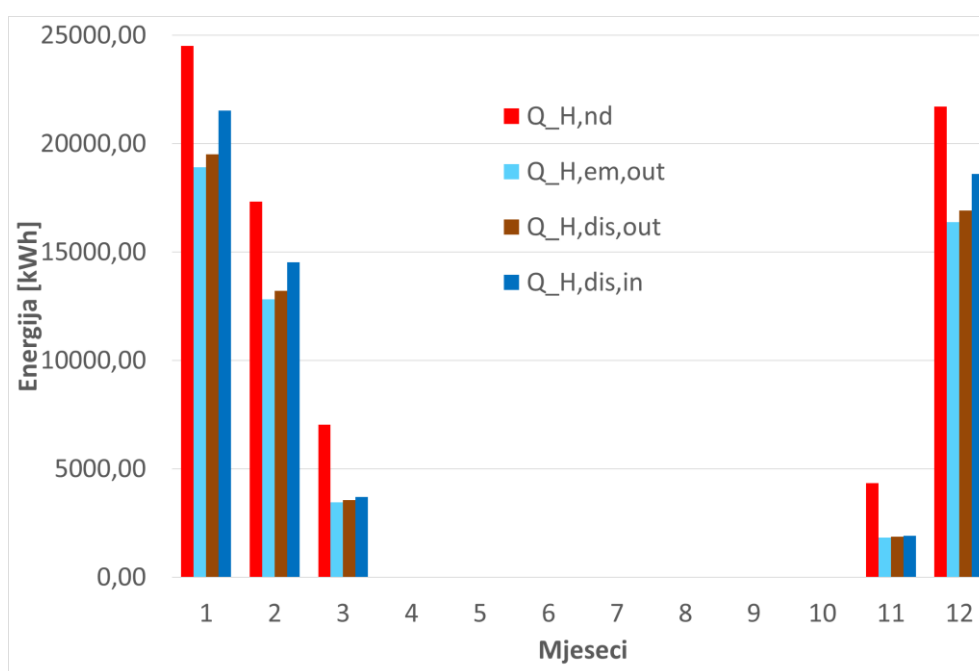
#### Zona broj 1

Iskoristivi gubici u zoni broj 1 su toplinski gubici podsustava predaje  $Q_{H,em,ls}$ , iskoristivi toplinski gubici podsustava razvoda koji se vraćaju u grijani prostor  $Q_{H,dis,rbl}$  i iskoristivi gubici razvoda sustava pripreme PTV-a koji se vraćaju u grijani prostor  $Q_{W,dis,rbl}$ . U tablici 17. su rezultati proračuna  $Q_{H,em,in}$  i  $Q_{H,dis,in}$ .

Tablica 17 Rezultati proračuna  $Q_{H,em,in}$  i  $Q_{H,dis,in}$  za zonu broj 1

Mj.	$Q_{H,nd}$ [kWh]	$Q_{H,em,out}$ [kWh]	$Q_{H,em,ls}$ [kWh]	$Q_{H,em,aux,rvd}$ [kWh]	$Q_{H,em,in}$ $Q_{H,dis,out}$ [kWh]	Gubitak emisije, % $Q_{H,em,in}$	$Q_{H,dis,ls}$ [kWh]	$Q_{H,dis,au}$ x,rvd [kWh]	$Q_{H,dis,in}$ $Q_{H,gen,out}$ [kWh]	Gubitak distribucije, % $Q_{H,dis,in}$
1	24502	18905	813	210	19507	3,09	2407	401	21513	9,32
2	17324	12806	550	142	13214	3,09	1630	329	14515	8,96

3	7033	3442	148	38	3552	3,09	438	282	3708	4,20
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	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	0,00	0,00
6	0,00	0,00	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	0,00	0,00
8	0,00	0,00	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	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	4338	1818	78	20	1876	3,09	231	195	1912	1,87
12	21702	16382	704	182	16904	3,09	2086	382	18608	9,16



Slika 23.  $Q_{H,nd}$ ,  $Q_{H,em,out}$ ,  $Q_{H,dis,out}$  i  $Q_{H,dis,in}$  zone broj 1

Na slici 23. prikazana je grafička usporedba  $Q_{H,nd}$ ,  $Q_{H,em,out}$ ,  $Q_{H,dis,out}$  i  $Q_{H,dis,in}$ .

Razlika između stupaca  $Q_{H,nd}$  i  $Q_{H,em,out}$  predstavlja iskorištene gubitke u prostor (rvd) od sustava grijanja i sustava pripreme potrošne tople vode.

$$Q_{H,nd} - Q_{H,em,out} = \sum_i Q_{H,ls,rvd,i} + \sum_i Q_{W,ls,rvd,i} \quad [\text{kWh}] \quad (64)$$

Razlika između stupaca  $Q_{H,dis,out}$  ( $Q_{H,em,in}$ ) i  $Q_{H,em,out}$  je veća što su veći gubici emisije, a smanjuje je povrat topline u radni medij od pomoćnih uređaja emisije.

$$Q_{H,dis,out} - Q_{H,em,out} = Q_{H,em,ls} - Q_{H,em,aux,rvd} \quad [\text{kWh}] \quad (65)$$

Razlika između stupaca  $Q_{H,dis,in}$  i  $Q_{H,dis,out}$  je veća što su veći gubici razvoda grijanja, a smanjuje je povrat topline u radni medij od pomoćnih uređaja razvoda grijanja.

$$Q_{H,dis,in} - Q_{H,dis,out} = Q_{H,dis,ls} - Q_{H,dis,aux,rvd} \text{ [kWh]} \quad (66)$$

## Zona broj 2

Iznos potrebne energije za grijanje  $Q_{H,nd}$  za zonu broj 2 je u svim mjesecima 0 i prema proračunu, grijanje nije potrebno zbog velikih unutrašnjih toplinskih dobitaka. Izborom snage generatora ogrjevnog učina i ventilokonvektora je ostavljena mogućnost korištenja grijanja i u zoni broj 2, po potrebi.

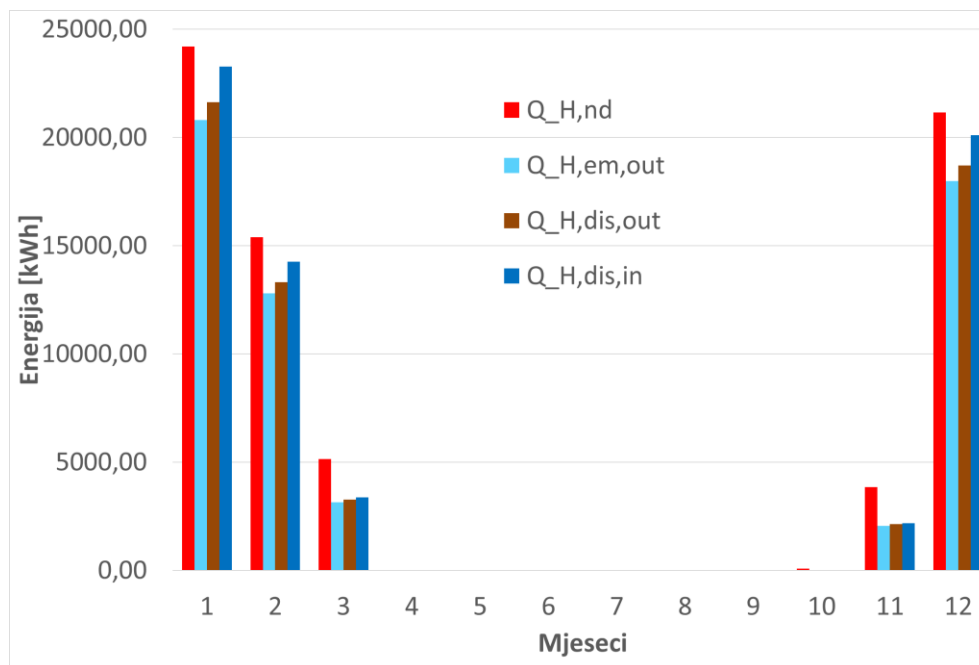
## Zona broj 3

Iskoristivi gubici u zoni 1 su toplinski gubici podsustava predaje  $Q_{H,em,ls}$ , iskoristivi toplinski gubici podsustava razvoda koji se vraćaju u grijani prostor  $Q_{H,dis,rbl}$ , iskoristivi gubici razvoda sustava pripreme PTV-a koji se vraćaju u grijani prostor  $Q_{W,dis,rbl}$ . Unutar zone broj 3 se nalazi kotlovnica sa ogrjevnim spremnikom i spremnicima PTV-a pa postoje toplinski gubici spremnika i primarne cirkulacije od generatora ogrjevnog učina do spremnika. Ako je generator ogrjevnog učina smješten unutar zone broj 3, postojat će i toplinski gubici generatora ogrjevnog učina u prostor zone broj 3. Pumpa i razvod cirkulacijske petlje zone broj 1 (dio od generatora ogrjevnog učina do vertikala  $L_V$ ) također pridonose zagrijavanju zone broj 3. Svi ti iskoristivi toplinski gubici smanjuju iznos  $Q_{H,em,out}$ . U tablici 18. su ispisani rezultati proračuna  $Q_{H,em,in}$  i  $Q_{H,dis,in}$  za zonu broj 3, a grafički su prikazani na slici 23.

Tablica 18 Rezultati proračuna  $Q_{H,em,in}$  i  $Q_{H,dis,in}$  za zonu 3

Mj.	$Q_{H,nd}$ [kWh]	$Q_{H,em,out}$ [kWh]	$Q_{H,em,ls}$ [kWh]	$Q_{H,em,aux,rvd}$ [kWh]	$Q_{H,em,in}$ $Q_{H,dis,out}$ [kWh]	Gubitak emisije, % $Q_{H,em,in}$	$Q_{H,dis,ls}$ [kWh]	$Q_{H,dis,aux,rvd}$ [kWh]	$Q_{H,dis,in}$ $Q_{H,gen,out}$ [kWh]	Gubitak distribucije, % $Q_{H,dis,in}$
1	24193	20801	894	76	21619	3,79	1968	327	23260	7,06
2	15396	12797	550	46	13300	3,79	1210	246	14264	6,76
3	5138	3139	135	11	3263	3,79	297	183	3376	3,35
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	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	0,00	0,00
6	0,00	0,00	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	0,00	0,00
8	0,00	0,00	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	0,00	0,00
10	83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	3841	2061	88	7	2142	3,79	195	169	2167	1,16
12	21153	17987	773	65	18695	3,79	1702	304	20093	6,96



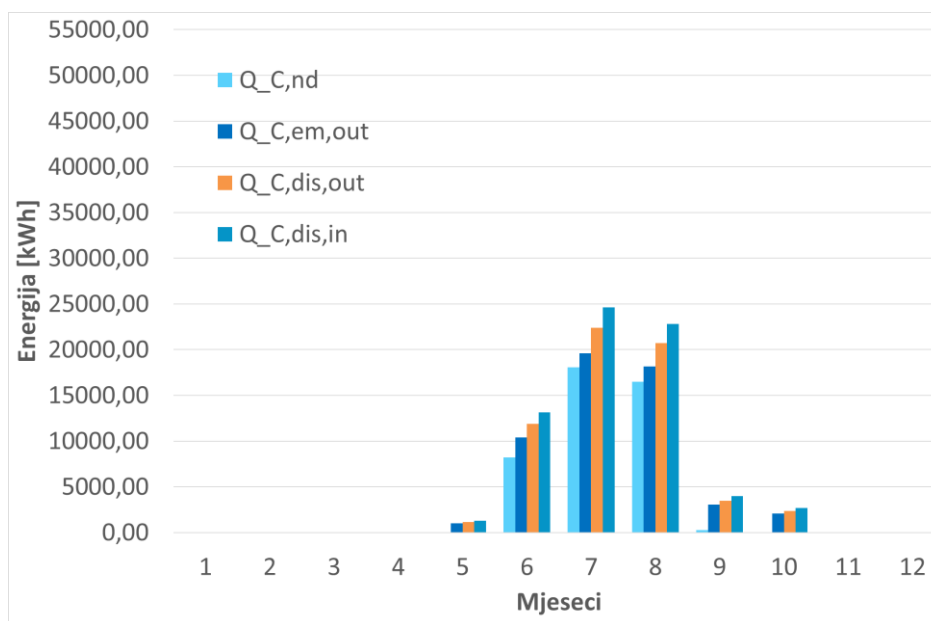
Slika 24.  $Q_{H,nd}$ ,  $Q_{H,em,out}$ ,  $Q_{H,dis,out}$  i  $Q_{H,dis,in}$  zone broj 3

Iz slike 24. je vidljivo da je razlika  $Q_{H,nd}$  i  $Q_{H,dis,in}$  pozitivna, kao i kod zone broj 1, što znači da su iskorišteni toplinski gubici (topline s indeksom rvd) veći od zbroja gubitaka emisije  $Q_{H,em,ls}$  i distribucije  $Q_{H,dis,ls}$ .

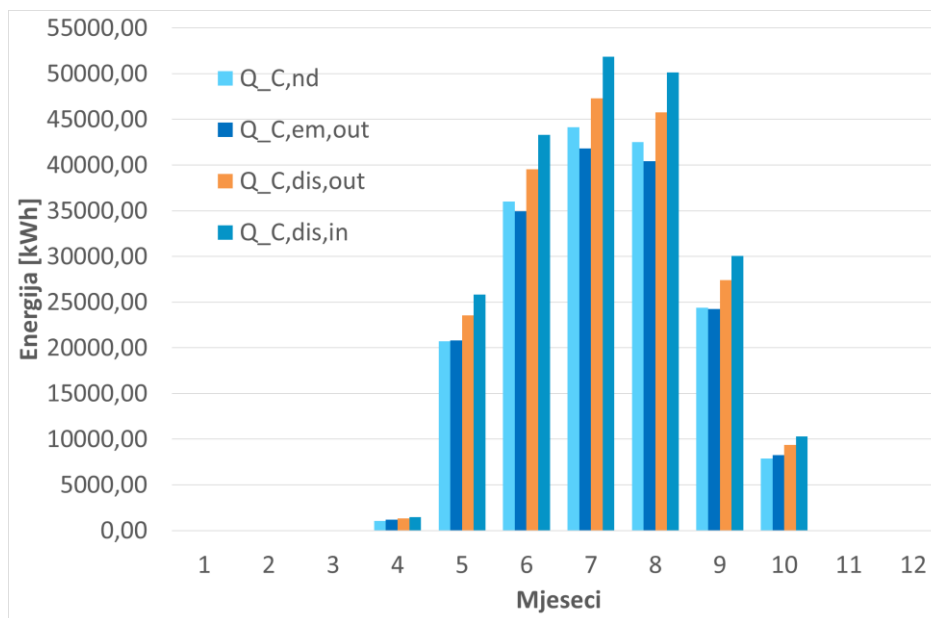
#### 4.3.1.2 Sezona hlađenja

Rezultati proračuna  $Q_{C,em,out}$ ,  $Q_{C,dis,out}$ ,  $Q_{C,dis,in}$ ,  $Q_{C,gen,out}$  prikazani su grafički na slikama 25, 26. i 27. Zona broj 2 ima najveću potrebu za hlađenjem. U svim zonama je  $Q_{C,dis,in}$  veće od  $Q_{C,nd}$ .

## Zona broj 1

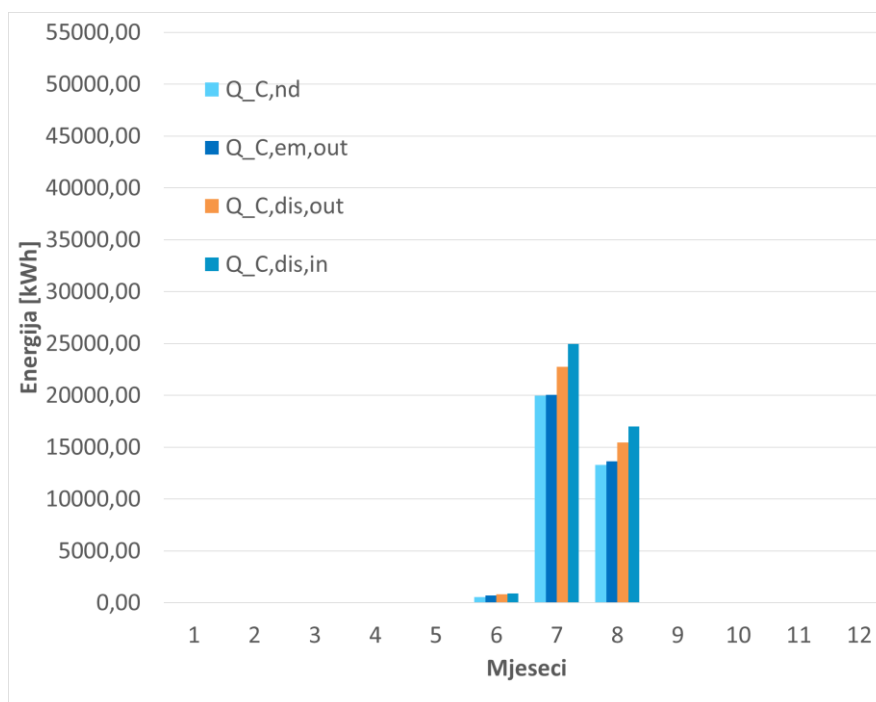
Slika 25.  $Q_{C,nd}$ ,  $Q_{C,em,out}$ ,  $Q_{C,dis,out}$  i  $Q_{C,dis,in}$  zone broj 1

## Zona broj 2

Slika 26.  $Q_{C,nd}$ ,  $Q_{C,em,out}$ ,  $Q_{C,dis,out}$  i  $Q_{C,dis,in}$  zone broj 2



## Zona broj 3

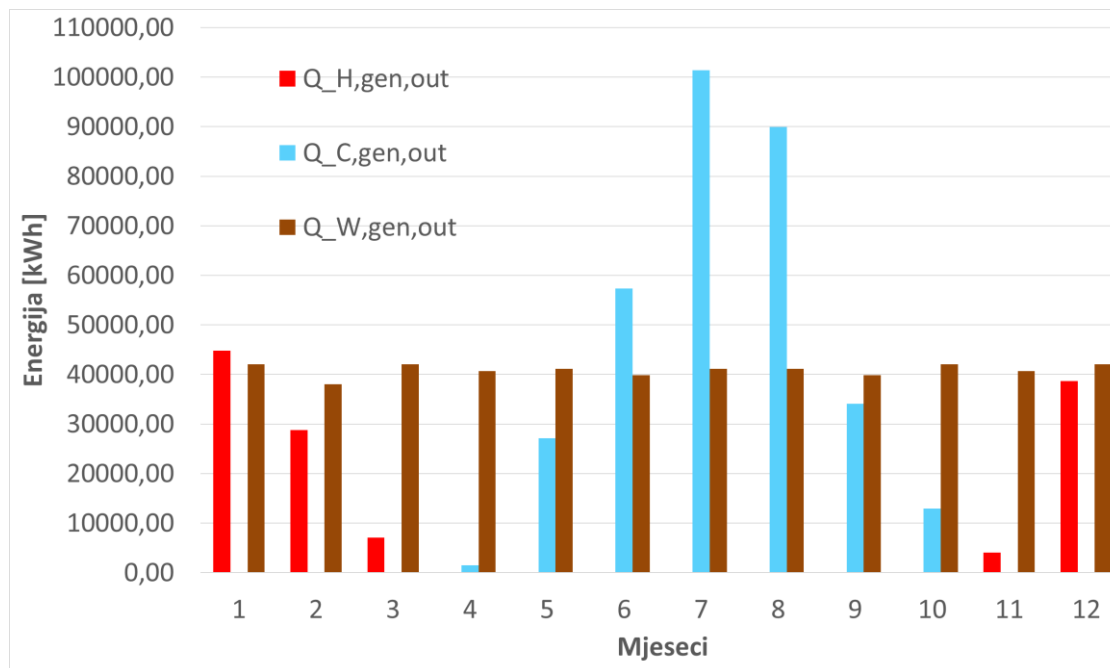
Slika 27.  $Q_{C,nd}$ ,  $Q_{C,em,out}$ ,  $Q_{C,dis,out}$  i  $Q_{C,dis,in}$  zone broj 34.3.2 Usporedba energija  $Q_{H,gen,out}$ ,  $Q_{C,gen,out}$ ,  $Q_{W,gen,out}$ 

Mjesečni iznosi energija  $Q_{H,gen,out}$ ,  $Q_{C,gen,out}$  i  $Q_{W,gen,out}$  za čitavu zgradu se nalaze u tablici 19.

Tablica 19. Energije  $Q_{H,gen,out}$ ,  $Q_{C,gen,out}$ ,  $Q_{W,gen,out}$ 

Mj.	$Q_{H,gen,out}$ [kWh]	$Q_{C,gen,out}$ [kWh]	$Q_{W,gen,out}$ [kWh]
1	44774,3	0,00	42083,5
2	28780,0	0,00	38010,9
3	7085,1	0,00	42083,5
4	0,00	1469,2	40726,0
5	0,00	27133,5	41167,7
6	0,00	57346,5	39839,7
7	0,00	101418,1	41167,7
8	0,00	89903,4	41167,7
9	0,00	34057,5	39839,7
10	0,00	12970,7	42083,5
11	4079,4	0,00	40726,0
12	38702,0	0,00	42083,5
$\Sigma$	123420,8	324298,8	490979,2

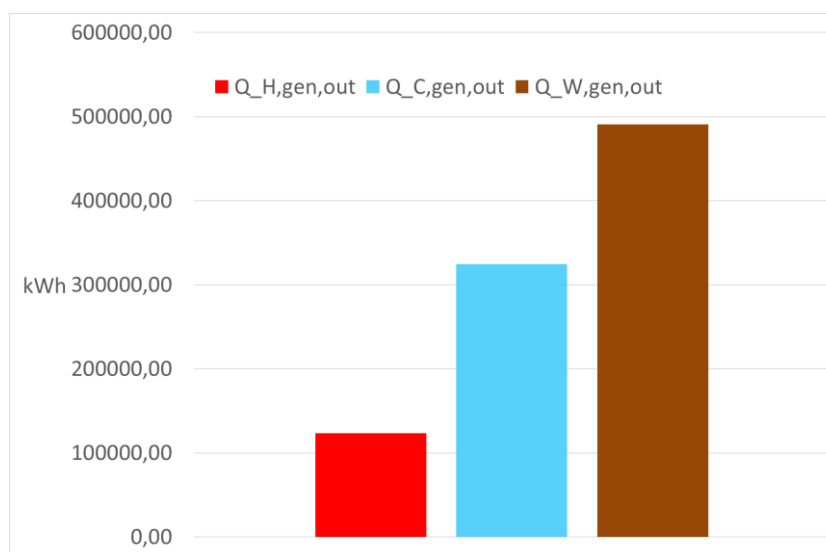
Grijanje je potrebno u mjesecima od studenog do ožujka, a hlađenje od travnja do listopada te su kod ove zgrade tako raspoređene sezona grijanja i sezona hlađenja..



Slika 28. Usporedba mjesečnih iznosa  $Q_{H,gen,out}$ ,  $Q_{C,gen,out}$ ,  $Q_{W,gen,out}$

Na slici 28. prikazani su mjesečni iznosi energija  $Q_{H,gen,out}$ ,  $Q_{C,gen,out}$  i  $Q_{W,gen,out}$ . Zbog potrebe za intenzivnim hlađenjem zone broj 2 u ljetnom razdoblju,  $Q_{C,gen,out}$  u srpnju ima najveći mjesečni iznos od svih toplina.

Usporedba godišnjih iznosa energija  $Q_{H,gen,out}$ ,  $Q_{C,gen,out}$  i  $Q_{W,gen,out}$  prikazana je na slici 29.



Slika 29. Usporedba godišnjih iznosa  $Q_{H,gen,out}$ ,  $Q_{C,gen,out}$ ,  $Q_{W,gen,out}$

Najveći godišnji iznos toplinske energije potreban je za sustav pripreme potrošne tople vode. Na drugom mjestu po iznosu je sustav hlađenja prostora i na trećem je sustav grijanja prostora. Energije  $Q_{H,gen,out}$  i  $Q_{C,gen,out}$  se međusobno razlikuju za zonu broj 3 ovisno o tehničkom rješenju sustava grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a, ali razlike su minimalne i ovise o iznosu iskoristive topline generatora ogrjevnog/rashladnog učina. Gornje vrijednosti su za prvo tehničko rješenje, dizalica topline zrak-voda voda Clivet WSAN-XCS3 MF 140.4 sa *booster* dizalicom topline Clivet WSH-XEE2 HW 80,2.

### 4.3.3 Sustavi za proizvodnju topline

#### 4.3.3.1 Dizalica topline zrak – voda Clivet WSAN-XCS3 MF 140.4 i *booster* dizalica topline Clivet WSH-XEE2 HW 80,2

Sezona grijanja i priprema PTV:

Pomoćna *booster* dizalica topline voda-voda predaje toplinu spremniku PTV-a u kojeg ulazi svježja voda temperature 13,5°C i izlazi sa 60°C jer glavna dizalica topline zrak-voda ne može pripremiti PTV temperature 60°C. Ulazni podatak za *booster* dizalicu topline je izračunati  $Q_{W,gen,out}$ .

Izlazni podaci, nakon koraka 1 do 9 opisanih u poglavlju 2.5.1, su u tablici 20.

Tablica 20. Izlazni podaci *booster* dizalice topline Clivet WSH-XEE2 HW 80,2

Deseti korak	
$W_{W,gen,aux}$	870,4 kWh
$Q_{W,gen,aux,rvd}$	0 kWh
$Q_{W,gen,ls,tot}$	5601,6 kWh
$Q_{W,gen,ls,rbl,tot}$	5601,6 kWh
$E_{W,gen,in}$	82116,5 kWh
$Q_{W,bu,out}$	0 kWh
$SPF_{W,hp}$	6
$Q_{W,renew,in}$	413876,0 kWh

Dizalice topline zrak-voda Clivet WSAN-XCS3 MF 140.4 je zadužena za grijanje prostora i međuspremnik za PTV temperature 45°C kako bi *booster* dizalica topline mogla zagrijavati svježju vodu sa 13,5 na 60°C.

Toplinsku energiju koju pomoćna *booster* dizalica toplina preuzima od međuspremnik PTV-a proizvodi glavna dizalica topline zrak-voda i ta energija, preuzeta na isparivaču *booster*

dizalice topline, je ulazni podatak za proračun glavne dizalice topline. Dizalica topline zrak-voda Clivet WSAN-XCS3 MF 140.4 ima rekuperaciju pa utrošak električne energije za pripremu vode od 45°C u međuspremniku PTV-a postoji unutar sezone grijanja i u prijelaznim mjesecima sezone hlađenja kada se rekuperacijom ne proizvodi dovoljno topline.

U ljetnim mjesecima rekuperirano je 191.952 kWh ili 39,1% godišnje potrebnog  $Q_{W,gen,out}$ . Izlazni podaci za dizalicu topline zrak-voda Clivet WSAN-XCS3 MF 140.4 su u tablici 21:

Tablica 21. Izlazni podaci za dizalicu topline zrak-voda Clivet WSAN-XCS3 MF 140.4

Deseti korak	
$W_{HW,gen,aux}$	10259,0 kWh
$Q_{HW,gen,aux,rvd}$	0 kWh
$Q_{HW,gen,ls,tot}$	13840,5 kWh
$Q_{HW,gen,ls,rbl,tot}$	3443,4 kWh
$E_{HW,gen,in}$	80825,9 kWh
$Q_{HW,bu,out}$	0 kWh
$SPF_{HW,hp}$	5,9
$Q_{HW,renew,in}$	460128,1 kWh

Sezona hlađenja:

Prema podacima proizvođača [9], SEER dizalice topline zrak-voda Clivet WSAN-XCS3 MF 140.4 je 4,16 (EN 14511:2013). Iz jednadžbe (43) slijedi da je  $E_{C,gen,del,el}$  jednak 75.770,8 kWh.

#### 4.3.3.2 Dizalica topline voda – voda Clivet WSHN-XEE2 MF 120.4 i booster dizalica topline Clivet WSH-XEE2 HW 80,2

Sezona grijanja i priprema PTV:

Dizalica topline voda – voda Clivet WSHN-XEE2 MF 120.4 koristi more kao toplinski izvor tijekom sezone grijanja i kao toplinski ponor tijekom sezone hlađenja. Ima i rekuperaciju s pripremom PTV temperature 45°C tijekom sezone hlađenja.

Izlazni podaci za *booster* dizalicu topline Clivet WSH-XEE2 HW 80,2 su identični onima u tablici 20.

U ljetnim mjesecima rekuperirano je 191.990 kWh ili 39,1% godišnje potrebnog  $Q_{W,gen,out}$ . Izlazni podaci za glavnu dizalicu topline voda – voda Clivet WSHN-XEE2 MF 120.4 su u tablici 22:

Tablica 22. Izlazni podaci za dizalicu topline voda – voda Clivet WSHN-XEE2 MF 120.4

<b>Deseti korak</b>	
$W_{HW,gen,aux}$	4423,8 kWh
$Q_{HW,gen,aux,rvd}$	0 kWh
$Q_{HW,gen,ls,tot}$	7996,1 kWh
$Q_{HW,gen,ls,rbl,tot}$	3437,7 kWh
$E_{HW,gen,in}$	62648,8 kWh
$Q_{HW,bu,out}$	0 kWh
$SPF_{HW,hp}$	8,1
$Q_{HW,renew,in}$	478293,7 kWh

Sezona hlađenja:

Prema podacima proizvođača [10], SEER dizalice topline voda-voda Clivet WSHN-XEE2 MF 120.4 je 5,05. Iz jednadžbe (43) slijedi da je  $E_{C,gen,del,el}$  jednak 64.262,8 kWh.

#### 4.3.3.3 Dizalica topline voda – voda Clivet WSHN-XSC3 120.2 i booster dizalica topline Clivet WSH-XEE2 HW 80,2

Sezona grijanja i priprema PTV:

Dizalici topline voda – voda Clivet WSHN-XSC3 120.2 je toplinski izvor odnosno ponor također more. Od prethodne dizalice topline voda-voda se razlikuje jer nema rekuperacije topline tijekom sezone hlađenja. Za pripremu PTV-a temperature 60°C je također potrebno koristiti pomoćnu *booster* dizalicu topline. Izlazni podaci za *booster* dizalicu topline Clivet WSH-XEE2 HW 80,2 su identični onima u tablici 20.

Izlazni podaci za dizalicu topline voda – voda Clivet WSHN-XSC3 120.2 su u tablici 23:

Tablica 23. Izlazni podaci za dizalicu topline voda – voda Clivet WSHN-XSC3 120.2

<b>Deseti korak</b>	
$W_{HW,gen,aux}$	6468,9 kWh
$Q_{HW,gen,aux,rvd}$	0 kWh
$Q_{HW,gen,ls,tot}$	10046,9 kWh

$Q_{HW,gen,ls,rbl,tot}$	3441,4kWh
$E_{HW,gen,in}$	121486,5 kWh
$Q_{HW,bu,out}$	0 kWh
$SPF_{HW,hp}$	4,2
$Q_{HW,renew,in}$	419463,5 kWh

Sezona hlađenja:

Prema podacima proizvođača [11], SEER dizalice topline voda-voda Clivet WSHN-XSC3 120.2 je 5,92. Iz jednadžbe (43) slijedi da je  $E_{C,gen,del,el}$  jednak 54.780,2 kWh.

#### 4.3.3.4 Kotao na biomasu Centrometal EKO-CKS Multi plus 340 kW, rashladnik zrak-voda Clivet WSAT-XSC3 140.4 Excellence i *booster* dizalica topline Clivet WSH-XEE2 HW 80,2

Sezona grijanja i priprema PTV:

Smještaj kotla je ispod zone broj 3, u preuređenom parkirališnom prostoru koji nije grijan. U sezoni grijanja je kotao na drvenu sječku generator ogrjevnog učina za sustav grijanja i sustav pripreme PTV. U sezoni hlađenja je rashladnik voda-zrak generator rashladnog učina. Kotao osigurava toplinu za sustav pripreme PTV-a u mjesecima travnju i listopadu jer rashladnik ne proizvodi dovoljno rekuperirane topline za grijanje vode u međuspremniku PTV-a do 45°C. U ostalim mjesecima sezone hlađenja rashladnik grije vodu u međuspremniku PTV-a do 45°C. Toplinu iz tog spremnika preuzima booster dizalica voda-voda i grije PTV u spremniku PTV-a do 60°C.

Za vrijeme sezone hlađenja je u spremniku ogrjevne vode i PTV spremniku voda temperature 80°C. Spremnici, kao i booster dizalica topline, su unutar zone broj 3. Toplinski gubici kotla nisu iskoristivi, a toplinski gubici oba spremnika i dizalice topline su iskoristivi.

Rezultati proračuna kotla na drvenu sječku su u tablici 24. Rezultati su podijeljeni na rezultate proračuna sustava grijanja prostora te sustava pripreme PTV-a.

Ukupni  $Q_{HW,gen,in}$  je 490.606 kWh i godišnji utrošak svježe drvne sječke je 182,5 t. Toplinski gubici generatora ogrjevnog učina  $Q_{HW,gnr,ls}$  iznose 18%  $Q_{HW,gen,in}$  i veći su nego isti gubici kod trećeg tehničkog rješenja koji iznose 7,7%.

Tablica 24. Rezultati proračuna kotla na biomasu, za tehničko rješenje 4

Mj.	$Q_{H,gen,out}$ [kWh]	$Q_{H,gnr,ls}$ [kWh]	$Q_{H,sto,ls,ta}$ [kWh]	$Q_{H,sto,ls,pip}$ [kWh]	$Q_{H,gen,in}$ [kWh]	$Q_{W,gen,out}$ [kWh]	$Q_{W,gnr,ls}$ [kWh]	$Q_{W,sto,ls,ta}$ [kWh]	$Q_{W,sto,ls,pip}$ [kWh]	$Q_{W,gen,in}$ [kWh]	mjsječke [t]
1.	44774	7796	438	52	52560	42083	7515	619	49	49590	38,0
2.	28780	5823	395	34	34598	38011	6788	559	44	44791	29,5
3.	7085	3857	438	8	10942	42084	7515	619	49	49590	22,5
4.	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	40726	7273	599	48	47990	17,8
5.	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
6.	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
7.	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
8.	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
9.	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
10.	0,0	0,00	0,00	0,0	0,0	42083	7515	619	49	49590	18,4
11.	4079	3443	424	5	7521	40726	7273	599	48	47990	20,6
12.	38702	7162	438	45	45856	42083	7515	619	49	49590	35,5
Σ	123421	280780	2132	144	151477	287796	51393	4233	184	339129	182,5

Rashladnik zrak-voda Clivet WSAT-XSC3 140.4 će rekuperacijom generirati 122465 kWh topline u mjesecima 5-9. U tablici 25. su rezultati proračuna za booster dizalicu topline Clivet WSH-XEE2 HW 80,2. Ova *booster* dizalica radi u mjesecima od svibnja do rujna i utrošak električne energije je manji nego u slučajevima od 1 do 3 gdje radi tijekom čitave godine.

Tablica 25. Izlazni podaci za dizalicu topline voda – voda Clivet WSH-XEE2 HW 80,2

Deseti korak	
$W_{HW,gen,aux}$	363,7 kWh
$Q_{HW,gen,aux,rvd}$	0 kWh
$Q_{HW,gen,ls,tot}$	2347,1 kWh
$Q_{HW,gen,ls,rbl,tot}$	2347,1 kWh
$E_{HW,gen,in}$	33986,6 kWh
$Q_{HW,bu,out}$	0 kWh
$SPF_{HW,hp}$	6,0
$Q_{HW,renew,in}$	171292,2 kWh

Sezona hlađenja:

Prema podacima proizvođača [12], SEER od rashladnika zrak-voda Clivet WSAT-XSC3 140.4 Excellence je 4,66. Iz jednadžbe (43) slijedi da je  $E_{C,gen,del,el}$  jednak 69.592,0 kWh.

#### 4.3.3.5 Kotao na biomasu Centrometal EKO-CKS Multi plus 340 kW, rashladnik zrak-voda Clivet WSAT-XSC3 140.4 Excellence

Sezona grijanja i priprema PTV:

U sezoni grijanja je kotao na drvenu sječku generator ogrjevnog učina, a u sezoni hlađenja je rashladnik generator rashladnog učina. PTV u sezoni grijanja na 60°C grije kotao na biomasu. U sezoni hlađenja rashladnik zagrijava rekuperiranom toplinom PTV sa 13,5°C na 45°C, a zatim kotao dogrijava sa 45°C na 60°C pomoću izmjenjivača topline.

Rezultati proračuna kotla na drvenu sječku su u tablici 26.

Tablica 26. Rezultati proračuna kotla na drvenu sječku, za tehničko rješenje 5

Mj.	$Q_{H,gen,out}$ [kWh]	$Q_{H,gnr,ls}$ [kWh]	$Q_{H,sto,ls,ta}$ [kWh]	$Q_{H,sto,ls,pip}$ [kWh]	$Q_{H,gen,in}$ [kWh]	$Q_{W,gen,out}$ [kWh]	$Q_{W,gnr,ls}$ [kWh]	$Q_{W,sto,ls,ta}$ [kWh]	$Q_{W,sto,ls,pip}$ [kWh]	$Q_{W,gen,in}$ [kWh]	msječke [t]
1.	44774	7796	438	52	52561	42083	7515	619	49	49590	38,0
2.	28780	5823	395	34	34598	38011	6788	559	44	44791	29,5
3.	7085	3857	438	8	10941	42083	7515	619	49	49590	22,5
4.	0	0	0	0	0	38671	7058	599	45	45721	17,0
5.	0	0	0	0	0	13280	4504	619	15	17783	6,6
6.	0	0	0	0	0	12852	4359	599	15	17209	6,4
7.	0	0	0	0	0	13280	4504	619	15	17783	6,6
8.	0	0	0	0	0	13280	4504	619	15	17783	6,6
9.	0	0	0	0	0	12852	4359	599	15	17209	6,4
10.	0	0	0	0	0	23944	5619	619	28	29560	11,0
11.	4079	3442	424	5	7521	40726	7273	599	48	47990	20,6
12.	38702	7162	438	45	45856	42083	7515	619	49	49590	35,5
Σ	123420	28079	2132	144	151477	333146	71514	7288	184	404598	206,8

Ukupni  $Q_{HW,gen,in}$  je 556.075 kWh i godišnji utrošak svježe drvene sječke je 206,8 t.

Toplinski gubici generatora ogrjevnog učina  $Q_{HW,gnr,ls}$  iznose 20%  $Q_{HW,gen,in}$ .

Rashladnik zrak-voda Clivet WSAT-XSC3 140.4 će rekuperacijom generirati 157.833 kWh topline u mjesecima 4-10.

Sezona hlađenja:

Prema katalogu proizvođača [12], SEER rashladnika zrak-voda Clivet WSAT-XSC3 140.4 Excellence je 4,66. Iz jednadžbe (43) slijedi da je  $E_{C,gen,del,el}$  jednak 69.592,0 kWh.



#### 4.4 Proračun ukupne pomoćne energije, isporučene energije, primarne energije, godišnje emisije CO<sub>2</sub>

##### 4.4.1 Ukupna pomoćna energija

Pomoćne energije predaje  $W_{H,em,aux}$  i  $W_{C,em,aux}$ , razvoda  $W_{H,dis,aux}$  i  $W_{C,dis,aux}$  i generatora ogrjevnog učina  $W_{H,gen,aux}$  su izračunate ranije u toku proračuna. Pomoćna energija generatora rashladnog učina uzeta je u obzir kroz potrebnu (isporučenu) električnu energiju za pogon  $E_{C,gen,del,el}$ .

Rezultati proračuna  $W_{Ve,aux,fan}$ , pomoćne energija za pogon dobavnog i odsisnog ventilatora u kanalskom razvodu mehaničke ventilacije zona broj 2 i broj 3 te  $W_{Ve,aux,rot}$ , pomoćne energije za pogon rotora od rekuperatora zona broj 2 i broj 3 su priloženi u tablici 27.

Tablica 27. Pomoćne energije  $W_{Ve,aux,rot}$  i  $W_{Ve,aux,fan}$

Mjesec:	$W_{Ve,aux,rot}$ [kWh]	$W_{Ve,aux,fan}$ [kWh]
1.	272,8	6034,7
2.	246,4	5450,7
3.	272,8	6034,7
4.	264,0	5840,1
5.	272,8	6034,7
6.	264,0	5840,1
7.	272,8	6034,7
8.	272,8	6034,7
9.	264,0	5840,1
10.	272,8	6034,7
11.	264,0	5840,1
12.	272,8	6034,7
$\Sigma$	3212,0	71054,0

Pomoćne energije u periodu grijanja, hlađenja i za pripremu PTV, za tehnička rješenja od 1 do 5, nalaze se u tablici 28. Iz tablice je vidljivo da su pomoćne energije predaje, razvoda, mehaničke ventilacije, cirkulacijske petlje PTV-a identične u svim tehničkim rješenjima. Razlikuju se pomoćne energije generatora ogrjevnog učina za sustav grijanja i sustav pripreme PTV-a. Kod dizalice topline zrak-voda je iznos pomoćne energije generatora najveći.

Tablica 28. Pomoćne energije sustava grijanja, hlađenja i pripreme PTV za tehnička rješenja 1 do 5

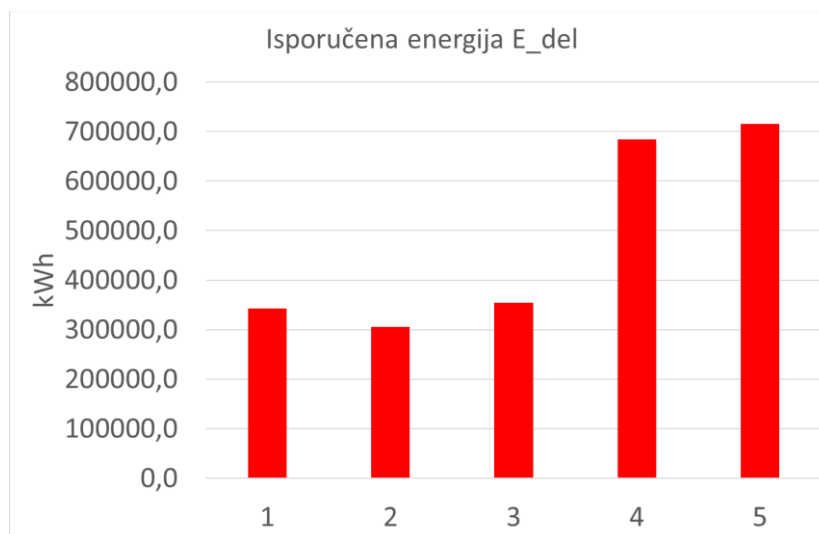
Energija [kWh]	Tehničko rješenje:				
	1	2	3	4	5
$W_{H,em,aux}$	1712,3	1712,3	1712,3	1712,3	1712,3
$W_{H,dis,aux}$	3765,6	3765,6	3765,6	3765,6	3765,6
$W_{H,gen,aux}$	4126,1	1912,1	1917,0	27,3	27,3
$W_{H,Ve,aux,fan}$	29394,9	29394,9	29394,9	29394,9	29394,9
$W_{H,Ve,aux,rot}$	1328,8	1328,8	1328,8	1328,8	1328,8
$\Sigma = W_{H,Ve,aux}$	40327,8	38113,8	38118,7	36229,0	36229,0
$W_{W,dis,aux}$	1248,4	1248,4	1248,4	1248,4	1248,4
$W_{W,gen,aux}$	7003,3	3382,1	5422,3	719,5	464,3
$\Sigma = W_{W,aux}$	8251,6	4630,5	6670,7	1967,9	1712,7
$W_{C,em,aux,fan}$	3527,0	3527,0	3527,0	3527,0	3527,0
$W_{C,dis,aux}$	4079,5	4079,5	4079,5	4079,5	4079,5
$W_{C,Ve,aux,fan}$	41659,1	41659,1	41659,1	41659,1	41659,1
$W_{C,Ve,aux,rot}$	1883,2	1883,2	1883,2	1883,2	1883,2
$\Sigma = W_{C,Ve,aux}$	51148,8	51148,8	51148,8	51148,8	51148,8
Ukupno $W_{aux}$	99728,2	93893,0	95938,1	89345,6	89090,4

#### 4.4.2 Isporučena energija

Tablica 29. Isporučene energije  $E_{del}$  za tehnička rješenja 1 do 5

Energija [kWh]	Tehničko rješenje:				
	1	2	3	4	5
$W_{H,Ve,aux}$	40327,8	38113,8	38118,7	36229,0	36229,0
$E_{H,gen,in,el}$	25980,1	19152,9	20483,1	0	0
$Q_{H,gen,in}$	0	0	0	151477,1	151477,1
$E_{H,del}$	66308,0	57276,5	58601,8	187706,1	187706,1
$W_{W,aux}$	8251,6	4630,5	6670,7	1967,9	1712,7
$E_{W,gen,in,el}$	136962,2	125612,4	183119,8	33986,6	0
$Q_{W,gen,in}$	0	0	0	339128,7	404597,9
$E_{W,del}$	145213,8	130242,9	189790,5	375083,1	406310,5
$W_{C,Ve,aux}$	51148,8	51148,8	51148,8	51148,8	51148,8
$E_{C,gen,del,el}$	75770,8	64262,8	54780,2	69592,0	69592,0
$E_{C,del}$	126919,5	115411,6	105929,0	120740,8	120740,8
$E_{del}$	338441,4	302921,1	354321,3	683530,0	714757,5

U tablici 29. se nalaze isporučene energije sustava grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a za tehnička rješenja 1 do 5. Na slici 30. prikazana je grafička usporedba iznosa isporučene energije za promatrana tehnička rješenja.



Slika 30. Grafička usporedba  $E_{del}$  za promatrana tehnička rješenja

#### 4.4.3 Primarna energija

Uz faktor primarne energije za električnu energiju od 1,614 i za sječku od 0,154 dolazi se do godišnjih iznosa primarnih energija za tehnička rješenja 1 do 5 koja su dana u tablici 30.

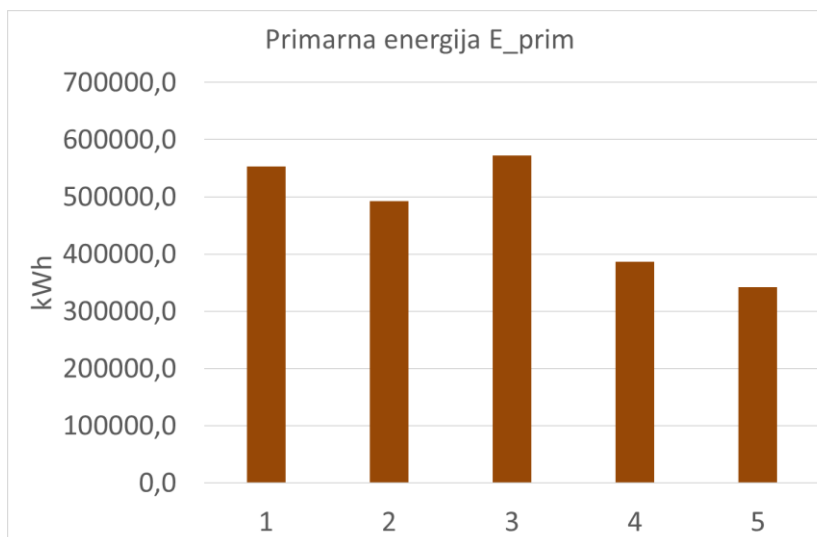
Tablica 30. Primarne energije  $E_{prim}$  za tehnička rješenja 1 do 5

	Tehničko rješenje:				
	1	2	3	4	5
$E_{prim}$ [kWh]	546244,3	488914,7	571874,6	386933,0	341749,0
$E_{prim}/A_K$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	79,0	70,7	82,7	56,0	49,4

Prema tablici 8. iz *Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama*, NN 128-15 i 70-18, najveća dopuštena vrijednost primarne energije  $E_{prim}$  po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade iznosi 80 kWh/m<sup>2</sup>.

Tehničko rješenje 3, dizalica topline voda-voda bez rekuperacije, ne zadovoljava uvjet za primarnu energiju od 80 kWh/m<sup>2</sup>.

Na slici 31. prikazana je grafička usporedba iznosa primarnih energija za promatrana tehnička rješenja.



Slika 31. Grafička usporedba  $E_{prim}$  za promatrana tehnička rješenja

Najmanji godišnji iznos primarne energije ima tehničko rješenje 5, kotao na drvenu sječku i rashladnik.

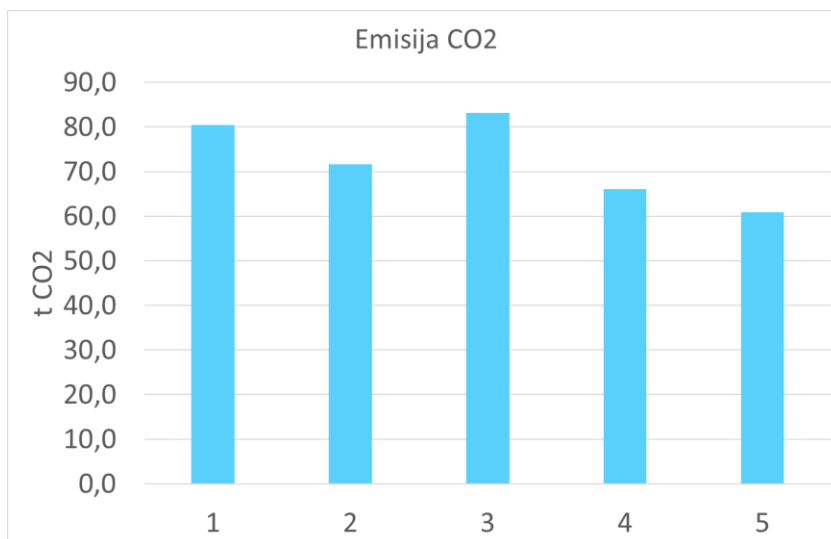
#### 4.4.4 Emisija CO<sub>2</sub>

Godišnja emisija CO<sub>2</sub> izračunata je uz faktor emisije CO<sub>2</sub> za električnu energiju od 234,81 kg CO<sub>2</sub>/MWh te 42,35 kg CO<sub>2</sub>/MWh za drvenu sječku i nalazi se u tablici 31.

Tablica 31. Emisija CO<sub>2</sub> za tehnička rješenja 1 do 5

	Tehničko rješenje:				
	1	2	3	4	5
Emisija CO <sub>2</sub> [kg CO <sub>2</sub> ]	79469,4	71128,9	83198,2	66077,7	60810,0

Tehničko rješenje 5, kotao na drvenu sječku i rashladnik, ima najmanji godišnji iznos emisije CO<sub>2</sub>. Najveći iznos emisije CO<sub>2</sub> ima tehničko rješenje 3, dizalica topline voda-voda bez rekuperacije. Godišnja emisija CO<sub>2</sub> grafički je prikazana na slici 32.



Slika 32. Godišnja emisija CO<sub>2</sub> za promatrana tehnička rješenja

## 4.5 Troškovi investicije i troškovi pogona

### 4.5.1 Troškovi investicije

U tablicama 32. do 36. dani su troškovi investicije za tehnička rješenja 1 do 5.

Najveći investicijski trošak je za tehničko rješenje 1, dizalicu topline zrak-voda Clivet WSAN-XCS3 MF 140.4 s booster dizalicom topline voda-voda Clivet WSH-XEE2 HW 80,2.

Tablica 32. Troškovi investicije za tehničko rješenje 1

Dizalica topline zrak/voda Clivet WSAN-XCS3 MF 140.4	975.000 kn
Booster DT voda/voda Clivet WSH-XEE2 HW 27,2	182.500 kn
Spremnik 5000 l, CAS 5002, Centrometal	19.290 kn
Spremnik 5000 l, CAS 5002, Centrometal	19.290 kn
Spremnik za vodu 10000 l (sa izmjenjivačem 300 kW), SB-100-20NIRO, Pireko	66.430 kn
Cirkulacijska pumpa za grijanje, nazivna snaga 5 kW Grundfos CRE 45-1	25.900 kn
UKUPNO	1.288.410 kn

Tablica 33. Troškovi investicije za tehničko rješenje 2

Dizalica topline voda/voda Clivet WSHN-XEE2 MF 120.4	425.000 kn
Booster DT voda/voda WSH-XEE2 HW 27,2	182.500 kn
Pumpa za glikolnu smjesu 5,5 kW Grundfos MTR 64-2/1	17.500 kn
Pločasti izmjenjivač 500 kW Alfa Laval 15-BFM, 78 ploča	118.700 kn
Cijevi, plastične	15.000 kn
Radovi	10.000 kn
Spremnik 5000 l, CAS 5002, Centrometal	19.290 kn
Spremnik 5000 l, CAS 5002, Centrometal	19.290 kn
Spremnik za vodu 10000 l (sa izmjenjivačem 300 kW), SB-100-20NIRO, Pireko	66.430 kn
Cirkulacijska pumpa za grijanje, nazivna snaga 5 kW Grundfos CRE 45-1	25.900 kn
UKUPNO	899.660 kn

Tablica 34. Troškovi investicije za tehničko rješenje 3

Dizalica topline voda/voda Clivet WSHN-XSC3 120.2	350.000 kn
Booster DT voda/voda WSH-XEE2 HW 27,2	182.500 kn
Pumpa za glikolnu smjesu 5,5 kW Grundfos MTR 64-2/1	17.500 kn
Pločasti izmjenjivač 500 kW Alfa Laval 15-BFM, 78 ploča	118.750 kn
Cijevi, plastične	15.000 kn
Radovi	10.000 kn
Spremnik 5000 l, CAS 5002, Centrometal	19.290 kn
Spremnik 5000 l, CAS 5002, Centrometal	19.290 kn
Spremnik za vodu 10000 l (sa izmjenjivačem 300 kW), SB-100-20NIRO, Pireko	66.430 kn
Cirkulacijska pumpa za grijanje, nazivna snaga 5 kW Grundfos CRE 45-1	25.900 kn
UKUPNO	824.660 kn

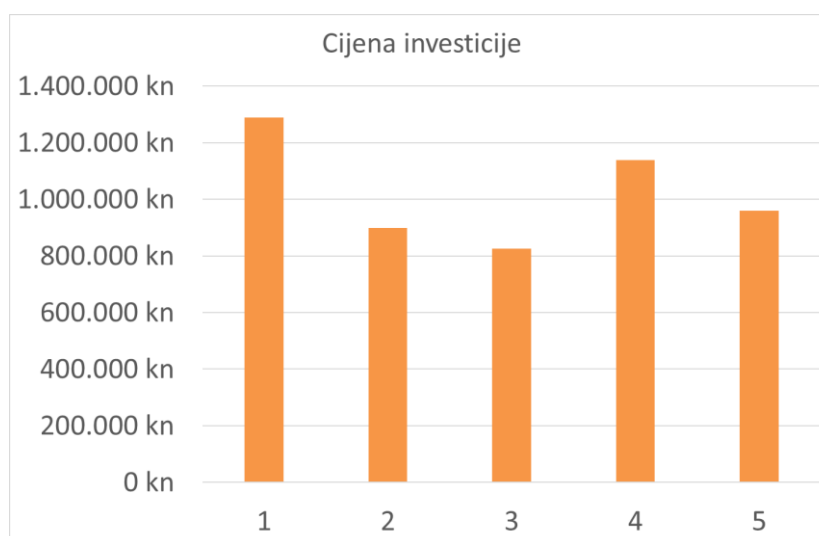
Tablica 35. Troškovi investicije za tehničko rješenje 4

Kotao Multi Plus 340 kW	160.900 kn
Dozirni transporter- sječke ili peleta 340kW	5.970 kn
Dozirni transporter-2 sječke ili peleta 340kW	23.900 kn
Zaštita povratnog voda kotla 340 kW	15.300 kn
Set sigurnosnih elemenata minimalnog i maksimalnog tlaka	2.320 kn
Spremnik 5000 l, CAS 5002, Centrometal	19.290 kn
Sistem automatskog čišćenja dimovodnih cijevi	16.500 kn
Kompreski set s kompresorom	6.775 kn
Sistem aut. vađenja pepela iz dim. komore	4.260 kn
Rashladnik (chiller) WSAT-XSC3 140.4 Excellence	575.000 kn
Booster DT voda/voda WSH-XEE2 HW 27,2	182.500 kn
Spremnik 5000 l, CAS 5002, Centrometal	19.290 kn
Spremnik za vodu 10000 l (sa izmjenjivačem 300 kW), SB-100-20NIRO, Pireko	66.430 kn
Cirkulacijska pumpa za grijanje, nazivna snaga 5 kW Grundfos CRE 45-1	25.900 kn
Cirk.pumpa PTV, spremnik - izmjenjivač Grundfos UPS 50-180 FB 1 kW	13.320 kn
UKUPNO	1.137.655 kn

Tablica 36. Troškovi investicije za tehničko rješenje 5

Kotao Multi Plus 340 kW	160.900 kn
Dozirni transporter- sječke ili peleta 340kW	5.970 kn
Dozirni transporter-2 sječke ili peleta 340kW	23.900 kn
Zaštita povratnog voda kotla 340 kW	15.300 kn
Set sigurnosnih elemenata minimalnog i maksimalnog tlaka	2.320 kn
Spremnik 5000 l, CAS 5002, Centrometal	19.290 kn
Sistem automatskog čišćenja dimovodnih cijevi	16.500 kn
Kompreski set s kompresorom	6.775 kn
Sistem aut. vađenja pepela iz dim. komore	4.260 kn
Rashladnik (chiller) WSAT-XSC3 140.4 Excellence	575.000 kn
Spremnik za vodu 10000 l (bez izmjenjivača), SAS-100, Pireko	43.420 kn
Cirkulacijska pumpa za grijanje, nazivna snaga 5 kW Grundfos CRE 45-1	25.900 kn
Cirk.pumpa PTV, spremnik - izmjenjivač Grundfos UPS 50-180 FB 1 kW	13.320 kn
Spiralni izmjenjivač topline za zagrijavanje sanitarne vode tip 5C-I-NIRO, 300 kW, Pireko	21.800 kn
Spiralni izmjenjivač topline za zagrijavanje sanitarne vode tip 6C-I-NIRO, 200 kW, Pireko	25.666 kn
UKUPNO	960.321 kn

Na slici 33. prikazana je grafička usporedba cijena investicije za promatrana tehnička rješenja. Najveći trošak investicije je za tehničko rješenje 1 zbog cijene dizalice topline zrak-voda Clivet WSAN-XCS3 MF 140.4.



Slika 33. Cijena investicije za promatrana tehnička rješenja



#### 4.5.2 Troškovi pogona

Troškovi pogona izračunati su uz cijenu električne energije od 1 kn/kWh te za drvenu sječku 550 kn/t prema cjeniku Hrvatskih šuma što uključuje drvenu sječku od bukve s dostavom. Cijena toplinske energije od drvene sječke je, uz neto kaloričnu vrijednost 9,68 MJ/kg za dostavno stanje prema [15] 0,205 kn/kWh.

Tablica 37. Godišnji troškovi pogona za tehnička rješenja 1 do 5

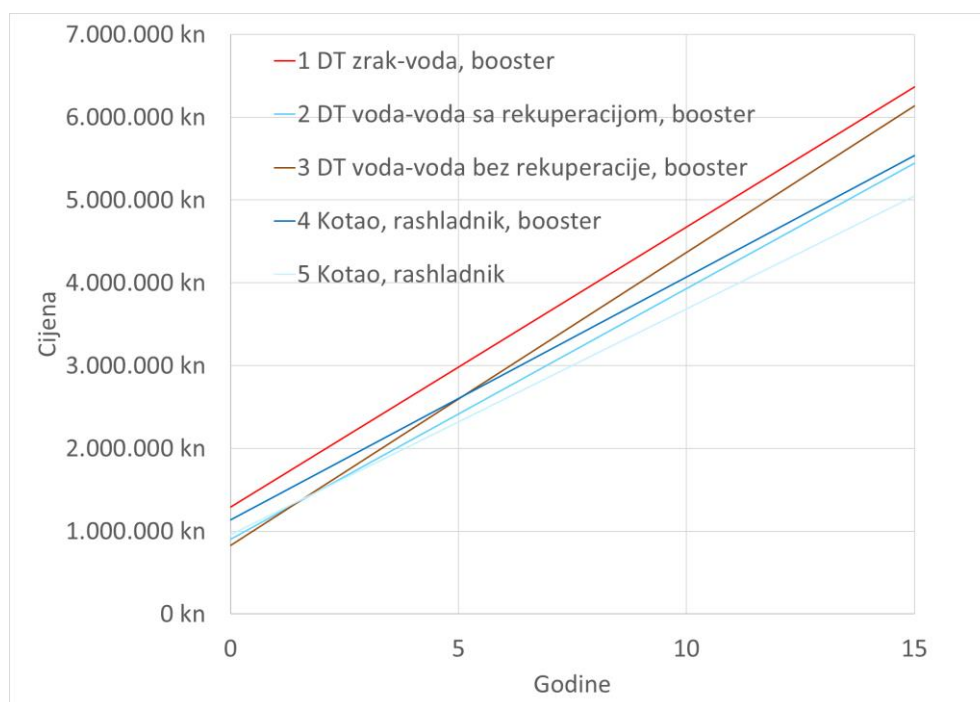
	Tehničko rješenje:				
	1	2	3	4	5
Godišnji trošak za električnu energiju	338.441 kn	302.921 kn	354.321 kn	192.924 kn	158.682 kn
Godišnji trošak za drvenu sječku	0	0	0	100.351 kn	113.743 kn
Ukupno	338.441 kn	302.921 kn	354.321 kn	293.275 kn	272.425 kn

#### 4.5.3 Ukupni trošak sustava kroz period od 15 godina

Na slici 34. je prikazan ukupni trošak sustava za različita tehnička rješenja kroz 15 godina koji uključuje cijenu investicije i troškove pogona, a u tablici 38. su navedeni njegovi brojčani iznosi. Predzadnji redak u tablici je brojčana razlika u odnosu na najpovoljnije rješenje, a u zadnjem retku je postotna razlika.

Tablica 38. Ukupni trošak kroz 15 godina

Godina	Ukupni trošak za tehničko rješenje:				
	1	2	3	4	5
0	1.288.410 kn	899.660 kn	824.660 kn	1.137.655 kn	960.321 kn
1	1.626.851 kn	1.202.581 kn	1.178.981 kn	1.430.928 kn	1.232.746 kn
2	1.965.293 kn	1.505.502 kn	1.533.303 kn	1.724.201 kn	1.505.171 kn
3	2.303.734 kn	1.808.423 kn	1.887.624 kn	2.017.474 kn	1.777.596 kn
4	2.642.175 kn	2.111.345 kn	2.241.945 kn	2.310.747 kn	2.050.021 kn
5	2.980.617 kn	2.414.266 kn	2.596.266 kn	2.604.019 kn	2.322.446 kn
6	3.319.058 kn	2.717.187 kn	2.950.588 kn	2.897.292 kn	2.594.871 kn
7	3.657.499 kn	3.020.108 kn	3.304.909 kn	3.190.565 kn	2.867.296 kn
8	3.995.941 kn	3.323.029 kn	3.659.230 kn	3.483.838 kn	3.139.721 kn
9	4.334.382 kn	3.625.950 kn	4.013.552 kn	3.777.111 kn	3.412.146 kn
10	4.672.824 kn	3.928.871 kn	4.367.873 kn	4.070.384 kn	3.684.571 kn
11	5.011.265 kn	4.231.792 kn	4.722.194 kn	4.363.657 kn	3.956.997 kn
12	5.349.706 kn	4.534.714 kn	5.076.516 kn	4.656.930 kn	4.229.422 kn
13	5.688.148 kn	4.837.635 kn	5.430.837 kn	4.950.203 kn	4.501.847 kn
14	6.026.589 kn	5.140.556 kn	5.785.158 kn	5.243.476 kn	4.774.272 kn
15	6.365.030 kn	5.443.477 kn	6.139.479 kn	5.536.748 kn	5.046.697 kn
Razlika:	1.318.334 kn	396.780 kn	1.092.783 kn	490.052 kn	0 kn
	26,1%	7,9%	21,7%	9,7%	0%



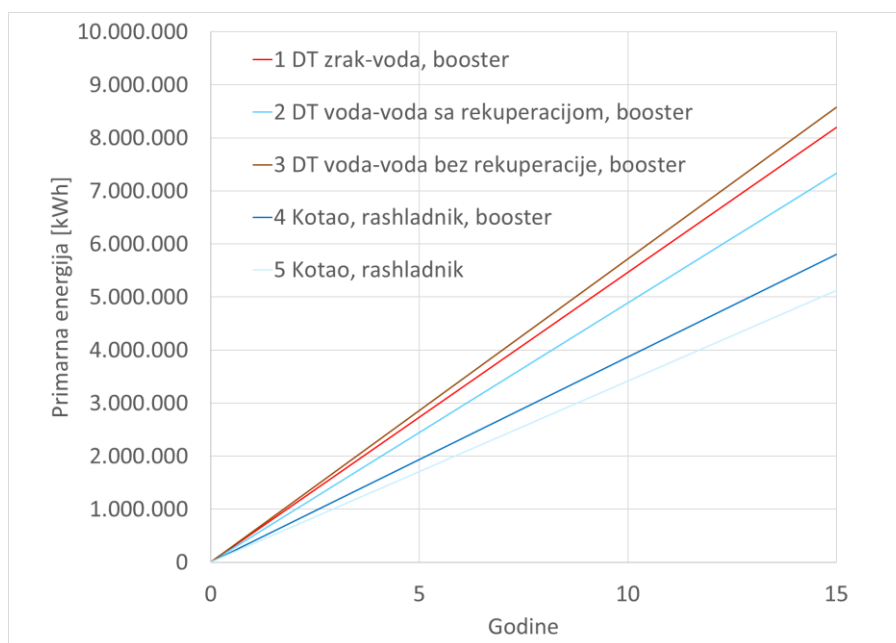
Slika 34. Ukupni trošak kroz 15 godina

#### 4.5.4 Utrošak primarne energije $E_{prim}$ kroz period od 15 godina

Tablica 39. Utrošak primarne energije  $E_{prim}$  kroz 15 godina

Godina	$E_{prim}$ [kWh] za tehničko rješenje:				
	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0
1	546.244	488.915	571.875	386.933	341.749
2	1.092.489	977.829	1.143.749	773.866	683.498
3	1.638.733	1.466.744	1.715.624	1.160.799	1.025.247
4	2.184.977	1.955.659	2.287.498	1.547.731	1.366.996
5	2.731.222	2.444.573	2.859.373	1.934.664	1.708.745
6	3.277.466	2.933.488	3.431.247	2.321.597	2.050.494
7	3.823.710	3.422.403	4.003.122	2.708.530	2.392.243
8	4.369.955	3.911.318	4.574.997	3.095.463	2.733.992
9	4.916.199	4.400.232	5.146.871	3.482.396	3.075.741
10	5.462.443	4.889.147	5.718.746	3.869.329	3.417.490
11	6.008.688	5.378.062	6.290.620	4.256.262	3.759.239
12	6.554.932	5.866.976	6.862.495	4.643.194	4.100.988
13	7.101.176	6.355.891	7.434.369	5.030.127	4.442.737
14	7.647.421	6.844.806	8.006.244	5.417.060	4.784.486
15	8.193.665	7.333.720	8.578.119	5.803.993	5.126.235
Razlika:	3.067.430	2.207.486	3.451.884	677.758	0
	59,8%	43,1%	67,3%	13,2%	0%

U tablici 39. su navedeni brožčani iznosi utrošene primarne energije za različita tehnička rješenja tijekom 15 godina. U predzadnjem redu je brožčana razlika u odnosu na tehničko rješenje s najmanjim utroškom primarne energije, a u zadnjem retku je postotna razlika. Na slici 35. iznosi su prikazani grafički.



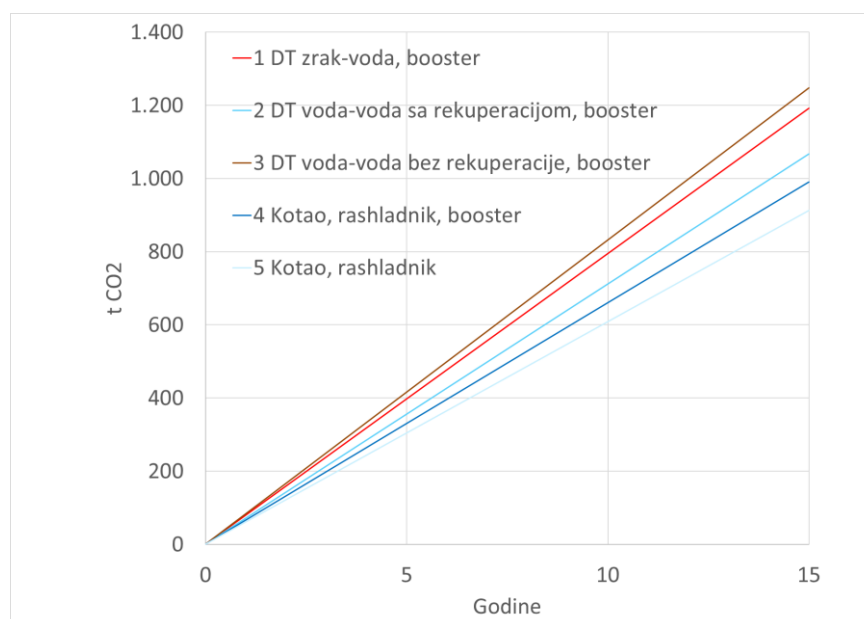
Slika 35. Utrošak primarne energije tijekom 15 godina

#### 4.5.5 Emisija CO<sub>2</sub> tijekom 15 godina

Tablica 40. Emisija CO<sub>2</sub> tijekom 15 godina

Godina	CO <sub>2</sub> [t] za tehničko rješenje:				
	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0
1	79	71	83	66	61
2	159	142	166	132	122
3	238	213	250	198	182
4	318	285	333	264	243
5	397	356	416	330	304
6	477	427	499	396	365
7	556	498	582	463	426
8	636	569	666	529	486
9	715	640	749	595	547
10	795	711	832	661	608
11	874	782	915	727	669
12	954	854	998	793	730
13	1.033	925	1.082	859	791
14	1.113	996	1.165	925	851
15	1.192	1.067	1.248	991	912
Razlika:	280	155	336	79	0
	30,7%	17,0%	36,8%	8,7%	0%

U tablici 40. nalaze se iznosi emisije CO<sub>2</sub> tijekom 15 godina, a na slici 36. su prikazani grafički. U zadnjem redu tablice je za svako tehničko rješenje navedena razlika u odnosu na rješenje s najmanjim iznosom emisije CO<sub>2</sub>.



Slika 36. Emisija CO<sub>2</sub> tijekom 15 godina

## 5. ZAKLJUČAK

Proračun potrebne godišnje energije za grijanje  $Q_{H,nd}$  proveden je mjesečnom i satnom metodom i pokazao je da je sa iznosom godišnje potrebne toplinske energije za grijanje izražene po jedinici ploštine korisne površine zgrade od 20,9 kWh/m<sup>2</sup> ova zgrada u energetske razredu A. Najviše toplinske energije potrebno je za sustav pripreme potrošne tople vode.

Za zgradu je uspoređeno pet tehničkih rješenja sustava grijanja, hlađenja i pripreme potrošne tople vode, prema opisu u poglavlju 3. Tehnička rješenja su uspoređena prema kriterijima troškova investicije, troškova pogona, ukupnih troškova kroz period od 15 godina, utroška primarne energije kroz period od 15 godina i emisije CO<sub>2</sub> tijekom 15 godina.

Promatrana tehnička rješenja su dizalica topline zrak-voda s *booster* dizalicom topline, dizalica topline voda-voda sa rekuperacijom s *booster* dizalicom topline, dizalica topline voda-voda bez rekuperacije s *booster* dizalicom topline, kotao na drvenu sječku s rashladnikom zrak-voda s rekuperacijom i *booster* dizalicom topline, kotao na drvenu sječku s rashladnikom zrak-voda s rekuperacijom. Toplinski izvor za dizalice topline voda-voda je morska voda s dubine 10 metara.

Od promatranih tehničkih rješenja kao najskuplje (26% skuplje od najpovoljnijeg rješenja) i s većim utroškom primarne energije te s većom emisijom CO<sub>2</sub> pokazala se dizalica topline zrak-voda. Financijski najpovoljnije rješenje te s najmanjim utroškom primarne energije i emisijom CO<sub>2</sub> je sustav sa kotlom na drvenu sječku i rashladnikom zrak-voda sa rekuperacijom. Dizalica topline voda-voda s rekuperacijom je drugo financijski najpovoljnije rješenje s obzirom na ukupni trošak (7,9% skuplje od najpovoljnijeg rješenja). Sustavi s kotlom na biomasu imaju prednost s ekološkog gledišta jer je manji utrošak primarne energije i emisija CO<sub>2</sub> iako dizalica topline voda-voda nema ložišta i ne proizvodi dimne plinove koji mogu smetati gostima hotela. Dodatnim ulaganjem u fotonaponske module mogli bi se smanjiti ukupni troškovi kod svih sustava te potrošnja primarne energije i emisija CO<sub>2</sub>. Dizalica topline voda-voda bez rekuperacije ima najmanje troškove investicije, ali i najveće pogonske troškove, utrošak primarne energije i emisiju CO<sub>2</sub>. Postavljanjem solarnog toplovodnog sustava za pripremu potrošne tople vode bi dizalica topline voda-voda bez rekuperacije postala prihvatljivijom jer bi došlo do smanjenja pogonskih troškova i negativnog učinka na okoliš.

Promatrana tehnička rješenja bi se mogla i dalje proširiti. S obzirom na rezultate analize ovih tehničkih rješenja, sustav s kotlom na drvenu sječku i rashladnikom voda-voda s rekuperacijom bi imao bolje karakteristike nego sustav s rashladnikom zrak-voda koji je u analizi

pokazao najbolje rezultate. Rashladno opterećenje je proporcionalno jačini sunčevog zračenja pa bi se postavljanjem fotonaponskih modula moglo proizvesti električnu energiju u trenucima kada su najveće rashladno opterećenje i utrošak električne energije čime bi se smanjili pogonski troškovi, utrošak primarne energije i emisija CO<sub>2</sub>.

## 6. LITERATURA

- [1] <https://mgipu.gov.hr/pristup-informacijama/zakoni-i-ostali-propisi/podrucje-energetske-ucinkovitosti/meteoroloski-podaci-primjenjuju-se-od-1-sijecnja-2016/4830>
- [2] Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790
- [3] Algoritam za proračun potrebne energije za primjenu ventilacijskih i klimatizacijskih sustava kod grijanja i hlađenja prostora zgrade
- [4] Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama, Sustavi grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode
- [5] Viessmann: Upute za projektiranje – Zagrijavanje pitke vode
- [6] <https://mgipu.gov.hr/pristup-informacijama/zakoni-i-ostali-propisi/podrucje-energetske-ucinkovitosti/metodologija-provodjenja-energetskog-pregleda-zgrada-primjenjuje-se-od-30-rujna-2017/6706>
- [7] Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva: 200 EE savjeta
- [8] <https://product-selection.grundfos.com/front-page.html?qcid=949538123>
- [9] Clivet: Technical Bulletin for heat pump WSAN-XCS3 MF 90.4-240.4
- [10] Clivet: Technical Bulletin for heat pump WSHN-XEE2 MF 10.2 - 120.2
- [11] Clivet: Technical Bulletin for heat pump WSHN-XSC3 70.4-240.4
- [12] Clivet: Technical Bulletin for chiller WSAT-XSC3 90.4-240.4
- [13] Clivet: Katalog za booster dizalicu topline WSH-XEE2 HW GB
- [14] Centrometal: Tehničke upute za kotao EKO-CKS-Multi-Plus-170-580
- [15] Eva Kljaić: Diplomski rad „Proizvodnja i uporaba čvrstih biogoriva“, Zagreb 2017