

Sustav daljinskog hlađenja u blizini lokacija EL-TO i TE-TO u Gradu Zagrebu

Stošić, Jure

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:658228>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-07**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Jure Stošić

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Doc. dr. sc. Marino Grozdek, dipl. ing. stroj.

Student:

Jure Stošić

Zagreb, 2017.

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

Najprije, želio bih se zahvaliti svom mentoru, Dr.sc. Marinu Grozdeku na ukazanom povjerenju i podršci. Također, hvala vam na pruženoj pomoći, znanju i prijateljskim savjetima.

Zahvaljujem se kolegama Tomislavu Novoselu i Domagoju Huniću na pruženoj pomoći prilikom izrade ovog rada.

Također, jedno veliko hvala mojim prijateljima i djevojci bez kojih ovo studiranje ne bi bilo tako zabavno i ugodno. Hvala vam što ste bili uz mene i zajedno sa mnom dijelili mnoge lijepe, a i one manje lijepe trenutke.

I na kraju, zahvaljujem se mojoj obitelji, posebno roditeljima koji su mi omogućili školovanje. Hvala vam na pruženoj podršci, pažnji i bezuvjetnoj ljubavi.

Jure Stošić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite
Povjerenstvo za diplomске ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarški i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

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

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Jure Stošić** Mat. br.: 0035187434

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Sustav daljinskog hlađenja u blizini lokacija EL-TO i TE-TO u Gradu Zagrebu**

Naslov rada na engleskom jeziku: **District cooling system in vicinity of EL-TO and TE-TO in City of Zagreb**

Opis zadatka:

S ciljem ispitivanja mogućnosti opskrbe potrošača rashladnom energijom centraliziranim sustavom hlađenja u Gradu Zagrebu, potrebno je osnovnim energetske i ekonomskim analizama pokazati uvjete njene izvedivost.

U sklopu diplomskog rada potrebno je:

- prikupiti iskustva i podatke o načinu proizvodnje, skladištenju, distribuciji i potrošnji rashladne energije te ekonomskim modelima sustava daljinskih hlađenja u svijetu,
- pronaći i analizirati potencijalne potrošače rashladne energije na lokacijama u gradu Zagrebu koje su infrastrukturom naslonjene na proizvodne pogone EL-TO i TE-TO,
- provesti tehno-ekonomsku analizu centralizirane proizvodnje rashladne energije u ovisnosti o načinu rada i tehničkim karakteristikama postrojenja u EL-TO i TE-TO,
- predložiti modele poslovanja daljinskog sustava hlađenja.

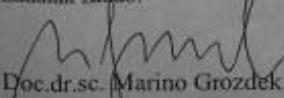
U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
11. svibnja 2017.


Rok predaje rada:
13. srpnja 2017.

Predviđeni datum obrane:
19., 20. i 21. srpnja 2017.

Zadatak zadao:


Doc.dr.sc. Marino Grozdek

Predsjednica Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. ANALIZA SUSTAVA DALJINSKIH HLAĐENJA U SVIJETU	5
2.1 NAČIN PROIZVODNJE RASHLADNE ENERGIJE	7
2.1.1 Pariz.....	7
2.1.2 Beč.....	9
2.1.3 Stockholm.....	12
2.1.4 Solna.....	13
2.1.5 Växjö	15
2.1.6 Helsinki	16
2.1.7 Chicago.....	17
3. ANALIZA POTENCIJALNIH POTROŠAČA RASHLADNE ENERGIJE	18
3.1 METODA ANALIZE I PRIKAZA POTRAŽNJE ZA RASHLADNOM ENERGIJOM TE POTENCIJALNIH IZVORA	18
3.2 REZULTATI MAPIRANJA POTROŠAČA I INFRASTRUKTURE - TE-TO	22
3.3 REZULTATI MAPIRANJA POTROŠAČA I INFRASTRUKTURE - EL-TO	31
4. PRIKAZ TEHNOLOGIJA I NAČINA PROIZVODNJE RASHLADNE ENERGIJE	33
4.1 UVOD.....	33
4.1.1 Slobodno hlađenje	34
4.1.2 Kompresijski rashladni uređaji.....	34
4.1.3 Apsorpcijski rashladni uređaji.....	35
4.1.4 Skladištenje rashladne energije	36
4.2 DECENTRALIZIRANA PROIZVODNJA RASHLADNE ENERGIJE APSORPCIJSKIM RASHLADNIM UREĐAJIMA POGONJENIM VODENOM PAROM – RADNIČKA CESTA.....	37
4.2.1 Opis modela – proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom, Radnička cesta	38
4.2.2 Rezultati simulacije – proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenih vodenom parom – Radnička cesta	45
4.3 CENTRALIZIRANA PROIZVODNJA RASHLADNE ENERGIJE APSORPCIJSKIM RASHLADNIM UREĐAJIMA POGONJENIM VODENOM PAROM NA LOKACIJI TE-TO – RADNIČKA CESTA	51
4.3.1 Opis modela - proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE-TO – Radnička cesta.....	51
4.3.2 Rezultati simulacije – proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE –TO – Radnička cesta	54
4.4 CENTRALIZIRANA PROIZVODNJA RASHLADNE ENERGIJE APSORPCIJSKIM RASHLADNIM UREĐAJIMA POGONJENIM VODENOM PAROM NA LOKACIJI TE-TO – SVEUČILIŠNA ALEJA	60
4.4.1 Opis modela - proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE-TO – Sveučilišna aleja.....	60

4.4.2	Rezultati simulacije – proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE –TO – Sveučilišna aleja	65
4.5	DECENTRALIZIRANA PROIZVODNJA RASHLADNE ENERGIJE APSORPCIJSKIM RASHLADNIM UREĐAJIMA POGONJENIH VRELOM VODOM – SVEUČILIŠNA ALEJA	70
4.5.1	Opis modela - decentralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenih vrelom vodom – Sveučilišna aleja	71
4.5.2	Rezultati simulacije – decentralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenih vrelom vodom – Sveučilišna aleja.....	78
4.6	MAPIRANJE - CENTRALIZIRANA PROIZVODNJA RASHLADNE ENERGIJE APSORPCIJSKIM RASHLADNIM UREĐAJIMA POGONJENIM VODENOM PAROM NA LOKACIJI EL-TO.....	84
4.7	SUMARNI REZULTATI PROVEDENE ENERGETSKE ANALIZE	89
5.	PRIJEDLOG MODELA POSLOVANJA DALJINSKOG SUSTAVA HLAĐENJA	94
5.1	INVESTICIJSKI TROŠKOVI SUSTAVA DALJINSKOG HLAĐENJA.....	94
5.2	TROŠKOVI ODRŽAVANJA I OSTALI TEKUĆI TROŠKOVI SUSTAVA DALJINSKOG HLAĐENJA	95
5.3	POGONSKI TROŠKOVI SUSTAVA DALJINSKOG HLAĐENJA	95
5.3.1	Decentralizirano rashladno postrojenje sustava daljinskog hlađenja	95
5.3.2	Rashladno postrojenje sustava daljinskog hlađenja izvedeno u sklopu proizvodnih pogona TE-TO i EL-TO	97
5.4	REZULTATI POJEDNOSTAVLJENE EKONOMSKE ANALIZE	100
5.4.1	Rezultati prihoda i troškova promatranih modela sustava u krugu proizvodnog pogona TE-TO	100
5.4.2	Rezultati pojednostavljene ekonomske analize promatranih modela sustava u krugu proizvodnog pogona TE-TO	104
5.4.3	Rezultati prihoda i troškova promatranih modela sustava u krugu proizvodnog pogona EL-TO	110
5.4.4	Rezultati pojednostavljene ekonomske analize promatranih modela sustava u krugu proizvodnog pogona EL-TO	113
6.	ZAKLJUČAK.....	116
	LITERATURA.....	117

POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz rezultata izrade GIS karte.....	22
Slika 2. Prikaz Radničke ulice i potencijalne trase voda centraliziranog hlađenja (plavo)..	25
Slika 3. Alternative spoja toplane TE-TO i centraliziranog sustava hlađenja u Radničkoj ulici.....	26
Slika 4. Cjevovod hladne vode – Sveučilišna aleja.....	27
Slika 5. Postojeće stanje (lijevo) i prijedlog cjevovoda hladne vode (desno) u okolici postrojenja EL-TO	31
Slika 6. Model sustava daljinskog hlađenja – decentralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom, Radnička cesta.....	38
Slika 7. Temperaturni odzivi sustava proizvodnje, distribucije i potrošnje rashladne energije za slučaj decentraliziranog hlađenja Radničke ulice (19. kolovoza)	43
Slika 8. Diskontinuirani rad sustava u jutarnjim satima za slučaj decentraliziranog hlađenja Radničke ulice.....	44
Slika 9. Diskontinuirani rad sustava u večernjim i noćnim satima za slučaj decentraliziranog hlađenja Radničke ulice	45
Slika 10. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja	49
Slika 11. Udjeli u potrošnji ukupne energije	49
Slika 12. Udjeli u potrošnji električne energije	50
Slika 13. Model sustava daljinskog hlađenja - centralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE-TO – Radnička cesta	51
Slika 14. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja	58
Slika 15. Udjeli u potrošnji ukupne energije	58
Slika 16. Udjeli u potrošnji električne energije	59
Slika 17. Model sustava daljinskog hlađenja - centralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE-TO-Sveučilišna aleja.....	60
Slika 18. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja	69
Slika 19. Udjeli u potrošnji ukupne energije	69
Slika 20. Udjeli u potrošnji električne energije	70
Slika 21. Prikaz Sveučilišne aleje.....	71
Slika 22. Model sustava daljinskog hlađenja – decentralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenih vreloom vodom – Sveučilišna aleja.....	72
Slika 23. Temperaturni odzivi sustava proizvodnje, distribucije i potrošnje rashladne energije za slučaj decentraliziranog hlađenja Sveučilišne aleje (19. kolovoza)	76
Slika 24. Diskontinuirani rad sustava u jutarnjim satima za slučaj decentraliziranog hlađenja Sveučilišne aleje.....	77
Slika 25. Diskontinuirani rad sustava u večernjim i noćnim satima za slučaj decentraliziranog hlađenja Sveučilišne aleje	78
Slika 26. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja	82
Slika 27. Udjeli u potrošnji ukupne energije	82

Slika 28. Udjeli u potrošnji električne energije	83
Slika 29. Ocrtane površine postojećih (Radnička) i potencijalnih (Industrijska zona) potrošača u qGIS-u.....	85
Slika 30 Trasa cjevovoda i potrošači – EL-TO	86

POPIS TABLICA

Tablica 1. Pregled karakteristika sustava daljinskog hlađenja promatranih gradova.....	6
Tablica 2. Tipični temperaturni režimi sustava daljinskog hlađenja u Beču.....	11
Tablica 3. Primjer podataka iz ISGE-a.....	19
Tablica 4. Rezultati proračuna - potrebna energija za hlađenje po m ²	21
Tablica 5. Rezultati proračuna - maksimalna potrebna snaga po m ²	21
Tablica 6. Popis svih zgrada iz Radničke ulice korištenih za proračun	23
Tablica 7. Alternative spoja toplane TE-TO Zagreb i Radničke ulice	26
Tablica 8. Sveučilišna aleja - analizirani slučajevi.....	27
Tablica 9. Popis svih zgrada iz Sveučilišne aleje korištenih za proračun	28
Tablica 10. Popis potencijalnih potrošača u okolici postrojenja EL-TO	32
Tablica 11. Karakteristike jednostupanjskih apsorpcijskih rashladnih uređaja	36
Tablica 12. Korištene komponente u modelima.....	37
Tablica 13. Apsorpcijski rashladni uređaj (Type 676)	40
Tablica 14. Rashladni toranj (Type 51a)	40
Tablica 15. Spremnik (Type 60f)	40
Tablica 16. Izmjenjivač topline (Type 5b)	41
Tablica 17. Ventilokonvektor (Type 987)	41
Tablica 18. Pumpa rashladne vode u krugu rashladnog tornja (Type 110).....	41
Tablica 19. Pumpa rashladnika u krugu proizvodnje (Type 110)	41
Tablica 20. Pumpa primarnog kruga (Type 110)	42
Tablica 21. Pumpa sekundarnog kruga (Type 110)	42
Tablica 22. Polazni i povratni cjevovod primarnog kruga (Type 31)	42
Tablica 23. Polazni i povratni cjevovod sekundarnog kruga (Type 31)	42
Tablica 24. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja - topline	46
Tablica 25. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja – električna energija i voda	47
Tablica 26. Maksimalne vrijednosti unutar pojedinog mjeseca	48
Tablica 27. Kompresijski rashladni uređaj (Type 666)	53
Tablica 28. Pumpa primarnog kruga (Type 110)	53
Tablica 29. Pumpa rashladne vode 2 u krugu Sava/rashladni uređaji (Type 110).....	53
Tablica 30. Pumpa rashladne vode u krugu Sava/rashladni uređaji 3 (Type 110).....	54
Tablica 31. Izmjenjivač topline za direktno hlađenje iz Save (Type 5g)	54
Tablica 32. Polazni i povratni cjevovod primarnog kruga (Type 31)	54
Tablica 33. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja - topline	55
Tablica 34. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja – električna energija i voda	56
Tablica 35. Maksimalne vrijednosti unutar pojedinog mjeseca	57
Tablica 36. Apsorpcijski rashladni uređaj (Type 676)	62
Tablica 37. Kompresijski rashladni uređaj (Type 666)	62
Tablica 38. Spremnik (Type 60f)	62
Tablica 39. Izmjenjivač topline (Type 5b)	62
Tablica 40. Ventilokonvektor (Type 987)	63
Tablica 41. Pumpa rashladne vode 1 u krugu Sava/rashladni uređaji (Type 110).....	63
Tablica 42. Pumpa rashladne vode 2 u krugu Sava/rashladni uređaji (Type 110).....	63

Tablica 43. Pumpa rashladne vode 3 u krugu Sava/rashladni uređaji (Type 110).....	63
Tablica 44. Pumpa rashladnika u krugu proizvodnje (Type 110)	64
Tablica 45. Pumpa primarnog kruga (Type 110)	64
Tablica 46. Pumpa sekundarnog kruga (Type 110)	64
Tablica 47. Polazni i povratni cjevovod primarnog kruga (Type 31)	64
Tablica 48. Polazni i povratni cjevovod sekundarnog kruga (Type 31)	65
Tablica 49. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja - topline	66
Tablica 50. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja – električna energija i voda	67
Tablica 51. Maksimalne vrijednosti unutar pojedinog mjeseca	68
Tablica 52. Apsorpcijski rashladni uređaj (Type 107)	74
Tablica 53. Rashladni toranj (Type 51a)	74
Tablica 54. Pumpa rashladne vode u krugu rashladnog tornja (Type 110).....	74
Tablica 55. Pumpa rashladnika u krugu proizvodnje (Type 110)	74
Tablica 56. Pumpa primarnog kruga (Type 110)	75
Tablica 57. Polazni i povratni cjevovod primarnog kruga (Type 31)	75
Tablica 58. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja - topline	79
Tablica 59. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja – električna energija i voda	80
Tablica 60. Maksimalne vrijednosti unutar pojedinog mjeseca	81
Tablica 61. Prikaz normaliziranih parametara	84
Tablica 62. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja - topline	87
Tablica 63. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja – električna energija i voda	88
Tablica 64. Rezultati provedene energetske analize svih promatranih sustava u krugu proizvodnog pogona TE-TO	89
Tablica 65. Rezultati provedene energetske analize svih promatranih sustava u krugu proizvodnog pogona EL-TO	93
Tablica 66. Investicijski troškovi sustava daljinskog hlađenja	94
Tablica 67. Ostali troškovi sustava daljinskog hlađenja	95
Tablica 68. Tržišne cijene energije i vode.....	96
Tablica 69. Prosječne cijene električne energije na mađarskoj burzi za 2016. godinu	97
Tablica 70. Cijena proizvedene pare postrojenjem TE-TO za slučaj hlađenja Radničke sa slobodnim hlađenjem rijekom Savom.....	99
Tablica 71. Rezultati prihoda od prodaje rashladne energije i snage te troškova za energiju i vode te ulaganja u sustav daljinskog hlađenja za sve promatrane modele sustava u krugu proizvodnog pogona TE-TO	101
Tablica 72. Rezultati ekonomske analize za slučaj – Radnička dislocirano	105
Tablica 73. Rezultati ekonomske analize za slučaj – Radnička TE-TO.....	106
Tablica 74. Rezultati ekonomske analize za slučaj – Aleja dislocirano, vrela voda.....	107
Tablica 75. Rezultati ekonomske analize za slučaj – Aleja TE-TO	108
Tablica 76. Sumarni rezultati pojednostavljene ekonomske analize – ekonomski pokazatelji slučajeva u krugu proizvodnog pogona TE-TO	109
Tablica 77. Rezultati prihoda od prodaje rashladne energije i snage te troškova za energiju i vode te ulaganja u sustav daljinskog hlađenja za sve promatrane modele sustava u krugu proizvodnog pogona EL-TO	110
Tablica 78. Rezultati pojednostavljene ekonomske analize za slučaj EL-TO	114
Tablica 79. Sumarni rezultati pojednostavljene ekonomske analize – ekonomski pokazatelji za slučaj u krugu proizvodnog pogona EL-TO	115

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
η_1	-	Korisnost kogeneracijskog postrojenja prije porasta potrebe za dodatnom parom
ΔEE	MWh	Dodatno proizvedena električna energija
ΔG	MWh	Dodatno utrošena količina plina
ΔPP	MWh	Dodatno proizvedena para za pogon apsorpcijskih rashladnika vode
COP	-	Toplinski množitelj
EE	MWh	Proizvedena električna energija
g	m/s^2	Gravitacijsko ubrzanje
G	MWh	Plin potrošen za pogon postrojenja
G_1	MWh	Potrošnja plina prije porasta potrebe za dodatnom parom
G_2	MWh	Potrošnja plina nakon porasta proizvodnje pare
h	m	Visina dobave pumpe
P	kW	Snaga pumpe
PP	MWh	Proizvedena para
q	m^3/h	Protok vode
$Q_{C,nd}$	kWh	Potrebna energija za hlađenje
Q_g	kW	Učin kuhala
Q_k	kW	Učin kondenzatora
Q_o	kW	Učin isparivača
VV	MWh	Proizvedena vrela voda
η_p	-	Efikasnost pumpe
ρ	kg/m^3	Gustoća vode
$H_{tr,op}$	W/K	Koeficijent transmisijske izmjene topline neprozirnih površina ovojnice
$H_{tr,w}$	W/K	Koeficijent transmisijske izmjene topline prozirnih površina ovojnice

SAŽETAK

Energetsko-ekonomska analiza opskrbe potrošača rashladnom energijom centraliziranim sustavom hlađenja u Gradu Zagrebu napravljena je s ciljem ispitivanja potencijala daljinskog hlađenja i pronalaska najoptimalnijeg oblika proizvodnje i distribucije rashladne energije. U radu su navedena i objašnjena sva prikupljena iskustva i podaci o načinu proizvodnje, skladištenju, distribuciji i potrošnji rashladne energije te ekonomski modeli sustava daljinskog hlađenja u svijetu. Proveden je detaljan uvid u potencijalne potrošače koji se nalaze na lokacijama u blizini proizvodnih pogona EL-TO i TE-TO te pregled karakteristika proizvodnih procesa u navedenim proizvodnim pogonima kao i zakrčenost podzemne infrastrukture koja će definirati potencijalnu trasu za polaganje distribucijskog cjevovoda hladne vode. Na osnovu prikupljenih i detaljno proučenih podataka, definirane su tehnologije proizvodnje rashladne energije i pet različitih slučajeva opskrbe potrošača rashladnom energijom centraliziranim sustavom hlađenja; *Decentralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom – Radnička cesta, Centralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE-TO – Radnička cesta, Centralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE-TO – Sveučilišna aleja, Decentralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenih vrelom vodom – Sveučilišna aleja, Centralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji EL-TO*. U slučajevima „*Centralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE-TO – Radnička cesta*“, i „*Centralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE-TO – Sveučilišna aleja*“, koristi se rashladni učinak rijeke Save za hlađenje u mjesecima travanj i listopad. Prva četiri od pet navedenih slučajeva detaljno su dinamički modelirani u računalnom programu TRNSYS, te su njihovo ponašanje i odzivi promatrani na razini od 20 sekundi tijekom cijele sezone hlađenja (od početka travnja do zaključno listopada). Iznimku predstavlja slučaj „*Centralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji EL-TO*“ gdje je dinamika sustava opisana pomoću bezdimenzijskih veličina dobivenih iz prethodnih slučajeva.

Ključne riječi: daljinsko hlađenje, apsorpcijski rashladnici, TRNSYS

SUMMARY

The energetic and economic analysis of district cooling system in town of Zagreb was made with the aim to analyze district cooling potential and find the optional solution for producing and distributing cooling energy. In this work, collected experiences and data about producing, storing, distributing and consuming cooling energy are listed and explained as well as economical models of district cooling system around the world. Detailed analysis of potential consumers located round cogeneration plants EL-TO and TE-TO is carried out and production processes of mentioned plants reviewed. Furthermore, detailed analysis also includes investigation of underground infrastructure congestion in order to define district cooling pipe route. Optimal choosing of cooling technology and five different cases of supplying consumers with cooling energy are based on collected and comprehensively analyzed data. Analyzed cases are: *Steam fired absorption chillers used for decentralized production of cooling energy – Radnička Street*, *Steam fired absorption chillers used for centralized production of cooling energy located at TE-TO plant – Radnička Street*, *Steam fired absorption chillers used for centralized production of cooling energy located at TE-TO plant – Sveučilišna alley*, *Hot-water fired absorption chillers used for decentralized production of cooling energy – Sveučilišna alley*, *Steam fired absorption chillers used for centralized production of cooling energy located at EL-TO plant*. In cases: *Steam fired absorption chillers used for centralized production of cooling energy located at TE-TO plant – Radnička Street* and *Steam fired absorption chillers centralized production of cooling energy located at TE-TO plant – Sveučilišna alley* cooling load during months of April and October is satisfied with the cooling effect of Sava river. First four of five listed cases are modeled and dynamically simulated using TRNSYS software with simulation time step of 20 seconds. Simulations were performed for each month of the cooling period (from the beginning of April until end of October). There is an exception in the case *Steam fired absorption chillers used for centralized production of cooling energy located at EL-TO plant* - system behavior was described using only dimensionless quantities calculated from previous cases.

Key words: district cooling, absorption chillers, TRNSYS

1. UVOD

U uvodnom poglavlju opisana je metodologija ispitivanja mogućnosti opskrbe potrošača rashladnom energijom centraliziranim sustavom u Gradu Zagrebu. Istraživanje tržišta potencijalnih potrošača rashladne energije u Gradu Zagrebu provedeno je sljedećom metodologijom:

- Podacima o javnim zgradama dobiveni su od strane Agencije za promet nekretninama (APN), [1] iz baze podataka Informacijskog sustava za gospodarenje energijom (ISGE) [2], dok su dodatno
- potencijalni veliki potrošači iz privatnog sektora dodani procjenom površine iz javno dostupnih izvora poput geoportala [3] i google maps servisa [4].

Dobiveni podaci uključuju adresu, naziv objekta, vrstu objekta, korisnu površinu i volumen te za pojedine objekte podatke o potrošnji energije i potrebnoj rashladnoj snazi. Objekti su podijeljeni u četiri kategorije, na:

- uredske zgrade,
- bolnice,
- zgrade za maloprodaju i veleprodaju i
- sportske dvorane.

Prikaz i obrada navedenih podataka te analiza potencijalnih potrošača i potencijal iskorištavanja postojeće infrastrukture za zadovoljavanje potreba za hlađenjem provedena je pomoću GIS (Geografski informacijski sustav, eng. Geographic Information System) alata qGIS [5]. Osnovni rezultati procesa mapiranja potrošača i infrastrukture uključuju:

- lokacije potencijalnih potrošača,
- izračunatu potrebu za rashladnom energijom („Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790“),
- izračunatu potrebu za rashladnom snagom („Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790“),
- lokacije relevantne energetske infrastrukture.

Mapiranjem potrošača i infrastrukture grada Zagreba zaključeno je da je potencijal za hlađenjem u Gradu Zagrebu velik. Ukupna prepoznata potreba iznosi 350 MW hlađenja uz godišnju potrošnju energije od 138.700 MWh. Treba napomenuti da se navedeni potencijal odnosi na sve javne zgrade u Gradu Zagrebu i privatne zgrade koje se nalaze u promatranim dijelovima grada uz proizvodne pogone TE-TO i EL-TO.

Potrošači rashladne energije promatrani su za cijeli grad, ali zbog brojnih ograničenja nisu svi podvrgnuti detaljnim analizama. Zbog preopterećenosti podzemne infrastrukture u određenim dijelovima grada kao i neprilagođenosti rashladnih sustava zgrada, odabrani su realno dostupni potrošači i potencijalne trase za polaganje cjevovoda rashladne vode. U ovom su se procesu sljedeće lokacije i potrošači na njima nametnuli kao pogodni za distribuciju i potrošnju rashladne vode:

- područje uz Radničku ulicu;
- Sveučilišna aleja;
- Okolica postrojenja EL-TO Zagreb.

Navedene lokacije i prepoznati potrošači podvrgnuti su detaljnom dinamičkom modeliranju koje je napravljeno uz pomoć računalnog programa TRNSYS (Transient System Simulation). Dinamičko modeliranje daje realnu sliku ponašanja sustava i uvid u dinamiku svih sustava i podsustava; od proizvodnje, distribucije pa do sustava potrošnje rashladne energije. Ovako realnu i vjerodostojnu sliku rada sustava daljinskog hlađenja nije moguće ostvariti klasičnim proračunima prema algoritmu. Promatrani su slijedeći slučajevi:

- Decentralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom – Radnička cesta,
- Centralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE-TO – Radnička cesta,
- Centralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE-TO – Sveučilišna aleja,
- Decentralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenih vrelom vodom – Sveučilišna aleja,
- Centralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji EL-TO.

Od pet slučajeva samo su dva slučaja analizirana s decentraliziranom proizvodnjom rashladnog učinka. I to:

- Decentralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom – Radnička cesta pri čemu je lokacija smještaja rashladnog postrojenja u Radničkoj ulici u blizini postojećeg parovoda. Prednost ovakvog načina pripreme rashladne vode jest blizina potrošača u odnosu na mjesto proizvodnje. Ono rezultira kraćim distribucijskim cjevovodom hladne vode, a time i nižim investicijskim troškovima, manjom potrebnom snagom pumpi i nižom potrošnjom električne energije za njihov pogon. S druge strane, udaljenost od rijeke Save ne dopušta korištenje riječne vode za potrebe slobodnog hlađenja (u trenucima kada to temperatura rijeke Save to dopušta) i hlađenja kondenzatora rashladnih uređaja. Stoga je u tu svrhu potrebno koristiti rashladne tornjeve (što za posljedicu ima više ulaganje u postrojenje) za čiju se nadopunu ishlapjele vode koristi skupa vodovodna voda. Također, realan i nimalo bezazlen problem predstavlja i pronalazak te zakup potrebnog prostora za smještaj rashladnog postrojenja u centru poslovne zone.
- Decentralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenih vrelom vodom – Sveučilišna aleja. U ovom slučaju za pogon rashladnih uređaja korištena je postojeća infrastruktura mreže vrelovoda. U tu svrhu korišteni su jednostupanjski apsorpcijski rashladni uređaji koji za razliku od parom pogonjenih dvostupanjskih uređaja imaju znatno niži faktor hlađenja (oko 0,7 u usporedbi s 1,29). Radi navedenog, promatrani sustav košta više te troši više toplinske energije u usporedbi s parom pogonjenih dvostupanjskih apsorpcijskih uređaja. Također, negativna strana ovog slučaja jest i potreban temperaturni režim vrelovoda čija temperatura polaznog voda vrelovoda u ljetnim mjesecima mora iznositi oko 100°C. To je neprihvatljivo, u prvom redu radi visokih generiranih toplinskih gubitaka mreže vrelovoda (u ljetnoj sezoni se radi povećanja energetske učinkovitosti vrelovodne mreže temperatura polaza spušta na 70°C što je dovoljno za pripremu potrošne tople vode) te visoke povratne temperature vrela vode koja ima negativan utjecaj na proizvodne procese u pogonima TE-TO i EL-TO.

Ostali slučajevi odnose se na proizvodnju rashladnog učinka u krugu proizvodnih pogona TE-TO i EL-TO.

S ciljem određivanja rentabilnosti daljinskog hlađenja u gradu Zagrebu svakako je potrebno utvrditi cijenu po kojoj je moguće proizvesti rashladnu energiju u promatranim slučajevima. Svakako je za

očekivati da će u slučaju kada se rashladna energija proizvodi rashladnim postrojenjem koja su izvedena u sklopu proizvodnih pogona TE-TO i EL-TO, cijena energije biti niža nego tržišno deklarirana, odnosno niža od one po kojoj ih dotično poduzeće prodaje na hrvatskom tržištu i Gradu Zagrebu. Uz cijene energenata potrebnih za pogon kogeneracijskog postrojenja TE-TO te pretpostavki o načinu rada postrojenja utvrđena je cijena dodatno proizvedene pare potrebne za pogon apsorpcijskih rashladnika vode od 0,18 kn/kWh.

Pomoću podataka o specifičnim troškovima za energiju i vodu, održavanje te ulaganje u sustav daljinskog hlađenja te rezultata provedene energetske analize, napravljen je izračun prihoda i troškova svih promatranih modela sustava u krugu proizvodnih pogona TE-TO i EL-TO kao podloga za izradu jednostavne ekonomske analize.

2. ANALIZA SUSTAVA DALJINSKIH HLAĐENJA U SVIJETU

U sljedećim poglavljima analizirani su sustavi daljinskih hlađenja u:

- Parizu, Francuskoj,
- Beču, Austriji,
- Stockholmu, Švedskoj,
- Solnoj, Švedskoj,
- Växjö, Švedskoj
- Helsinkiju, Finskoj,
- Chicagu, Sjedinjenim Američkim Državama.

Sustavi su analizirani s obzirom na:

- tehnologije proizvodnje rashladne energije,
- način skladištenja rashladne energije,
- način distribucije rashladne energije i
- ekonomske načine poslovanja sustava daljinskog hlađenja:
 - cijenu proizvodnje uključivo sa skladištenjem rashladne energije,
 - cijenu distribucije i naplate potrošene rashladne energije,
 - cijenu izgradnje i modele financiranja izgradnje sustava daljinskih hlađenja.

U sljedećoj tablici dan je sažeti pregled karakteristika sustava daljinskog hlađenja promatranih gradova.

Tablica 1. Pregled karakteristika sustava daljinskog hlađenja promatranih gradova

Veličina/grad	Beč	Pariz	Stockholm	Solna	Växjö	Helsinki	Chicago
Rashladni kapacitet [MW]	65	290	280	43	14	180	380
Rashladna energija [GWh/god]	72	400	426	69	11	130	-
Prosječan broj sati rada sustava [h]	1.108	1380	1.522	1.605	786	723	-
Skladištenje rashladne energije (osjetno)[MWh]	-	90	85	-	2	-	-
Skladištenje rashladne energije (latentno)[MWh]	-	50	-	-	-	-	-
Duljina distribucijske mreže [km]	4,8	71	200	32	13	65	13
Temperatura polaz/povrat [°C]	3,5/14	(1-4)/(12-14)	-	(5-7)/(15-17)	-	-	-
Područje opskrbe [m ²]	1.000.000	5.000.000	7.000.000	-	-	14.000.000	4.460.000

Veličina/grad	Beč	Pariz	Stockholm	Solna	Växjö	Helsinki	Chicago
Specifična rashladna energija [kWh/m ²]	66	80	61	-	-	-	-
Cijena električne energije [EUR/MWh]	90-110	-	-	-	-	-	-
Cijena proizvedene rashladne energije [EUR/MWh]	20	-	-	-	30	-	-
Minimalno opterećenje potrošača za priključak [kW]	200 (500)	-	-	-	-	-	-
Investicijski troškovi [EUR/kW]	400-1000	-	-	-	10.500.000	-	-
Troškovi izgradnje cjevovoda [EUR/m]	1000-2000	-	-	-	-	-	-
Trajanje ugovora s potrošačem [god]	20	-	-	-	-	-	-

2.1 Način proizvodnje rashladne energije

2.1.1 Pariz

Sustav daljinskog hlađenja u Parizu postoji od 1978. godine kad je prilikom obnove dijela grada u kojem je započeta gradnja trgovačkog centra *Forum Les Halles*, gradska uprava odlučila prihvatiti sustav daljinskog grijanja i hlađenja kao tehničko rješenje koje će odgovoriti na izazove vezane uz rekuperaciju toplinske energije i probleme vršne potrošnje električne energije te osigurati njenu sigurnu dobavu potrošačima. Ubrzo nakon gradnje na sustav se spaja muzej Louvre. U to vrijeme rashladni sustav čine centrifugalni rashladnici vode pogonjeni električnom energijom, rashladni tornjevi za odvođenje topline kondenzacije postavljeni na krov zgrade i banka leda kao spremnik rashladne energije. [6]

Ulaskom tvrtke Climaspac 1991. godine u vlasničku strukturu započinje ekspanzija sustava daljinskog hlađenja Pariza. Sustavu se priključuju novi potrošači, a proizvodni sustav se širi gradnjom nova tri rashladna sustava koji koriste riječnu vodu za potrebe hlađenja kondenzatora rashladnih uređaja, a u slučajevima kada prilike to dopuštaju i slobodnog hlađenja (engl. free cooling). [6]

S obzirom na način gradnje, nekoliko rashladnih postrojenja (*Canada* i *Tokyo*) izvedena su u strojarnicama pod zemljom. [6]

Tehničko rješenje sustava daljinskog hlađenja u Parizu uvjetovao je i zakonski okvir kojim se u Francuskoj ograničava korištenje amonijaka kao radne tvari. [6]

Novost proširenju sustava daljinskog hlađenja Pariza predstavlja korištenje crnih voda iz kanalizacijskog sustava grada koja se koriste kao ponor ili izvor topline kojim se putem dizalica topline istodobno proizvodi rashladna i ogrjevnna energija. [6]

Danas se daljinsko hlađenje Pariza sastoji od 3 odvojena sustava s ukupno 10 rashladnih stanica i 3 lokacije na kojima se rashladna energija skladišti. Ukupan rashladni učinak od 285 MW proizvodi se uglavnom centrifugalnim rashladnicima vode pogonjenih električnom energijom. Oni godišnje proizvedu oko 410 GWh rashladne energije koji se distribuira potrošačima u 550 zgrada ukupne površine hlađenog prostora 5.000.000 m² putem cjevovoda ukupne duljine 71 km. Od ukupne potrošnje, 61% rashladne energije potroši se za hlađenje poslovnih zgrada (uredskog prostora), 10% komercijalnih objekata, 9% financijskih institucija, 8% hotela i restorana, 7% muzeja i kazališta. Tri rashladne stanice koriste riječnu vodu za potrebe hlađenja kondenzatora i slobodnog hlađenja kada prilike to dopuštaju dok njih pet koriste rashladne tornjeve. Preostale dvije rashladne stanice koriste

geotermalnu energiju kao izvor energije za istodobnu proizvodnju ogrjevnog i rashladnog učinka putem dizalica topline. [6]

Sustav sadrži glavnu mrežu „Centre“ i drugu mrežu „Bercy“. Obavlja se redovni dnevni nadzor mreže. Temperatura rashladne vode isporučene iz proizvodne jedinice je u rasponu od 1 do 4°C, dok je povrat između 12 i 14°C. Zahtjevi za hlađenjem su manji noću, no jedinice za hlađenje i dalje rade i generiraju rashladnu energiju za skladištenje u spremnicima te se tijekom dana ta pohranjena energija koristi za pokrivanje vršnog opterećenja. Sustav ima 3 skladišta rashladne energije (Tour Maubourg, Opera, Les Halles). Spremnik rashladne vode na Tour Maubourg-u nalazi se na najvišoj razini parkirališta, a instalacija se sastoji od 13 cisterni za skladištenje ukupno 12.000 m³ hladne vode (ekvivalent energije od 90 MWh). Voda se čuva se na 3°C. Opera postrojenje ima spremište leda s kapacitetom od 320 m³ (ekvivalent 20 MWh). Les Halles postrojenje ima spremište leda (ekvivalent 30 MWh). [7]

Unazad 20 godina sustav bilježi konstantan priljev novih potrošača od oko 15 MW godišnje. S obzirom na iskustva moguće je zaključiti da je smanjenje ulaganja u nove proizvodne kapacitete i vršnu potrošnju moguće postići korištenjem lokalnih izvor i ponora topline (rijeka ili jezera) za potrebe odvođenja topline kondenzacije i korištenja mogućnosti slobodnog hlađenja kao i geotermalne energije (zemlja i voda) u sprezi sa spremnicima rashladne energije. Čimbenici bitni za uspjeh sustava daljinskog hlađenja Pariza čine [6]:

- blizina mjesta proizvodnje i potrošnje rashladne energije,
- mogućnost korištenja postojećeg kanalizacijskog sustava,
- dozvole za korištenje i prolazak cjevovoda postojećim kanalima,
- zabrane korištenja instalacije split rashladnih sustava na pročeljima fasada zgrada (posebice ona pod zaštitom kao kulturna baština),
- mogućnost korištenja prirodnih resursa izvora i ponora topline.

2.1.2 Beč

Poticaj promišljanju gradnje sustava daljinskog hlađenja u Beču dala je vršna potrošnja električne energije koja se javlja tijekom ljetnih mjeseci za čiju se potrebu koriste termoelektrane na fosilna goriva čija se potrošnja planira smanjiti sukladno smjernicama razvoja energetske politike europske unije. Također, između 2005. i 2030. godine predviđa se stalan rast gradnje poslovnih prostora u visini od 18% godišnje [6]. Sukladno provedenim studijama pokazano je da za grad Beč postoji potencijal za razvoj cjelovitog sustava daljinskog hlađenja s proizvodnjom rashladnog učinka putem apsorpcijskih (vrela voda, režim 140/70°C [8]) i električno pogonjenih centrifugalnih rashladnika vode te slobodnog hlađenja. Odluka o gradnji donesena je 2006., a puštanje u pogon prvog sustava 2009. godine. [6]

Bazna proizvodnja hladne vode odvija se putem apsorpcijskih rashladnika vode u ljetnom periodu kada postoji višak otpadne topline iz spalionice otpada *Spittelau* dok se u proljeće, kada je vodostaj rijeke Dunav visok, a njena temperatura dovoljno niska, riječna voda koristi za izravno, slobodno hlađenje potrošača. Također, za slobodno hlađenje koristi se i okolišni zrak kada je dovoljno hladan. Ostatak potreba za hlađenjem pokriva se električno pogonjenim centrifugalnim rashladnicima vode. Pored centralno smještene mreže, daljinsko hlađenje Beča ima i dislocirane sustave u kojima se rashladni učinak proizvodi po mogućnosti, kombinacijom apsorpcijskih i centrifugalnih rashladnika te slobodnog hlađenja ili samo centrifugalnim rashladnicima. Sada se proizvedeni rashladni učinak skladišti u formi leda u jednom spremniku, a razmišlja se o gradnji novih spremnika. [6]

Oko 25% potreba za hlađenjem ostvaruje se putem apsorpcijskih rashladnika vode i riječnom vodom. Ostatak se proizvodi putem centrifugalnih rashladnika. U prvoj fazi razvoja instalirana rashladna snaga sustava iznosila je 17 MW, a danas iznosi 65 MW s godišnjom proizvodnjom od 72 GWh rashladne energije. Duljina cjevovoda iznosi oko 4,8 km, a njime se hladi oko 1.100.000 m² prostora, odnosno specifična potreba za hlađenjem iznosi oko 50 kWh/m² godišnje. Europski indeks hlađenja iznosi 106 (opisuje potražnju za hlađenjem pojedinog mjesta u Europi, kreće se od vrijednosti 20 do 140, što je vrijednost indeksa veća to je i potražnja za hlađenjem veća). Do 2020. godine planira se proširenje sustava daljinskog hlađenja na vršnu snagu od 200 MW što se procjenjuje kao 50% potencijalnog tržišta. [6]

Moguće je navesti nekoliko bitnih čimbenika za uspjeh sustava daljinskog hlađenja u Beču [6]:

- veći i razvijeniji sustavi vode do veće ekonomske isplativosti,

- potreba za smanjenjem postojećeg vršnog opterećenja elektroenergetske mreže ima pozitivan utjecaj na razvoj sustava daljinskog hlađenja koji pruža proizvodnju rashladnog učinka s niskom primarnom potrošnjom energije,
- bitno je fokusirati se na područja s visokom koncentracijom potrebe za hlađenjem.

Cijena električne energije za potrebe proizvodnje rashladnog učinka iznosi između 90 i 110 eura za MWh. Prosječna cijena proizvedene rashladne energije putem električno pogonjenih centrifugalnih rashladnika s prosječnim godišnjim faktorom hlađenja (ESEER) od 4 na mjestu proizvodnje iznosi 20 eura za MWh, odnosno oko 0,15 kn/kWh. Uzevši u obzir samo konačnu cijenu proizvedene rashladne energije od 20 EUR/MWh, cijena toplinske energije za pogon apsorpcijskih rashladnika ne smije biti viša od 13 eura za MWh pogonske toplinske energije uz godišnji rashladni odnos apsorpcijskih rashladnika vode od 0,65. [8]

Godišnji faktor hlađenja električno pogonjenih rashladnika vode iznose između [8]:

- 2 i 2,5 u slučaju zrakom hlađenih kondenzatora,
- 3,8 do 4,5 u slučaju kondenzatora hlađenih vodom iz rashladnih tornjeva i
- 5 do 7 u slučaju kondenzatora hlađenih riječnom vodom.

Godišnji rashladni odnos apsorpcijskih rashladnika vode pogonjenih vrelom vodom temperaturnog režima 140/70°C i hlađenih vodom iz rashladnih tornjeva ili riječnom vodom kreće se između 0,65 i 0,7. [8]

Kupcu se naplaćuje:

- jednokratno priključak na sustav daljinskog hlađenja u iznosu od 0 do 50% investicijskih troškova, obično oko 30%. Korisnicima sa snagom priključenja od najmanje 2 MW daje se popust u visini 25 do 30%. [8]
- godišnji zakup rashladne snage u iznosu od 90.468,00 eura za MW,
- rashladna energija u iznosu od 44,80 eura za MWh.

Sukladno navedenom, prosječna cijena na bazi tisuću radnih sati pri maksimalnom rashladnom opterećenju iznosi 135,26 eura po MWh potrošene rashladne energije, odnosno oko 1,015 kuna za kWh preuzete rashladne energije. Dakle, u strukturi troškova zakup rashladne snage iznosi 67% ukupnih troškova, a rashladna energija tek 33%.

Ugovori se sklapaju na vremenski period od 20 godina, isključivo s poslovnim korisnicima. Minimalna rashladna snaga:

- priključka na sustav daljinskog hlađenja iznosi oko 200 kW, što je dovoljno za pokrivanje potreba za hlađenjem oko 4.000 m² prostora,
- za decentraliziran sustav hlađenja izgrađen na mjestu korisnika iznosi oko 500 kW. [8]

Cijena gradnje centralnog sustava hlađenja ovisi o rashladnoj snazi postrojenja i načinu hlađenja kondenzatora (rashladnim tornjevima, suhim hladnjacima, riječnom vodom), a kreće se od 400 do 1.000 EUR po kW snage hlađenja. [8]

Trošak izgradnje distribucijskog cjevovoda hladne vode (polazne i povratne cijevi) iznosi između 1.000,00 i 2.000,00 eura po metru zavisno o promjeru cijevi, koji je odabran na način da brzina strujanja vode ne iznosi više od 3 – 3,5 m/s. Materijal cijevi je polietilen visoke gustoće (engl. HDPE). [8]

Sustav distribucije rashladnog učinka od proizvodnje do potrošača izveden je putem hladne vode. Rashladna energija predaje se indirektno putem izmjenjivača topline na mjestu potrošnje. Tipični temperaturni režimi sustava daljinskog hlađenja u Beču navedeni su u sljedećoj tablici. [8]

Tablica 2. Tipični temperaturni režimi sustava daljinskog hlađenja u Beču

Veličina	Temperatura [°C]
Pogonska energija za apsorpcijske rashladnike vode, polaz vrele vode	140
Pogonska energija za apsorpcijske rashladnike vode, povrat vrele vode	70
Rashladna voda kondenzatorskih krugova, polaz	18 – 24
Rashladna voda kondenzatorskih krugova, povrat	30
Proizvedena hladna voda, polaz (za vanjske temperature zraka iznad 8°C)	3,5
Proizvedena hladna voda, povrat (za vanjske temperature zraka iznad 8°C)	14
Proizvedena hladna voda, polaz (za vanjske temperature zraka ispod 8°C)	12
Proizvedena hladna voda, povrat (za vanjske temperature zraka ispod 8°C)	19
Hladna voda na pragu potrošača, polaz	4,5
Hladna voda na pragu potrošača, povrat	10,5 – 14,5
Sekundarni sustav potrošača, polaz	6
Sekundarni sustav potrošača, povrat	12 – 16

2.1.3 Stockholm

Stockholm se nalazi na Baltičkom moru. Sustav daljinskog hlađenja u Stockholmu postoji od 1995. Duboka morska voda je osnovni izvor energije za opskrbu sustava daljinskog hlađenja. Postojeće velike dizalice topline (morska voda) mogu se koristiti za osiguravanje temperature polaznog voda kod vršne proizvodnje. U početku su se projekti vezani uz daljinsko hlađenje u centru grada radili samo ciljajući na tržištu kapacitete koje je moguće distribuirati kroz cijevi, koje je moguće postaviti u postojeće tunele. Uspješan rast sustava doveo je do veće potražnje od strane kupaca te je stoga izgrađena još jedna mreža daljinskog hlađenja u gradu. U odnosu na 1994. proizvodnja električne energije iz kogeneracije u Švedskoj porasla je za 250-300%. Stockholm ima postrojenje za spaljivanje otpada s ciljem dobivanja toplinske energije za daljinsko grijanje od 1970, a kapacitet je od tada povećan. Spalionica otpada nije blizu proizvodnih lokacija za daljinsko hlađenje. Ako bi se koristili apsorpcijski rashladni uređaji u središnjem sustavu grada, toplinska energija za njihov pogon trebala bi biti isporučena s drugim, skupljim izvorima od spaljivanja otpada. [6]

Sustavi su u vlasništvu i upravljani od strane tvrtke Fortum. Činjenica da su kupci bili upoznati sa sustavom daljinskog grijanja (od 1953.) je bila važna prednost kod pitanja izvođenja sustava daljinskog hlađenja. Osim gradskog sustava, tvrtka Fortum također ima i druge odvojene sustave daljinskog hlađenja u Stockholmu. Drugi najveći sustav u Stockholmu se nalazi u području Kista gdje se nalazi švedski IT - centar. Potražnja za hlađenje u Kisti iznosi 50 MW. Lokalni sustavi također postoje u predjelima Vilunda, Skärholmen, Tensta, Älvsjö, Lidingö, farsta i Nacka, s ukupnim kapacitetom od 30 MW. [6]

Tehnička rješenja koja se koriste za proizvodnju rashladne energije su: hlađenje dubokom morskom vodom (20%), dizalice topline (44%) te kompresijski rashladni uređaji. Ukupan rashladni učinak iznosi 280 MW (bez kapaciteta skladištenja), dok godišnja proizvodnja rashladne energije iznosi oko 426 GWh (2013.) koja se distribuira potrošačima u 600 zgrada ukupne površine hlađenog prostora 7.000.000 m² preko cjevovoda ukupne duljine 200 km. Europski indeks hlađenja iznosi 73. [6]

U sustavu postoje dva spremnika za skladištenje rashladne energije. Prvi spremnik je kapaciteta 5 MW (voda), a drugi spremnik (podzemni, prirodna stijena) je kapaciteta 80 MW i zapremine 50.000 m³ (voda) hlađen noću morskom vodom i dizalicama topline. [9]

Bitna iskustava vezana uz sustav daljinskog hlađenja u Stockholmu [6] su sljedeća:

- ne koristiti izravne veze s kupcima,
- pumpanje vode u spremnike rashladne energije je iznimno komplicirano zbog finog pijeska koji se nalazi u vodi kapacitet ispumpavanja je smanjen što dovodi do nižeg kapaciteta pohrane rashladne energije,
- bez sustava daljinskog hlađenja potrebe za električnom energijom lokalnih kompresijskih rashladnika bila bi pet puta veća.

Bitni čimbenici uspjeha sustava daljinskog hlađenja u Stockholmu [6] su:

- upoznatost kupaca sa sustavom daljinskog hlađenja,
- politička odluka o ukidanju potrošnje CFC i HCFC radnih tvari imala je pozitivan utjecaj na odluku kupaca o odabiru sustava daljinskog hlađenja umjesto vlastitih sustava hlađenja,
- korištenje postojećih tunela za distribucijsku mrežu te strateški smještaj sustava za proizvodnju rashladne energije.

2.1.4 Solna

Tvrtka Norrenergi upravlja sustavom daljinskog hlađenja u Solni i Syndbyberg-u. Radi se o dva predgrađa koja se nalaze na sjeveru Stockholma. Sustav daljinskog hlađenja je planiran 1994. godine, u isto vrijeme kao i sustav u Stockholmu. Norrenergi u početku koristi dizalice topline (obrada otpadne vode) za potrebe proizvodnje rashladne energije. Povećanjem udjela na tržištu u sustav proizvodnje rashladne energije uključuju se električni rashladni agregati i hlađenje morskom vodom. Skladištenje rashladne energije (voda) također se provodi, a nalazi se na mjestu proizvodnje Solnaverket. U trenucima kada je potražnja za hlađenjem niska (npr. tijekom noći) voda u spremniku se hladi morskom vodom (prirodno hlađenje). Apsorpcijski rashladni uređaji nisu zanimljiva alternativa za proizvodnju rashladne energije zbog nedostatka otpadne topline pošto kogeneracijska postrojenja nisu uključena u proizvodnju ogrjevnog energije za daljinsko grijanje kojim također upravlja Norrenergi. [6]

Tehnička rješenja koja se koriste za proizvodnju rashladne energije su: hlađenje dubinskom morskom vodom, dizalice topline te kompresijski rashladni uređaji. Ukupan rashladni učinak iznosi 43 MW (2013.). Godišnja proizvodnja rashladne energije iznosi oko 69 GWh (2013.) koja se distribuira potrošačima putem cjevovoda ukupne duljine 32 km. Temperatura polazne vode je između 5 i 7°C, a

temperatura povrata između 15 i 17°C [10]. Europski indeks hlađenja iznosi 77. Spremnik vode za skladištenje rashladne energije kapaciteta je 75 MWh i volumena 6.500 m³. [6]

Troškovi proizvodnje (i troškovi izgradnje postrojenja) ovise o lokalnim i geografskim uvjetima, npr. pristupu slobodnom hlađenju, tj. morskoj vodi. Tipičan kupac je vlasnik imovine koju je potrebno hladiti (npr. poslovna zgrada, trgovački centar, hotel), koji plaća naknadu za priključenje s Norrenergi-em. Naknada se sastoji od troškova za izgradnju cjevovoda između postojećeg distribucijskog sustava i potrošača te potrebnog kapaciteta hlađenja koji se treba rezervirati u proizvodnom pogonu. Npr. poslovna zgrada površine 10.000 m² a potrebnog učinka hlađenja 400 kW (40 W/m²) jednokratno plaća priključenje na sustav daljinskog hlađenja ovisno o obrascu upotrebe, između 250 i 350 €/kW, te dodatno trošak za izgradnju cjevovoda. Potrošenu energiju hlađenja, kao i zakup rashladne snage kupac plaća na mjesečnoj razini. [10]

Bitna iskustava vezana uz sustav daljinskog hlađenja u Solnoj [6] su:

- imati što snažniji fokus na tržište, prodaju i rješavanje problema kupaca,
- koristiti subvencije za razvoj sustava daljinskog hlađenja,
- ne podcjenjivati potencijal rasta tržišta.

Bitni čimbenici uspjeha sustava daljinskog hlađenja u Solnoj [6]:

- kupci upoznati sa sustavom daljinskog grijanja bolje razumiju prednosti sustava daljinskog hlađenja,
- povoljan položaj i gustoća poslovnih zgrada,
- uspješno korištenje postojeće infrastrukture, gospodarenje energijom i mogućnost korištenja slobodnog hlađenja.

2.1.5 Växjö

Växjö je mali grad s populacijom od samo 60.000 ljudi. Sustav daljinskog hlađenja u Växjö-u postoji od 2011. godine. Prve studije izvodljivosti za daljinsko hlađenje napravljene su u 2006. godini. U 2007. godini instaliran je pilot apsorpcijski rashladni uređaj od 300 kW. Lokacija Växjö je u području dobre dostupnosti otpada biomase iz lokalnog šumskog gospodarstva. Kogeneracijsko postrojenje na biomasu radi od 1997. godine. Danas se više od 90% ogrjevne topline proizvodi iz biomase. Novo kogeneracijsko postrojenje na biomasu pušteno je u rad krajem 2014. godine. Niz ključnih kupaca koji su već priključeni na sustav daljinskog grijanja je pokazao interes za opskrbu daljinskim hlađenjem. Växjö je raširen grad oko nekoliko jezera u blizini. Sva su jezera plitka tako da je samo površinska voda dostupna za hlađenje. Jezera su korisna za distribucijske svrhe zbog nižih investicijskih troškova na lokacijama jezera u odnosu na konstrukcije na zemlji. Distribucijski sustav sadrži neizolirane povratne cijevi smještene u jezerima za povezivanje različitih područja. Te neizolirane cijevi djeluju kao izmjenjivač topline. [6]

Tehnička rješenja koja se koriste za proizvodnju rashladne energije su: apsorpcijski rashladni uređaji (32%), kompresijski rashladni uređaji (24%) te besplatno hlađenje preko jezera (44%). Ukupan rashladni učinak iznosi 13 MW (2013.). Godišnja proizvodnja rashladne energije iznosi oko 11 GWh (2013.) koja se distribuira potrošačima u 20 zgrada preko cjevovoda ukupne duljine 13 km. Europski indeks hlađenja iznosi 70. [6]

Postoje dva postrojenja za proizvodnju rashladne energije: Sandviksverket (6 MW) i Västra Mark (5,5 MW) ukupnog kapaciteta 11,5 MW. Uz to postoje i lokalne rashladne stanice: Videum (oko 0,37 MW) i bolnica CLV (oko 2 MW). Višak rashladne energije pohranjuje se u akumulacijski spremnik hladne vode (2.000 m³) kapaciteta 2 MW za pokrivanje vršnog opterećenja tijekom dana i korištenje sustava na efikasniji način uravnoteženjem rada apsorpcijskih rashladnih uređaja. [11]

Tvrtka Växjö Energi AB (tvrtka koja upravlja sustavom daljinskog hlađenja) također je izvela sustav za višestruko korištenje rashladne energije, tako da se ista rashladna energija može koristiti tri puta u jednom ciklusu (dva puta za hlađenje i jednom za grijanje). Povratna temperatura rashladnog medija se koristi za hlađenje računskog centra i grijanje nogometnog stadiona. [11]

Cijena proizvodnje rashladne energije je oko 30 EUR po MWh, ovisno o cijeni toplinske energije za apsorpcijske rashladne uređaje i cijeni električne energije kada se koriste kompresijski rashladni uređaji. Cijena distribucije je oko 2 EUR po MWh, a cijena izgradnje sustava oko 10.500.000 EUR. [11]

Bitna iskustava vezana uz sustav daljinskog hlađenja u Växjö-u [6] su:

- kogeneracijska postrojenja na biomasu su dobra prilika za pogon apsorpcijskih rashladnih uređaja, no cijena goriva mora biti niska,
- višestruko korištenje iste rashladne energije i način distribucije može biti posebno zanimljiv za gradove slične Växjö-u.

Bitni čimbenici uspjeha sustava daljinskog hlađenja u Växjö-u [6]:

- snažan početni interes za hlađenjem nekih ključnih kupaca poput sveučilišta i bolnica,
- političko vodstvo i konsenzus su jedan od ključnih faktora s ciljem donošenja potrebnih odluka (1996. godine donosi se odluka da se ne koriste fosilna goriva),
- široka suradnja sa svim zainteresiranim stranama oko zajedničkih ciljeva.

2.1.6 Helsinki

Helsinki je glavni grad Finske s oko 700.000 stanovnika i nalazi se uz Baltičko more. Sustavi za opskrbu daljinskom energijom u Helsinkiju imaju dugu povijest s početkom 1953. godine. Sustav daljinskog grijanja je uspješan od samog početka. Sustav daljinskog hlađenja pušten je u rad 1998. godine. Provedba sustava daljinskog hlađenja je bila laka pošto su kupci već bili upoznati sa sustavom daljinskog grijanja. Katri Vala je najveće postrojenje u svijetu koje koristi dizalicu topline za proizvodnju ogrjevnog energije (daljinsko grijanje) i rashladne energije (daljinsko hlađenje) od pročišćene otpadne vode i morske vode. Kapacitet tog postrojenja je 60 MW za daljinsko hlađenje i 90 MW za daljinsko grijanje. Postrojenje se nalazi u stjenovitom prostoru i u tunelima ispod parka Katri Vala u četvrti Sörnäinen. Drugo postrojenje za daljinsko hlađenje nalazi se centru Salmisaari i ima kapacitet od 10 x 3.5 MW apsorpcijskih rashladnika i dva kompresijska rashladnika. 80% proizvodnje temelji se na energiji koja bi inače bila neiskorištena. [6]

Sustav daljinskog hlađenja sadrži tri spremnika za skladištenje rashladne energije (voda): 1 čelični (Salmissari) od 1.000 m³ te 2 stjenovita od 11.500 m³ (Pasila) i 23.500 m³ (City center) [12]. Ukupan rashladni učinak iznosi 180 MW. Godišnja proizvodnja rashladne energije iznosi 130 GWh (2014.) koja se distribuira potrošačima u 300 zgrada ukupne površine hlađenog prostora 14.000.000 m² preko cjevovoda ukupne duljine 65 km. Europski indeks hlađenja iznosi 72. [6]

Bitna iskustava vezana uz sustav daljinskog hlađenja u Helsinkiju su [6]:

- u Helsinkiju je stijena ispod grada vrlo čvrsta,
- cjevovod i proizvodni pogoni mogu biti izgrađeni pod zemljom,
- bušenje tunela smanjuje duljinu cijevi.

Bitni čimbenici uspjeha sustava daljinskog hlađenja u Helsinkiju [6]:

- konkurentnost sustava daljinskog hlađenja naspram drugih sustava kako bi se pridobili kupci,
- barijera za početak rada daljinskog sustava hlađenja je znatno niža, kada već postoji energetska tvrtka koja ima iskustva i znanja o daljinskom grijanju,
- primijećeno je da sustav daljinskog hlađenja pruža najjednostavniji način za poboljšanje energetske učinkovitosti i smanjenja emisije CO₂ za zgrade u Helsinkiju.

2.1.7 Chicago

Sustav daljinskog hlađenja u Chicagu radi od 1995. godine. Sustav ima 5 proizvodnih postrojenja (kompresijski rashladni uređaji) strateški smještenih u centru grada. Postoji 5 spremnika za skladištenje rashladne energije od kojih su 4 banke leda. Zahvaljujući skladištenju rashladne energije noću smanjuje se opterećenje električne mreže danju kao i emisija ugljik dioksida. Ukupan rashladni učinak postrojenja iznosi 380 MW. Rashladne energija se distribuira potrošačima u 120 zgrada ukupne površine hlađenog prostora 4.460.000 m² preko cjevovoda ukupne duljine 13 km. [13]

3. ANALIZA POTENCIJALNIH POTROŠAČA RASHLADNE ENERGIJE

Analiza potencijalnih potrošača te potencijala iskorištavanja postojeće infrastrukture za zadovoljavanje potreba za hlađenjem provedena je pomoću GIS (Geografski informacijski sustav, eng. Geographic Information System) alata qGIS [5]. qGIS je besplatan računalni alat otvorenog koda dostupan na raznim platformama uključujući Microsoft Windows, Linux, MacOS i Android operativnim sustavima. Razvijen je u sklopu „Open Source Geospatial Foundation“ inkubatora te je prva verzija objavljena 2009. godine. Sam alat omogućava stvaranje, prikaz, obradu te analizu georeferenciranih podataka i baza podataka.

U sklopu analize provedene kroz ovu studiju, izračunate su gustoće i raspodjela potražnje za rashladnom energijom u gradu Zagrebu s fokusom na okolicu dviju toplana na području grada (EL-TO i TE-TO), kao i potencijal iskorištavanja postojećih parovoda kao izvora toplinske energije za apsorpcijske rashladne uređaje. U nastavku je pobliže objašnjena metoda analize te su prikazani odabrani rezultati.

3.1 Metoda analize i prikaza potražnje za rashladnom energijom te potencijalnih izvora

Analiza potencijalnih potrošača rashladne energije je velikim dijelom bazirana na podacima dobivenim od strane Agencije za promet nekretninama (APN), [1] iz baze podataka Informacijskog sustava za gospodarenje energijom (ISGE) [2]. Dobiveni podaci uključuju adresu, naziv objekta, vrstu objekta, korisnu površinu i volumen te za pojedine objekte podatke o potrošnji energije i rashladnoj snazi. Primjer dobivenih podataka se može vidjeti u Tablica 3. Pomoću adresa su određene koordinate pojedinih objekata dok su se vrsta i korisna površina iskoristili za izračun potrebne energije i instalirane snage za hlađenje. Podaci u ISGE-u se odnose samo na javne zgrade dok su potencijalni veliki potrošači iz privatnog sektora dodani procjenom površine iz javno dostupnih izvora poput geoportala [3] i google maps servisa [4].

Tablica 3. Primjer podataka iz ISGE-a

Adresa	Naziv objekta	Vrsta objekta	A_k [m ²]	V_k [m ³]
Vlaška 105	Zoološki vrt Grada Zagreba - Životinjski kutak	Objekt (općenito)	50	-
Trg bana Josipa Jelačića 6	Općinsko državno odvjetništvo - Građansko-upravni odjel	Javne zgrade	1.552,61	7.023
Vrapčanska 166	KGZ - Knjižna stanica Gornje Vrapče	Knjižnica	43	-
Pršaki 34	DZZ - ISTOK - DANKOVEC, Pršaki 34	Dom zdravlja	395	-
Ulica Mihovila Gračanina 4a	DV Vrapče - Područni objekt - Mihovila Gračanina 4a	Dječji vrtić	1.800	5.760

Samo za potrebe vizualizacije potrošnje rashladne energije i angažirane snage potencijalnih potrošača na području grada Zagreba napravljen je proračun potrebne energije za hlađenje $Q_{C,nd}$ proveden prema „Algoritamu za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790“ [14] pomoću jednostavne satne metode. Satni proračuni provedeni su za referentne tipove zgrada prema propisima iz područja energetske učinkovitosti (Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja). Korišteni su sljedeći akti [15]:

- Izvještaj prema članku 5(2) Direktive 2010/31/EU i članku 6 Uredbe (EU) 244/2012 od 16.1.2012.: Minimalni zahtjevi na energetske svojstvo uredske zgrade za kontinentalnu i primorsku Hrvatsku, za razdoblje do 1970., 1971. - 2005., iza 2006., i gotovo nula energetske zgrade,
- Izvješće prema članku 5(2) Direktive 2010/31/EU i članku 6 Uredbe (EU) 244/2012 od 16.1.2012.: Minimalni zahtjevi na energetske svojstvo zgrade za maloprodaju i veleprodaju za kontinentalnu i primorsku Hrvatsku, za razdoblje do 1970., 1971. - 2005., iza 2006., i gotovo nula energetske zgrade,
- Izvješće prema članku 5(2) Direktive 2010/31/EU i članku 6 Uredbe (EU) 244/2012 od 16.1.2012.: Minimalni zahtjevi na energetske svojstvo zgrada bolnica za kontinentalnu i primorsku Hrvatsku, za razdoblje do 1970., 1971. - 2005., iza 2006., i gotovo nula energetske zgrade,
- Izvješće prema članku 5(2) Direktive 2010/31/EU i članku 6 Uredbe (EU) 244/2012 od 16.1.2012.: Minimalni zahtjevi na energetske svojstvo zgrada sportskih dvorana za kontinentalnu i primorsku Hrvatsku, za razdoblje do 1970., 1971. - 2005., iza 2006., i gotovo nula energetske zgrade.

Proizašli rezultati proračuna (potrebna rashladna energija i snaga) nisu korišteni kao podloga za analizu dinamike ponašanja sustava daljinskog hlađenja od mjesta proizvodnje do mjesta potrošnje, za čiju potrebu su napravljeni detaljni dinamički modeli i proračuni svih podsustava daljinskog hlađenja (sustav proizvodnje, distribucije i potrošnje). Oni detaljno obrađeni i opisani u poglavlju 5.

Gore navedeni izvještaji za referentne tipove zgrada strukturirani su prateći vremensku i prostornu karakterizaciju uredskih zgrada u RH na postojeće zgrade građene u vremenskim razdobljima do 1970. godine, od 1971. do 2005. godine te nove zgrade iza 2006. godine i nove gotovo nula energetske zgrade. U ovom satnom proračunu korišteni su podaci za zgrade izgrađene od 1971. do 2005. godine - kontinentalna Hrvatska, a radi se o sljedećim podacima [14]:

- geometrija zgrade (površine zidova i prozora, broj etaža, korisna površina zgrade),
- unutarnji dobici (prosječni toplinski dobici od korisnika i rasvjete),
- prosječni koeficijenti prolaska topline kroz građevne dijelove,
- ukupni toplinski kapacitet za zgradu,
- prosječni stupanj propuštanja Sunčeva zračenja kroz ostakljenje,
- infiltracija.

Jednostavna satna metoda iterativnim postupkom, koji se sastoji od tri koraka, proračunava satnu vrijednost potrebne toplinske snage za grijanje/hlađenje kako bi se unutar proračunske zone održala unutarnja proračunska temperatura u željenom intervalu. Prilikom proračuna satne vrijednosti potrebne toplinske snage za grijanje/hlađenje metoda se poziva na vrijednosti dobivene u prethodnom vremenskom koraku. Prilikom proračuna početnog sata vrijednost temperature $\vartheta_{m,ac,t-1}$ mora se pretpostaviti. [14]

Ako se proračun vrši za karakteristični dan u mjesecu iterativnim postupkom potrebno je odrediti stvarnu vrijednost temperature $\vartheta_{m,ac,t-1}$. Određivanje temperature $\vartheta_{m,ac,t-1}$ vrši se tako da se u sljedećem koraku pretpostavljena vrijednost $\vartheta_{m,ac,t-1}$ zamijeni vrijednosti temperature $\vartheta_{m,ac,t}$ na kraju dana. Postupak je potrebno ponavljati sve do trenutka kad se pretpostavljena i temperatura dobivena u zadnjem satu ne poklope u dvije decimale. Ako se proračun vrši za svaki sat u godini pretpostavljena vrijednost temperature $\vartheta_{m,ac,t-1}$ zamijeni se vrijednošću temperature $\vartheta_{m,ac,t}$ zadnjeg sata u godini. Isti postupak kao i kod mjesečne metode primjenjuje se kako bi se odredili koeficijenti transmisijske i ventilacijske izmjene topline. Koeficijent transmisijske izmjene topline dijeli se na koeficijent

transmisijske izmjene topline prozirnih površina ovojnice $H_{tr,w}$, na koji nije vezana masa zgrade te na koeficijent transmisijske izmjene topline neprozirnih površina ovojnice $H_{tr,op}$, na koje je vezana ukupna masa zgrade. [14]

Postupak proračuna sastoji se od tri osnovna koraka [14]:

- 1. korak: provjera ukoliko postoji potreba za grijanje/hlađenje
- 2. korak: određivanje stvarne potrebe za grijanje/hlađenje
- 3. korak: provjera dostupnosti potrebne snage za grijanje/hlađenje

Korištene su sljedeće pretpostavke:

- postavna temperatura 26°C,
- vrijeme pogona (trgovine - 15h dnevno i 6 dana tjedno, uredska zgrada - 10h dnevno i 5 dana tjedno, sportska dvorana - 17h dnevno i 6 dana tjedno, bolnica - 24h dnevno i 7 dana tjedno).

Tablica 4. i Tablica 5. prikazuju rezultate proračuna.

Tablica 4. Rezultati proračuna - potrebna energija za hlađenje po m²

Tip referentne zgrade	Potrebna energija za hlađenje $Q_{C,nd}$ [kWh/m ² a]
Uredska zgrada	32
Bolnica	37
Zgrada za maloprodaju i veleprodaju	22
Sportska dvorana	39

Tablica 5. Rezultati proračuna - maksimalna potrebna snaga po m²

Tip referentne zgrade	Maksimalna potrebna snaga [W/m ²]
Uredska zgrada	85
Bolnica	75
Zgrada za maloprodaju i veleprodaju	52
Sportska dvorana	80

Lokacija postojeće energetske infrastrukture uključujući toplanu TE-TO Zagreb te lokacije parovoda su dobivene od strane HEP – Toplinarstva te su također mapirane pomoću qGIS-a.

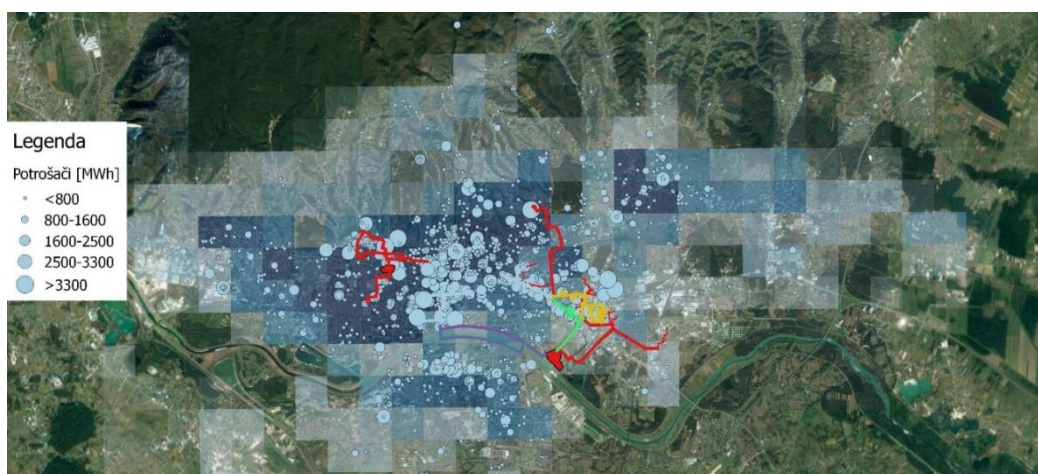
3.2 Rezultati mapiranja potrošača i infrastrukture - TE-TO

Osnovni rezultati procesa mapiranja potrošača i infrastrukture uključuju:

- lokacije potencijalnih potrošača,
- izračunatu potrebu za rashladnom energijom,
- izračunatu potrebu za rashladnom snagom,
- lokacije relevantne energetske infrastrukture.

Slika 1. prikazuje kartu grada Zagreba koja uključuje lokacije i kategorizaciju potencijalnih potrošača, lokacije toplane TE-TO Zagreb i parovoda spojenog na nju, potencijalne lokacije distribucije centraliziranog hlađenja na području Radničke ulice te toplinske karte koja prikazuje distribuciju potražnje za rashladnom energijom za cijeli grad. Kao što se iz prikaza može vidjeti, najveća gustoća potražnje za rashladnom energijom se nalazi u središtu grada te poslovnim centrima. Tablica 6. prikazuje primjer rezultata u tabličnom obliku uključujući koordinate, naziv i kategoriju zgrade, korisnu površinu hlađenja te izračunatu potrošnju rashladne energije i instaliranu rashladnu snagu. Ovaj je prikaz iskorišten za analizu prioriternih dijelova grada za buduću analizu. U ovom su procesu identificirane sljedeće lokacije:

- Radnička ulica;
- Industrijska zona u blizini postrojenja TE-TO Zagreb;
- Sveučilišna aleja;
- Okolica postrojenja EL-TO Zagreb.



Slika 1. Prikaz rezultata izrade GIS karte

Tablica 6. Popis svih zgrada iz Radničke ulice korištenih za proračun

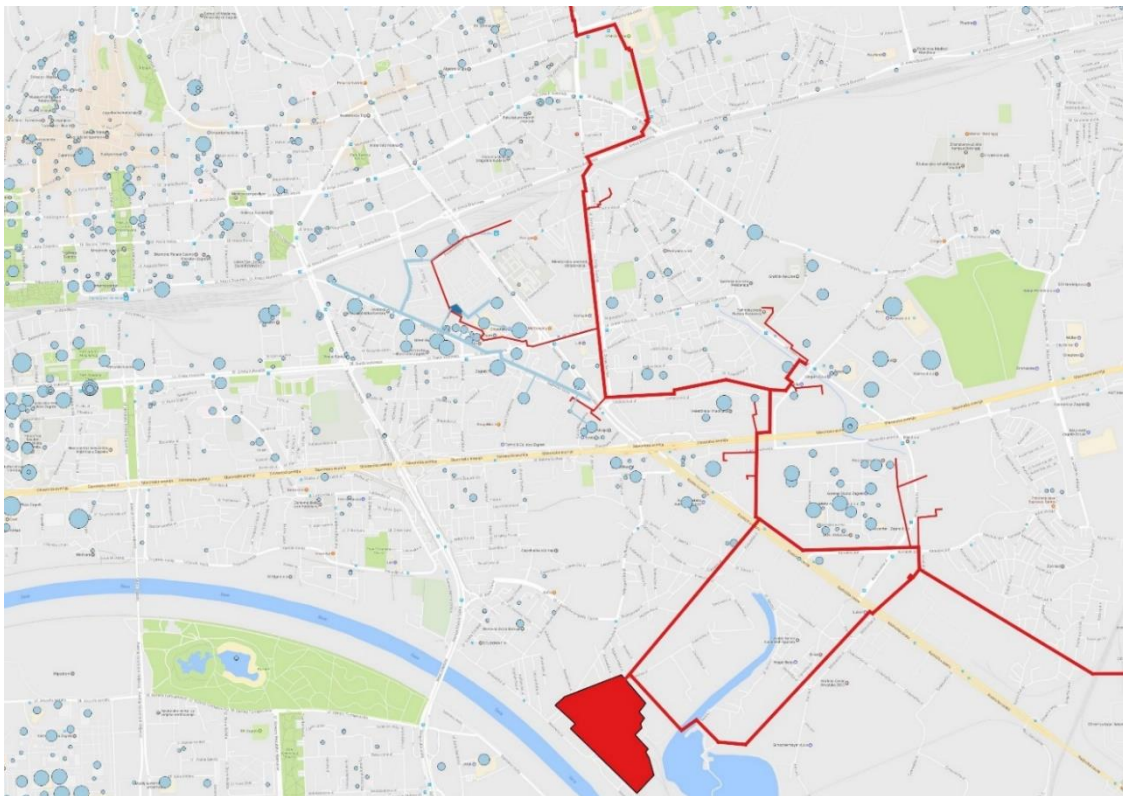
Y	X	Adresa	Naziv objekta	Vrsta objekta	Korisna površina hlađenja [m ²]	Energija za hlađenje [MWh/a]	Snaga za hlađenje [kW]
45,80097	16,01238	Heinzelova ul. 88	Nastavni zavod za hitnu medicinu Grada Zagreba	Bolnica	5.330	197,21	399,75
45,8	16,01344	Heinzelova ul. 98	PP prometna Zagreb - Heinzelova	Uredska zgrada	14.483	463,456	1.231,055
45,80291	16,0033	Radnička cesta 37b	Herbalife	Uredska zgrada	6.588	210,816	559,98
45,80298	16,00401	Radnička cesta 39	Adria Media Zagreb	Uredska zgrada	7.358,4	235,4688	625,464
45,8029	16,00464	Radnička cesta 41	HP	Uredska zgrada	5.774,4	184,7808	490,824
45,80233	16,00502	Radnička cesta 43	Reifeisen Leasing	Uredska zgrada	5.229	167,328	444,465
45,80248	16,00561	Radnička cesta 47	Time	Uredska zgrada	5.078,7	162,5184	431,6895
45,80772	16,00379	Heinzelova ul. 62a/6	Emporion informatika	Uredska zgrada	10535,4	337,1328	895,509
45,80708	16,00135	Podapskog ul. 40	Schark	Uredska zgrada	12.458,7	398,6784	1.058,9895
45,80086	16,0072	Radnička cesta 80	Zagreb Tower	Uredska zgrada	29.896,2	956,6784	2.541,177
45,80161	16,00865	Radnička cesta 53	Euroherc Osiguranje	Uredska zgrada	11.512,8	368,4096	978,588
45,802	16,0002	Ulica grada Vukovara 269	Kompleks - Ss Prirodoslovna skola Vladimira Preloga	Uredska zgrada	8.106	259,392	689,01
45,80323	16,00616	Radnička cesta 47	Konzum	Zgrada za maloprodaju i veleprodaju	13.134,6	288,9612	682,9992
45,80431	16,00715	Heinzelova ul. 70	Auto Hrvatska	Zgrada za maloprodaju i veleprodaju	15.750	346,5	819
45,80192	16,00329	Ulica grada Vukovara 269	Mr. Chen	Zgrada za maloprodaju i veleprodaju	25.596	563,112	1.330,992

Y	X	Adresa	Naziv objekta	Vrsta objekta	Korisna površina hlađenja [m ²]	Energija za hlađenje [MWh/a]	Snaga za hlađenje [kW]
45,80227	16,00257	Radnička cesta 52	Green Gold	Zgrada za maloprodaju i veleprodaju	39.398,4	866,7648	2.048,7168
45,80303	16,0003	Radnička cesta 48	Delicija Libanesi	Zgrada za maloprodaju i veleprodaju	39.276,9	864,0918	2.042,3988
45,80285	16,00886	Ulica grada Vukovara 271	Chromos	Uredska zgrada	21.446,1	686,2752	1.822,9185
45,79769	16,01437	Heinzelova ul. 98	MUP	Uredska zgrada	13.644	436,608	1.159,74
45,7998	16,01327	Heinzelova ul. 96	Mobis	Zgrada za maloprodaju i veleprodaju	2.151,9	47,3418	111,8988
45,79922	16,0092	Ul. Frana Folnegovića 1	Vodoopskrba i odvodnja	Uredska zgrada	12.366	395,712	1.051,11
45,80413	15,99628	Hektorovićeva ul. 2	Mazda	Uredska zgrada	18.635,4	596,3328	1.584,009
45,80559	15,99445	Radnička cesta 1A	Top Shop	Uredska zgrada	4.455	142,56	378,675

Radnička ulica je identificirana kao potencijalno pogodna lokacija za izgradnju mreže centraliziranog hlađenja zbog velike gustoće potencijalnih potrošača, blizine toplani TE-TO Zagreb kao i postojanja parovoda u neposrednoj blizini. Slika 2. prikazuje područje Radničke ulice s lokacijom toplane TE-TO Zagreb, parovoda, predložene distribucije centraliziranog hlađenja i potencijalnih potrošača.

Ključni podaci predloženog sustava su:

- ukupna duljina predložene mreže centraliziranog hlađenja: 4,62 km;
- ukupan broj priključenih objekata: 33;
- ukupna površina priključenih objekata: 338.255,19 m²;
- ukupna potražnja za rashladnom energijom: 9.475,66 MWh godišnje;
- ukupna instalirana rashladna snaga: 24,16 MW.



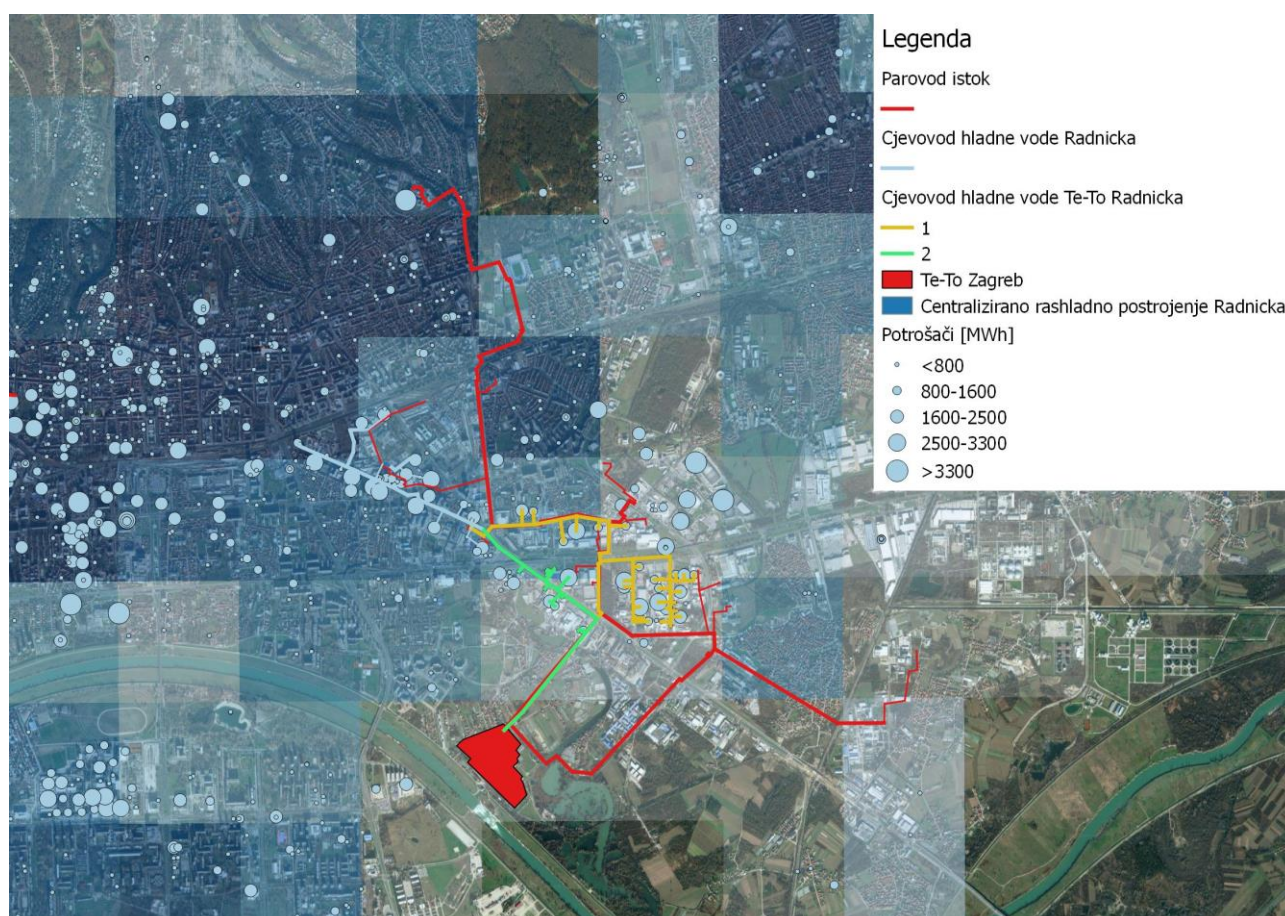
Slika 2. Prikaz Radničke ulice i potencijalne trase voda centraliziranog hlađenja (plavo)

U sklopu analize su u obzir uzete dvije opcije dobave rashladne energije:

- Proizvodnja rashladne energije na lokaciji Radničke ulice (apsorpcija na paru);
- Proizvodnja rashladne energije na lokaciji toplane TE-TO Zagreb.

Slika 3. prikazuje dvije potencijalne alternative distribucije rashladne energije od toplane TE-TO Zagreb do Radničke ulice. Alternative uključuju distribuciju koja prati postojeću trasu parovoda do spoja na sustav centraliziranog hlađenja (1) te distribuciju koja prati trasu parovoda do Radničke ulice te produžetak do predloženog sustava. Duljine pojedinih trasa su (samo veza postrojenja TE-TO Zagreb i Radničke ulice):

- Alternativa 1: 3.38 km;
- Alternativa 2: 2.46 km;



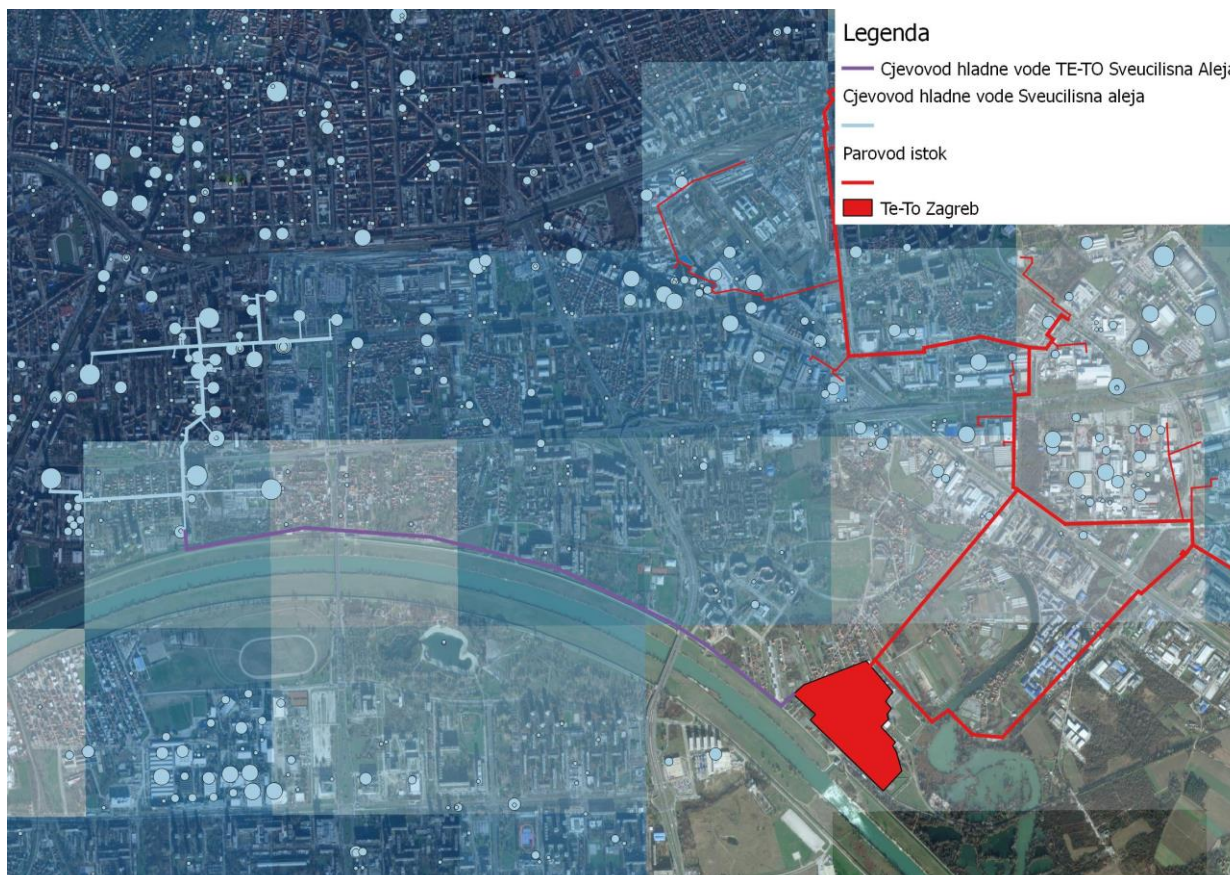
Slika 3. Alternative spoja toplane TE-TO i centraliziranog sustava hlađenja u Radničkoj ulici

Tablica 7. prikazuje ukupnu duljinu predloženih alternativa, kW spojenih snaga i MWh potrošnje.

Tablica 7. Alternative spoja toplane TE-TO Zagreb i Radničke ulice

Alternativa	Duljina cjevovoda hladne vode [km]	Instalirana snaga dodatnih potrošača [kW]	Potrebna rashladna energija dodatnih potrošača [MWh]
Alternativa 1	3.4	15096	5904
Alternativa 2	2.5	4979	1879

Slika 4. prikazuje spoj Sveučilišne aleje s postrojenjem Te-To Zagreb. Slika 4. predstavlja izravan spoj kroz kvart Trnje i opskrbu samo potrošača na identificiranoj trasi.



Slika 4. Cjevovod hladne vode – Sveučilišna aleja

Analizirani slučajevi:

- Slučaj 1: Izravan spoj Sveučilišne aleje bez dodatnih potrošača

Tablica 8. Sveučilišna aleja - analizirani slučajevi

Alternativa	Duljina cjevovoda hladne vode [km]	Instalirana snaga dodatnih potrošača [kW]	Potrebna rashladna energija dodatnih potrošača [MWh]
Slučaj 1	9.8	45.903	17.346

Tablica 9. Popis svih zgrada iz Sveučilišne aleje korištenih za proračun

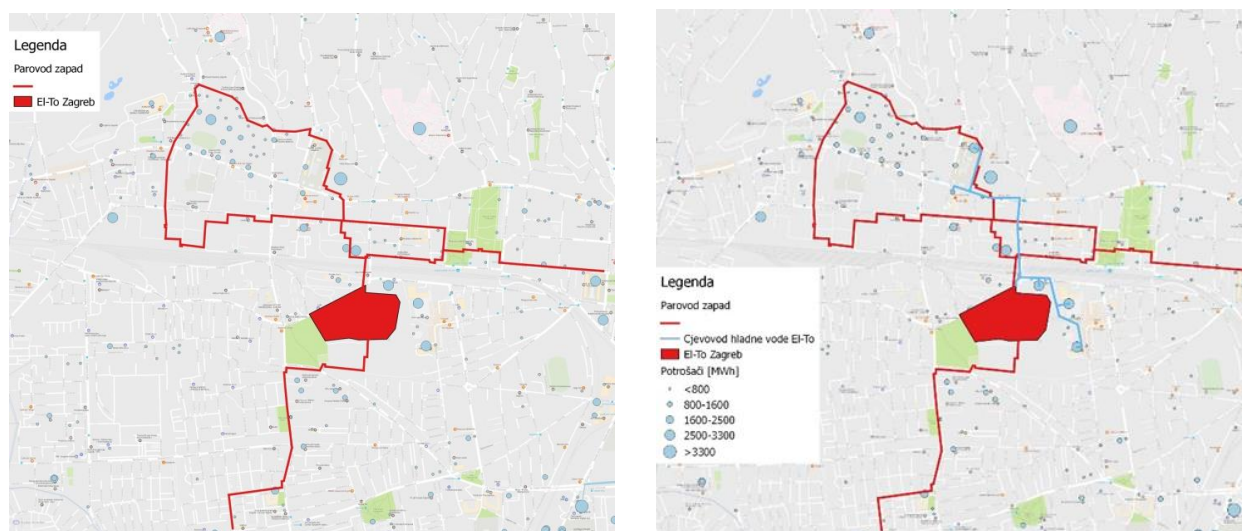
Y	X	Adresa	Naziv objekta	Vrsta objekta	Korisna površina hlađenja [m ²]	Energija za hlađenje [MWh/a]	Snaga za hlađenje [kW]
45.798	15.96915	Humboldtova 4a	CU Sredisnji ured Zagreb - A. Von Humboldta 4a	Uredska zgrada	2818	90	240
45.79773	15.97114	Ivana Lucica 1	Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb - Ivana Lucica 1 - KOMPLEKS	Uredska zgrada	8676	278	737
45.79658	15.97125	Ivana Lucica 3	Filozofski fakultet Zagreb - Stara Zgrada	Uredska zgrada	15000	480	1275
45.79656	15.97125	Ivana Lucica 3	Filozofski fakultet Zagreb - Knjiznica	Uredska zgrada	8000	256	680
45.79527	15.97135	Ivana Lucica 5	Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb - Ivana Lucica 5 - KOMPLEKS	Uredska zgrada	20652	661	1755
45.79529	15.97135	Ivana Lucica 5	Muzicka akademija Zagreb	Uredska zgrada	897	29	76
45.79073	15.96886	Prisavlje 14	Ministarstvo pomorstva, prometa i infrastrukture - Kockica	Uredska Zgrada	10958	351	931
45.79078	15.96886	Prisavlje 14	Hrvatski sabor - UZOP - Saborska garaza	Uredska zgrada	1323	42	112
45.7928	15.97517	Prisavlje 3	HRT - Zagreb	Uredska zgrada	47780	1529	4061
45.80122	15.97714	Trg Stjepana Radica 1	Zgrada Gradskog poglavarstva	Uredska Zgrada	14561	466	1238
45.80103	15.97975	Trg Stjepana Radica 3 i 4	Zgrada - Trg Stjepana Radica 3 i 4	Uredska zgrada	11683	374	993
45.80009	15.96882	Ulica grada Vukovara 37	Hrvatski zavod za mirovinsko osiguranje - Sredisnja sluzba - Vukovarska 37	Uredska Zgrada	2148	69	183
45.80027	15.97296	Ulica grada Vukovara 41	Zagrebacki holding d.o.o. - Direkcija	Uredska zgrada	5168	165	439

Y	X	Adresa	Naziv objekta	Vrsta objekta	Korisna površina hlađenja [m ²]	Energija za hlađenje [MWh/a]	Snaga za hlađenje [kW]
45.7996	15.97244	Ulica grada Vukovara 70	FINA - RC Zagreb Poslovnica 1	Uredska Zgrada	10017	321	851
45.79963	15.973	Ulica grada Vukovara 72	MFIN - Uzi dio Vukovarska - zgrada Termoservis	Uredska Zgrada	4518	145	384
45.7996	15.973	Ulica grada Vukovara 72	FINA - Regionalni centar Zagreb	Uredska Zgrada	2002	64	170
45.79963	15.973	Ulica grada Vukovara 72	Zagrebacka zupaniija - V kat	Uredska Zgrada	1072	34	91
45.79977	15.97603	Ulica grada Vukovara 78	MINGO	Uredska Zgrada	22001	704	1870
45.79979	15.97603	Ulica grada Vukovara 78	DEMO - MINGO	Uredska Zgrada	22001	704	1870
45.79975	15.97603	Ulica grada Vukovara 78	DEMO - MINGO - sjeverna zgrada	Uredska Zgrada	15606	499	1327
45.79973	15.97603	Ulica grada Vukovara 78	MINGO - juzna zgrada	Uredska Zgrada	6395	205	544
45.79971	15.97603	Ulica grada Vukovara 78	DEMO - MINGO - juzna zgrada	Uredska Zgrada	6395	205	544
45.80112	15.97084	Unska 3	Fakultet elektrotehnike i racunarstva Zagreb - Unska 3 - KOMPLEKS	Uredska zgrada	34100	1091	2899
45.79545	15.96895	Vrbik 8	Tehnicko veleuciliste u Zagrebu - Vrbik 8	Uredska zgrada	1084	35	92
45.79837	15.96252	Zagreb, Croatia	Zagrepcanka	Uredska zgrada	34669	1109	2947
45.79854	15.97012	Ul. Ivana Lučića 2, 10000, Zagreb, Croatia	Eurotower	Uredska Zgrada	22885	732	1945
45.79911	15.974	Miramarska cesta 24, 10000, Zagreb, Croatia	Hotel International Zagreb	Uredska Zgrada	21350	683	1815
45.79923	15.97003	Zagreb, Croatia	Erste banka - Savjetodavni centar	Uredska Zgrada	14355	459	1220
45.80061	15.96848	Zagreb, Croatia	HRVATSKA ELEKTROPRIVREDA d.d.	Uredska Zgrada	10216	327	868

Y	X	Adresa	Naziv objekta	Vrsta objekta	Korisna površina hlađenja [m ²]	Energija za hlađenje [MWh/a]	Snaga za hlađenje [kW]
45.79909	15.97127	Zagreb, Croatia	Pucko otvoreno učiliste	Uredska Zgrada	9200	294	782
45.80207	15.97333	Zagreb, Croatia	Martinovka	Sportska dvorana	4212	164	337
45.79916	15.96941	Zagreb, Croatia	Veleposlanstvo Savezne Republike Njemačke	Uredska Zgrada	4290	137	365
45.79872	15.97086	Zagreb, Croatia	Boogaloo	Sportska dvorana	3030	118	242
45.80021	15.96899	Zagreb, Croatia	Raiffeisen bank	Uredska Zgrada	3246	104	276
45.79924	15.96837	Vrbik, 10000, Zagreb, Croatia	CROATIA LLOYD d.d.	Uredska Zgrada	2210	71	188
45.79867	15.97166	Zagreb, Croatia	Zavod za istraživanje i razvoj sigurnosti d.o.o.	Uredska Zgrada	2000	64	170
45.79855	15.97125	Zagreb, Croatia	Otvorena televizija	Uredska Zgrada	800	26	68
45.80151	15.97388	Zagreb, Croatia	Poslovna zgrada Croatia osiguranja	Uredska zgrada	13895	445	1181
45.80218	15.97517	Zagreb, Croatia	EUROCENTAR	Uredska zgrada	9378	300	797
45.79778	15.97002	Ul. Alexandra von Humboldta 6, 10000, Zagreb, Croatia	Veleposlanstvo Ujedinjene Kraljevine Velike Britanije i Sjeverne Irske	Uredska Zgrada	1500	48	128
45.79668	15.97013	Zagreb, Croatia	Fond za privatizaciju	Uredska Zgrada	8158	261	693
45.79346	15.96999	Zagreb, Croatia	City Plaza	Uredska Zgrada	54745	1752	4653
45.79234	15.96963	Zagreb, Croatia	Carnet	Uredska Zgrada	3231	103	275
45.79333	15.95982	Zagreb, Croatia	VIJESNIK	Uredska Zgrada	42242	1352	3591

3.3 Rezultati mapiranja potrošača i infrastrukture - EL-TO

Okolica postrojenja EL-TO koje se nalazi u zapadnom dijelu grada Zagreba ima znatno manje pogodnih potrošača za implementaciju sustava centraliziranog hlađenja. Slika 5. prikazuje postojeće stanje (slika lijevo) parovoda i lokacije potencijalnih potrošača u okolini postrojenja EL-TO Zagreb te prijedlog distribucije cjevovoda hladne vode (slika desno).



Slika 5. Postojeće stanje (lijevo) i prijedlog cjevovoda hladne vode (desno) u okolini postrojenja EL-TO

Karakteristike predloženog cjevovoda hladne vode su:

- Duljina cjevovoda hladne vode: 3.9 km
- Potrebna snaga priključenih potrošača: 17.684 kW
- Potrebna energija priključenih potrošača: 7.453 MWh

Tablica 10. prikazuje objekte u okolini postrojenja EL-TO te one koji bi se potencijalno jednostavno mogli spojiti na sustav centraliziranog hlađenja.

Za zgrade iz Tablica 10. označene s * nije realno očekivati da će u narednih 10 godina biti u mogućnosti spojiti se na sustav daljinskog hlađenja. Osnovni problem ovog fonda starih zgrada jest ne razvijen ventiloknovektorski sustav. Adaptacijom zgrada i izgradnjom ventilokonvektorskog sustava ovi potrošači postaju izrazito interesantni. Unatoč velikom potencijalu, prijedlog je da se Klinička bolnica Sveti Duh i KBC Sestre Milosrdnice nakon ostvarivanja uvjeta za vektilokonvektorsko hlađenje riješe dislociranom proizvodnjom rashladne energije u vlastitom prostoru. Navedeni bolnički centri predstavljaju izvanredan slučaj kao i već realiziran projekt KBC Rebro, zbog trenutno velike potrošnje pare za vlastite potrebe i dislociranog položaja pogodniji su za dislociranu proizvodnju rashladne energije.

Tablica 10. Popis potencijalnih potrošača u okolici postrojenja EL-TO

Y	X	Adresa	Naziv objekta	Vrsta objekta	Korisna površina hlađenja [m ²]	Energija za hlađenje [MWh/a]	Snaga za hlađenje [kW]	Komentar
45.81474	15.94568	Vukasoviceva ul.	VMD	Uredska zgrada	17120	548	1455	-
45.81275	15.94426	Ilica 197	KBC SM - Klinika za tumore - KOMPLEKS	Bolnica	5566	206	417	-
45.80852	15.94987	Magazinska ul. 69	Raiffeisen Bank	Uredska zgrada	17822	570	1515	-
45.80769	15.95181	Trg Krešimira Čosića 11	Dom sportova	Sportska dvorana	13956	544	1116	-
45.80573	15.95233	Trg Krešimira Čosića 9	Panorama	Uredska zgrada	22042	705	1874	-
45.81991	15.93885	Sveti Duh 64	Klinička bolnica Sveti Duh – KOMPLEKS *	Bolnica	24247	897	1818	Nije realno
45.81612	15.93826	Črnomerec 6	Vojarna HVU Petar Zrinski 8 *	Uredska zgrada	19865	636	1689	Nije realno
45.81341	15.94675	Ilica 224	ZAGREBACKA PIVOVARA d.d. *	Uredska zgrada	40352	1291	3430	Nije realno
45.81011	15.94774	Vodovodna ul. 18	Franck 1 *	Uredska zgrada	17436	558	1482	Nije realno
45.81022	15.94712	Vodovodna ul. 18	Franck 2 *	Uredska zgrada	9699	310	824	Nije realno
45.81571	15.9519	Vinogradska 29	KBC Sestre Milosrdnice – Kompleks *	Bolnica	52482	1942	3936	Nije realno

4. PRIKAZ TEHNOLOGIJA I NAČINA PROIZVODNJE RASHLADNE ENERGIJE

4.1 Uvod

Sustavi daljinskog hlađenja manje su zastupljeni u odnosu na sustave daljinskog grijanja, no postoji više razloga radi kojih postaju sve atraktivniji [16]:

- povećanje potreba za hlađenje poslovnih zgrada zbog velikih toplinskih dobitaka takvih objekata (velike ostakljene površine pročelja zgrada, viši stupanj toplinske izolacije zgrada, više ugrađene elektroničke opreme itd.),
- potreba za višom toplinskom ugodnosti boravka u prostoru,
- teret opskrbe rashladnom energijom i teret održavanja sustava hlađenja se prebacuje s potrošača na proizvođača rashladne energije,
- mogućnost iskorištenja otpadne topline iz kogeneracijskih postrojenja te povećanje njene iskoristivosti.

U slučaju kada je krug proizvodnje rashladne energije neposredno spojen s krugom potrošača putem distribucijskog sustava (bez izmjenjivača topline) govori se o direktnom sustavu daljinskog hlađenja. Nasuprot tome, kad je krug proizvodnje i distribucije rashladne energije razdvojen od kruga potrošača putem izmjenjivača topline radi se o posrednom sustavu daljinskog hlađenja.

Zahtjevi za kvalitetom vode i razine tlaka isti su za krug distribucije i krug potrošača u slučaju direktnog sustava. Prednosti takvog sustava očituju se manjim investicijskim troškovima; nema izmjenjivača topline, rashladne podstanice, sustava za obradu vode u krugu potrošača te troškova održavanja u krugu potrošača. Nedostaci direktnog sustava se očituju u istim tlakovima koji vladaju u krugu distribucije rashladnog učinka i potrošača, veća mogućnost oštećenja sustava te potreba za obradom vode u centralnom rashladnom postrojenju.

Posredan sustav daljinskog hlađenja omogućuje da krug distribucije i potrošača rade u različitim temperaturnim režimima i tlakovima omogućujući time veću fleksibilnost pri projektiranju i upravljanju sustava. Kombinacija između posrednog i neposrednog sustava hlađenja također je moguća, posebice u slučajevima visokih zgrada gdje se sustav hlađenja za katove zgrade do 60 m visine povezuje neposredno, a za katove iznad 60 m posredno. [16]

Sljedeće smjernice mogu poslužiti za određivanje kada je vezu sustava proizvodnje i potrošnje poželjno izvesti posrednim ili neposrednim putem [16]:

- zgrade sa sustavom hlađenja projektiranim za tlakove više od 1.000 kPa, a uz visinu ne višu od 60 m mogu biti izvedene neposrednim putem, a za visine veće od 60 m posrednim putem,
- zgrade sa sustavom hlađenja projektiranim za tlakove manje od 1.000 kPa, moraju biti izvedene posrednim putem ili se postojeće komponente sustava moraju izvesti za viši tlak kako bi se omogućio izravni priključak.

Rashladnu energiju moguće je proizvoditi na više načina,:

- slobodnim hlađenjem (zrakom, vodom ili tlom, rashladnim tornjevima),
- kompresijskim rashladnim uređajima pogonjenim električnom energijom ili parom,
- apsorpcijskim rashladnim uređajima.

4.1.1 Slobodno hlađenje

Slobodno hlađenje se odnosi na izvore hlađenja niže temperature od medija kojim se rashladni učinak prenosi do potrošača; poput zraka niske temperature u zimskom razdoblju ili vode iz rijeke, jezera ili mora. Rashladni tornjevi također mogu omogućiti slobodno hlađenje osobito u suhim uvjetima ili mogu barem predhladiti vodu kako bi se smanjilo opterećenje rashladnih uređaja. Moguće je i slobodno hlađenje pomoću uskladištenog leda (npr. od čišćenja prometnica zimi) koji se onda u toplijim razdobljima može koristiti kao izvor rashladne energije. [17]

4.1.2 Kompresijski rashladni uređaji

U sustavima daljinskog hlađenja za potrebe hlađenja vode kojom se distribuira rashladna energija od proizvođača do potrošača, najčešće se koriste centrifugalni kompresijski rashladnici vode pogonjeni električnom energijom. Centrifugalni rashladnici vode posjeduju rashladni krug koji se sastoji od mehaničkog centrifugalnog kompresora, kondenzatora, ekspanzijskog ventila te isparivača. Centrifugalne rashladne uređaje najčešće pokreće električna energija, prirodni plin ili para. Uobičajeni faktor hlađenja kompresijskih rashladnih uređaja pogonjenih električnom energijom kreće se u zavisnosti o načinu hlađenja kondenzatora između 3 i 6 [18]. Faktor hlađenja centrifugalnih rashladnika vode pokretanih parnom turbinom dvostruko je manji, a cijenom dvostruko skuplji od onih pokretanih elektromotorom.

4.1.3 Apsorpcijski rashladni uređaji

Danas se u praksi primjenjuju dvije osnovne vrste konfiguracije apsorpcijskih rashladnika vode: jednostupanjski i dvostupanjski. Mehanički rad koji se kod kompresijskih rashladnih uređaja troši za pogon kompresora ovdje je zamijenjen toplinskom energijom. Obično se radi o vreloj vodi ili pari koja se dovodi u kuhalo apsorpcijskog rashladnog uređaja. Za potrebne temperature hlađenja niže od 0°C radna tvar je mješavina amonijaka i vode (NH₃/H₂O) gdje je amonijak radna tvar, a voda apsorpcijska tvar. U slučaju hlađenja na temperature više od 0°C koristi se mješavina vode i litijbromida (H₂O/LiBr) gdje je voda radna tvar.

Kod jednostupanjskog apsorpcijskog rashladnog uređaja, u kuhu se zagrijavanjem obogaćene smjese amonijaka i vode iz otopine izdvaja amonijak koji potom kondenzira u kondenzatoru i predaje toplinu okolini. Amonijak se tada prigušuje na niži tlak te se odvodi u isparivač, gdje preuzima toplinu iz hlađene prostorije ili robe. Osiromašena radna tvar (pretežno voda) iz kuhala se prigušuje i odvodi u apsorber gdje apsorbera paru amonijaka pristiglu iz isparivača pri čemu se zagrijava. Apsorber se pritom hladi, uglavnom istim medijem (zrakom ili vodom) kojim se hladi kondenzator. Obogaćena otopina transportira se pumpom prema kuhu gdje se ponovno zagrijava.

Princip rada dvostupanjskog apsorpcijskog uređaja sličan je jednostupanjskom, ali postiže se veća učinkovitost topline u kondenzatoru dijeljenjem kuhala na ono koje radi pri visokim temperaturama i pri niskim temperaturama. Dvostupanjski apsorpcijski uređaji također koriste više tlakove pare. Učinkovitost dvostupanjskog apsorpcijskog uređaja je oko 40 do 50% veća od jednostupanjskog. Također, danas su napredni sustavi regulacije omogućili mnogo lakše upravljanje apsorpcijskim rashladnim uređajima i postizanje više učinkovitosti. [19]

U sljedećoj tablici prikazane su osnovne karakteristike apsorpcijskih rashladnih uređaja [18].

Tablica 11. Karakteristike jednostupanjskih apsorpcijskih rashladnih uređaja

Karakteristika	Apsorpcijski rashladni uređaj NH ₃ /H ₂ O	Apsorpcijski rashladni uređaj H ₂ O/LiBr
način pogona toplinskog kompresora	kontinuirani	kontinuirani
Svojstva		
otrovnost	visoka	niska
korozivnost	visoka	vrlo visoka
zapaljivost	visoka	-
temperaturna stabilnost	do 180°C	120 – 130°C
tlakovi	≥20 bar	< 1 bar
topljivost	dobra	loša
potreba za rektifikacijom	da	obično ne
COP	0,35 – 0,65	0,55 – 0,8
Temperaturni režimi		
temperature toplinskog izvora	100-160°C	75-140°C
temperatura medija (ulaz)	15-45°C	15-45°C
temperatura medija (izlaz)	-50-5°C	5-25°C

4.1.4 Skladištenje rashladne energije

Sustav daljinskog hlađenja može biti izveden sa spremnikom za pohranu rashladne energije čime se mogu pokriti vršna opterećenja. Na taj način se omogućava da rashladni uređaji budu dimenzionirani za opterećenja bliža prosječnim nego vršnim što znači i manje dimenzije rashladnih uređaja. Mogu se koristiti spremnici za pohranu rashladne energije u vodi ili ledu (banke leda). Temperature u spremnicima za pohranu rashladne energije u vodi su uglavnom iznad 4°C, dok su kod banki leda temperature između 0,5 i 1°C. Banke leda stoga zahtijevaju temperature radne tvari ispod 0°C. Uobičajeni raspon je od -3 do -9°C. Volumen skladištenja ovisi o razlici temperatura između isporučene vode iz spremnika i povratne vode. Za većinu sustava ta razlika temperatura je maksimalno 11°C. Pohrana rashladne energije u obliku leda zahtijeva oko 25% volumena spremnika nego u slučaju kada se energija skladišti u obliku hladne vode. S druge strane kod banki leda, konvencionalni rashladni uređaji rade s manjim faktorom hlađenja (2,5-4,1) u odnosu na spremnike s hladnom vodom (5,0-5,9). [16]

4.2 Decentralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom – Radnička cesta

Modeli i simulacija napravljeni su uz pomoć programskog paketa TRNSYS 17 (Transient System Simulation). TRNSYS je fleksibilan grafički program koji se koristi za simulaciju ponašanja tranzijentnih pojava u sustavima. Većina programa i simulacija koristi se za procjenu uspješnosti toplinske i električne energije sustava, no TRNSYS se može jednako dobro koristiti i za modeliranje ostalih dinamičkih sustava (tijek prometa, biološki procesi itd.). TRNSYS se sastoji od dva dijela. Prvi dio sustava je srce programa (kernel) koji čita i obrađuje ulaznu datoteku, iterativno rješava sustav, određuje konvergencije i plota varijable sustava. Također pruža i alate koji određuju termofizikalna svojstva, obavljaju linearnu regresiju i interpoliraju vanjske datoteke s podacima. Drugi dio sustava je opsežna knjižnica komponenata. Standardna knjižica uključuje oko 150 modela (vremenski podaci, elementi opreme za sustave grijanja, ventilacije i klimatizacije itd.). Modeli su napravljeni tako da korisnik može bilo kada promijeniti postojeću komponentu ili napraviti novu komponentu i integrirati je u sustav. [20] Tablica 12. prikazuje sve korištene komponente (iz programa TRNSYS) u modelima.

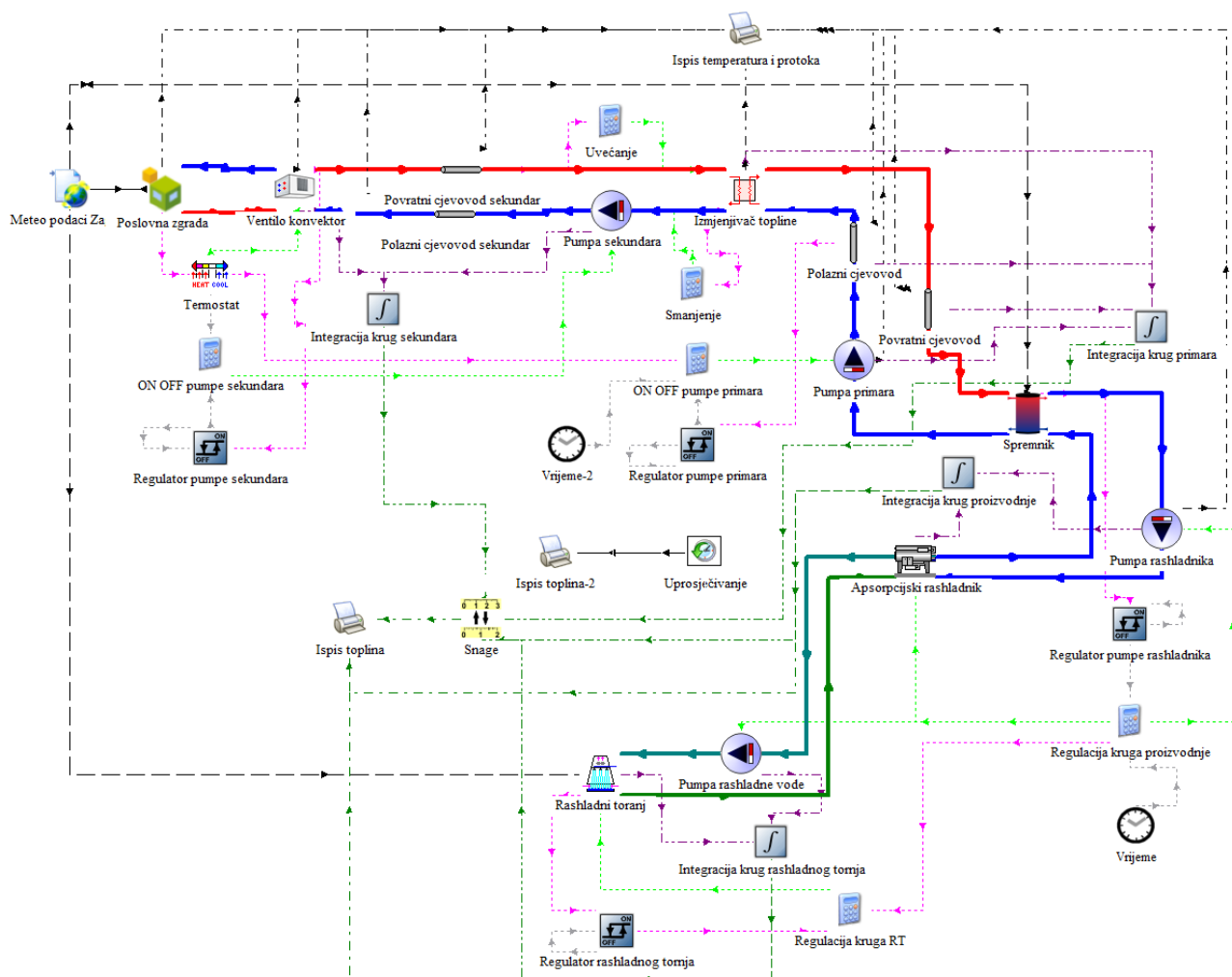
Tablica 12. Korištene komponente u modelima

Komponenta u TRNSYS-u	Naziv
Type 15-6	Meteoronom, meteorološki podaci
Type 56	Zgrada
Type 25e	Pisač (ispis) rezultata
Type 987	Ventilokonvektor
Type 5b, Type 5g	Izmjenjivači topline
Type 31	Cjevovodi
Type 60f	Spremnik
Type 676, Type 107	Apsorpcijski rashladni uređaj
Type 666	Kompresijski rashladni uređaj
Type 51a	Rashladni toranj
Type 110	Pumpe
Type 108	Termostat
Type 24	Integrator
Type 9c	Čitač podataka
Type 2b	Regulatori

Komponenta u TRNSYS-u	Naziv
Type 21	Vrijeme (sezona hlađenja)
Type 11b, Type 647, Type 649	Razdjelnici
Type 939	Uprosječivanje podataka
Type 57	Pretvarač mjernih jedinica

4.2.1 Opis modela – proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom, Radnička cesta

Na sljedećoj slici prikazan je model sustava decentralizirane proizvodnje rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom za potrošače u Radničkoj ulici.



Slika 6. Model sustava daljinskog hlađenja – decentralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom, Radnička cesta

Površine i volumeni potencijalnih potrošača rashladne energije prepoznatih i popisanih u poglavlju 4. iskorišteni su kao ulazni podaci za modeliranje potrošnje rashladnom energijom. Model zgrade napravljen je na osnovu referentne zgrade opisane u poglavlju 4. Površine potencijalnih potrošača množene su s faktorom 0,7, odnosno umanjene su za 30%. Time se ne uzimaju u obzir površine hodnika i eventualnih prostorija u zgradama koje se ne hlade. Na temelju tih reduciranih površina i prosječne vrijednosti rashladnog učina (snage) svih vrsta zgrada od 70 W/m^2 iz Tablica 5. u poglavlju 4., izračunata je ukupna potrebna rashladna snaga. Ukupna reducirana površina svih promatranih zgrada je podijeljena s vrijednosti korisne površine uredske zgrade od 1.000 m^2 (ostale karakteristike zgrade uzete su prema propisima iz područja energetske učinkovitosti - Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja) te je dobiven faktor 229,74. S tim faktorom u modelu se uzimaju u obzir sve promatrane zgrade u Radničkoj ulici (samo zgrade s potrebnim vršnim rashladnim učinkom višim od 100 kW) budući da je u komponenti Type 56 definirana jedna referentna zgrada. To se radi na način da se protok vode na ulazu u izmjenjivač topline u sekundarnom krugu množi s faktorom 229,74, dok se na izlazu dijeli s istim tim faktorom. Komponenta Type 56 (zgrada) definira dinamiku toplinskog ponašanja objekta. Model promatranog objekta se radi u posebnom programu TRNbuild koji obrađuje datoteku koja sadrži opis zgrade koju će onda koristiti komponenta Type 56 (zgrada) tijekom simulacije sustava. Datoteka sadrži podatke o referentnom tipu zgrade (koeficijenti prolaza topline, dimenzije, ostakljenje, toplinski dobici itd.) prema propisima iz područja energetske učinkovitosti (Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja). Komponenta Type 15-6 (Meteoronom) ima za zadaću učitavanje meteoroloških podataka za grad Zagreb. Iz komponente Type 15-6 (Meteoronom) šalju se informacije prema modelu zgrade (vanjska temperatura zraka, relativna vlažnost, sunčevo zračenje, efektivna temperatura neba, itd.) te informacija o vanjskoj temperaturi zraka prema spremniku (Type 60f) i rashladnom tornju (Type 51a). Informaciju o temperaturi zraka u zgradi (Type 56) dobiva komponenta Type 108 (termostat) te preko regulatora pumpe sekundara (Type 2b) koji dobiva i informaciju o povratnoj temperaturi vode iz ventilokonvektora (Type 987) šalje signal pumpi u sekundarnom krugu (Type 110) koja prilagođava protok vode prema ventilokonvektoru koji je povezan s Type 56 (zgrada) te predaje zraku u zgradi odgovarajući rashladni učinak. Pomoću regulatora pumpe primara koji dobiva informaciju o temperaturi zraka u zgradi i polaznoj temperaturi vode iz spremnika prema izmjenjivaču, upravlja se pumpom u primarnom krugu koja onda prilagođava protok vode prema izmjenjivaču topline. Regulacija pumpe rashladnika u krugu proizvodnje riješena je pomoću regulatora pumpe rashladnika (Type 2b-3) te komponente Type 21 (vrijeme) u kojoj je definirana sezona hlađenja. Regulator pumpe rashladnika dobiva informaciju o izlaznoj temperaturi vode iz spremnika i informaciju o satu u godini od komponente Type 21 (vrijeme) te šalje signal pumpi rashladnika u krugu proizvodnje. Informaciju o sezoni hlađenja iz

komponente Type 21 (vrijeme) dobivaju još apsorpcijski rashladni uređaj i pumpa rashladne vode u krugu rashladnog tornja. Cjevovod u primarnom i sekundarnom krugu simulira se preko komponente Type 31 (polazni i povratni cjevovod primar/sekundar). Rashladna energija proizvodi se preko apsorpcijskog rashladnog uređaja (Type 676) koji je povezan s akumulacijskim spremnikom u krugu proizvodnje. Kondenzator apsorpcijskog rashladnog uređaja hlađen je vodom preko rashladnog tornja (Type 51a). Pogon ventilatora rashladnog tornja upravljani je preko regulatora rashladnog tornja koji dobiva informaciju o temperaturi rashladne vode. Sve komponente u modelu povezane su na komponentu Type 25e (ispis protoka, temperatura, energija), a za pretvorbu mjernih jedinica koristi se komponenta Type 57 (pretvarač mjernih jedinica).

Od Tablica 13. do

Tablica 23. navedeni su najvažniji parametri komponenata korištenih u modelu.

Tablica 13. Apсорpcijski rashladni uređaj (Type 676)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Kapacitet hlađenja	13.956	kW
COP	1,3	-
Potrošnja električne energije za pogon pumpi	34,8	kW
Ulazna temperatura pare	175,4	°C
Ulazni tlak pare	8	bar

Odabran je apсорpcijski rashladni uređaj IFA BS 1200 tvrtke Afaja [21].

Tablica 14. Rashladni toranj (Type 51a)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Broj ćelija tornja	4	-
Max protok po ćeliji	404.280	m ³ /h
Snaga ventilatora (pri max protoku)	55	kW

Odabran je rashladni toranj AT/UAT 114 - 1224 tvrtke Evapco [22].

Tablica 15. Spremnik (Type 60f)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Volumen spremnika	75	m ³
Visina spremnika	5	m

Tablica 16. Izmjenjivač topline (Type 5b)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Ulazna temperatura vode na strani primara	4,5	°C
Ulazni maseni protok vode na strani primara	21.600	kg/h

Tablica 17. Ventilokonvektor (Type 987)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Volumni protok zraka	1.875	m ³ /h
Maseni protok vode	914	kg/h
Korisnost elektromotora	0,9	-

Tablica 18. Pumpa rashladne vode u krugu rashladnog tornja (Type 110)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Maseni protok vode	3.746.000	kg/h
Snaga pumpe	189	kW
Korisnost pumpe	0,72	-
Korisnost elektromotora	0,958	-

Odabrana je pumpa rashladne vode u krugu rashladnog tornja HS 350-300-508 5/1-F-A-BBVP proizvođača Grundfos [23].

Tablica 19. Pumpa rashladnika u krugu proizvodnje (Type 110)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Maseni protok vode	1.680.000	kg/h
Snaga pumpe	55	kW
Korisnost pumpe	0,725	-
Korisnost elektromotora	0,944	-

Odabrana je pumpa rashladnika u krugu proizvodnje NBG 300-250-350/330 AS-F2-B-BAQE proizvođača Grundfos [23].

Tablica 20. Pumpa primarnog kruga (Type 110)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Maseni protok vode	1.680.000	kg/h
Snaga pumpe	540	kW
Korisnost pumpe	0,802	-
Korisnost elektromotora	0,9	-

Odabrana je pumpa primarnog kruga HS 300-200-489 5/1-F-B-BBVP proizvođača Grundfos [23].

Tablica 21. Pumpa sekundarnog kruga (Type 110)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Maseni protok vode	7.312	kg/h
Snaga pumpe	0,75	kW
Korisnost pumpe	0,486	-
Korisnost elektromotora	0,763	-

Odabrana je pumpa sekundarnog kruga CRE 5-5 A-FGJ-A-E-HQQE proizvođača Grundfos [23].

Tablica 22. Polazni i povratni cjevovod primarnog kruga (Type 31)

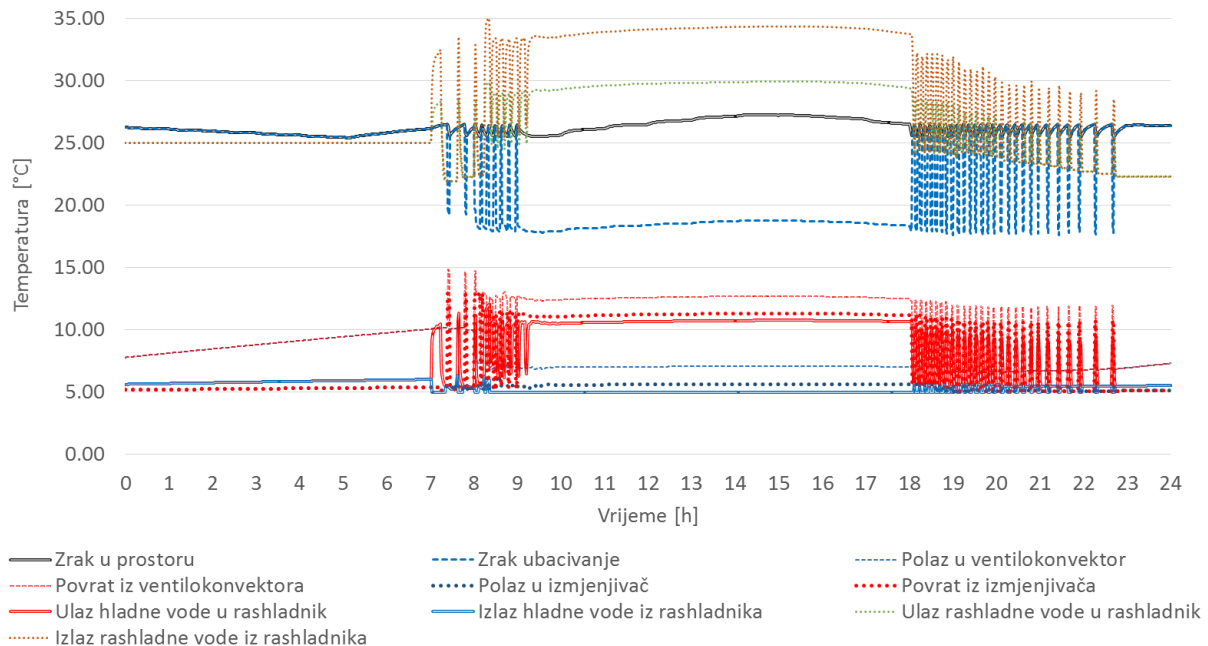
PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Unutarnji promjer cjevovoda	0,419	m
Duljina cjevovoda (polaz i povrat)	2.690	m
Koeficijent gubitaka	2	kJ/hm ² K

Tablica 23. Polazni i povratni cjevovod sekundarnog kruga (Type 31)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Unutarnji promjer cjevovoda	0,1	m
Duljina cjevovoda	100	m
Koeficijent gubitaka	2	kJ/hm ² K

Slika 7. predstavlja temperaturne odzive sustava proizvodnje, distribucije i potrošnje rashladne energije tijekom kritičnog dana sezone hlađenja. Dinamika sustava potrošnje, a samim time i ostalih sustava uvjetovana je unutarnjim opterećenjima zgrade poput rasvjete, računalne opreme, ljudi te uvjetima okoliša, prvenstveno Suncem. Tijekom dana naizmjenično se pojavljuju tri slučaja rada sustava različitog vremena trajanja. Unutar prvih 7 sati dana sustav ne radi, temperatura u zgradi niža je od postavne temperature (26°C). Nakon toga, sljedećih dva sata vidljiv je isprekidan rad sustava.

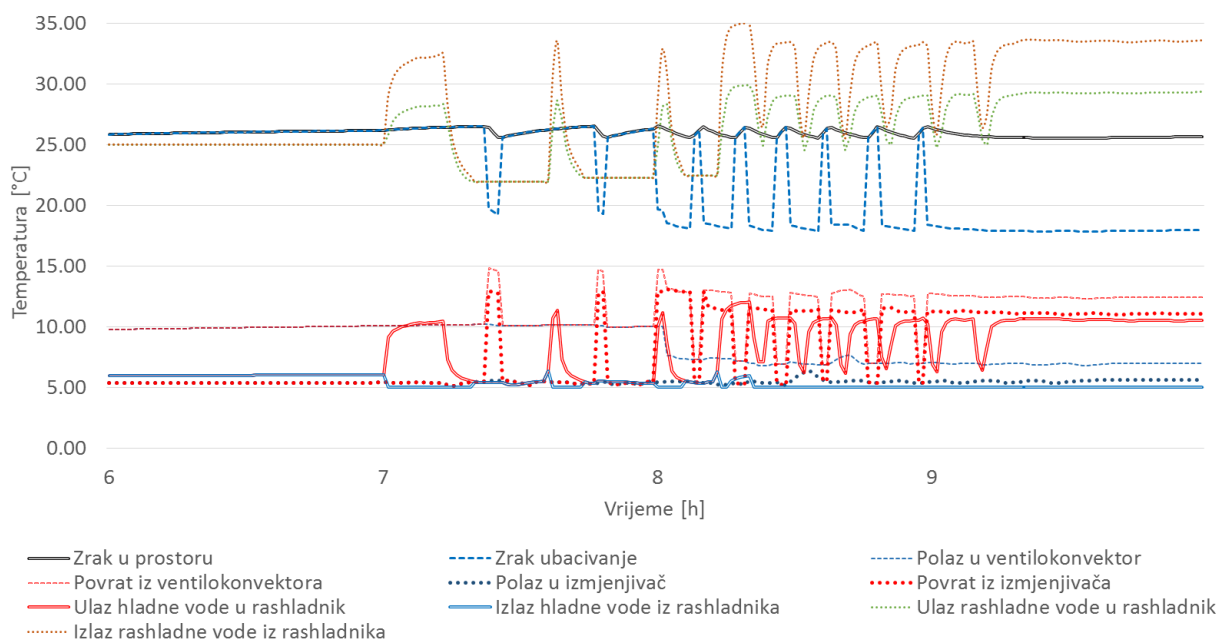
Za to vrijeme rad sustava potrošnje i proizvodnje rashladne energije nije u fazi, a uzrok je akumulirana rashladna energija u cjevovodu. Od 10 do 18 sati sustav radi kontinuirano, nakon čega sljedećih pet sati radi isprekidano. Maksimalna temperatura zraka u prostoriji raste do 27,25°C nakon čega počinje opadati i održava se u zadanim granicama.



Slika 7. Temperaturni odzivi sustava proizvodnje, distribucije i potrošnje rashladne energije za slučaj decentraliziranog hlađenja Radničke ulice (19. kolovoza)

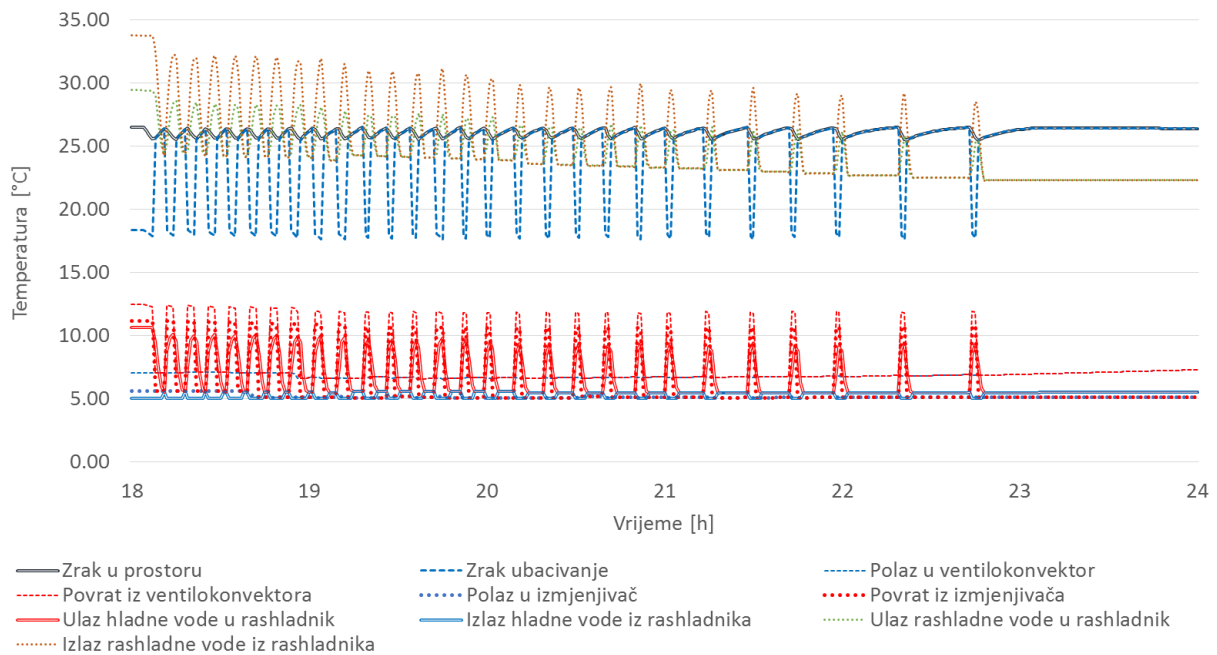
Slika 8. prikazuje diskontinuirani rad sustava u jutarnjim satima. Takvo ponašanje sustava uzrokovano je slobodnim hlađenjem zgrade tijekom noći i malim solarnim dobitcima u jutarnjim satima pa sustav vrlo efikasno i u kratkom vremenu zadovoljava potrebe zgrade. Sustav hlađenja unutar zgrada ne radi do 7:50 sati, dok se sustav proizvodnje rashladne energije pali u 7:02 sati. Uzrok paljenja pumpe u krugu hladne vode, a samim time i paljenja sustava proizvodnje jest, porast temperature vode i prekoračenje postavne temperature na ulazu u rashladnik (6°C). Premašivanjem postavne temperature hlađenja u zgradi (26°C) pali se njen sustav hlađenja čime ujedno dolazi do porasta temperature hladne vode na izlazu iz izmjenjivača u krugu primara. Taj porast temperature ima za posljedicu paljenje pumpe u krugu primara. Za to vrijeme sustav proizvodnje rashladne energije ne radi zbog „kašnjenja“, povratne informacije. Duljina cjevovoda i prethodno akumulirana hladna voda u povratnom dijelu cjevovoda dovode do kašnjenja odziva s obzirom na uneseni poremećaj. Uslijed kašnjenja odziva sustav proizvodnje rashladne energije pali se 20 minuta kasnije. Sustav se stabilizira i počinje kontinuirano raditi od 10 sati. Toplina uskladištena u ovojnicu zgrade i

ostale masivne elemente u zgradi te pojava većih solarnih dobitaka uzrokuju povećanu i kontinuiranu potrebu za hlađenjem zgrade. Takvi zahtjevi na hlađenje zgrade uzrokuju i konstantan rad sustava proizvodnje što je vidljivo na Slika 8. Pumpa u krugu primara radi od 8 do 18 sati bez prestanka, neovisno o potrebama hlađenja zgrade. Razlog ovakve regulacije pumpe primara jest skladištenje rashladne energije u distribucijski cjevovod.



Slika 8. Diskontinuirani rad sustava u jutarnjim satima za slučaj decentraliziranog hlađenja Radničke ulice

Slika 9. prikazuje diskontinuirani rad sustava u večernjim i noćnim satima kritičnoga dana. Iako su solarni dobici u ovim satima mali i u zgradi ne postoje značajni unutarnji dobici izvan radnog vremena, potreba za hlađenjem prostora i dalje postoji. Uzrok ovakvog ponašanja sustava je toplina koja se akumulira tijekom dana unutar zgrade. Vidljivo je kako sustav proizvodnje rashladne energije i sustav hlađenja u zgradama u ovim satima rade usklađeno zbog nebivanja akumulirane rashladne energije u cjevovodima. Također, očigledno je skraćivanje vremena pogona sustava proizvodnje i sustava hlađenja zgrade kroz vrijeme. Reduciranje vremena pogona obaju sustava je i očekivano s obzirom da ne postoji dodatna akumulacija topline u zgradi već samo njeno odvođenje. Nakon 23 sata sustavi miruju.



Slika 9. Diskontinuirani rad sustava u večernjim i noćnim satima za slučaj decentraliziranog hlađenja Radničke ulice

4.2.2 Rezultati simulacije – proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenih vodenom parom – Radnička cesta

Tablica 24. i Tablica 25. prikazuju rezultate simulacije odnosno mjesečne podatke o potrošnji energije za slučaj proizvodnje rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima na paru za potrošače u Radničkoj ulici. Maksimalne vrijednosti unutar pojedinog mjeseca prikazane su u Tablica 26. Slika 10. daje dijagramski prikaz potrošnje energije, dok Slika 11. i Slika 12. prikazuju udjele potrošnje energenata.

Tablica 24. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja - topline

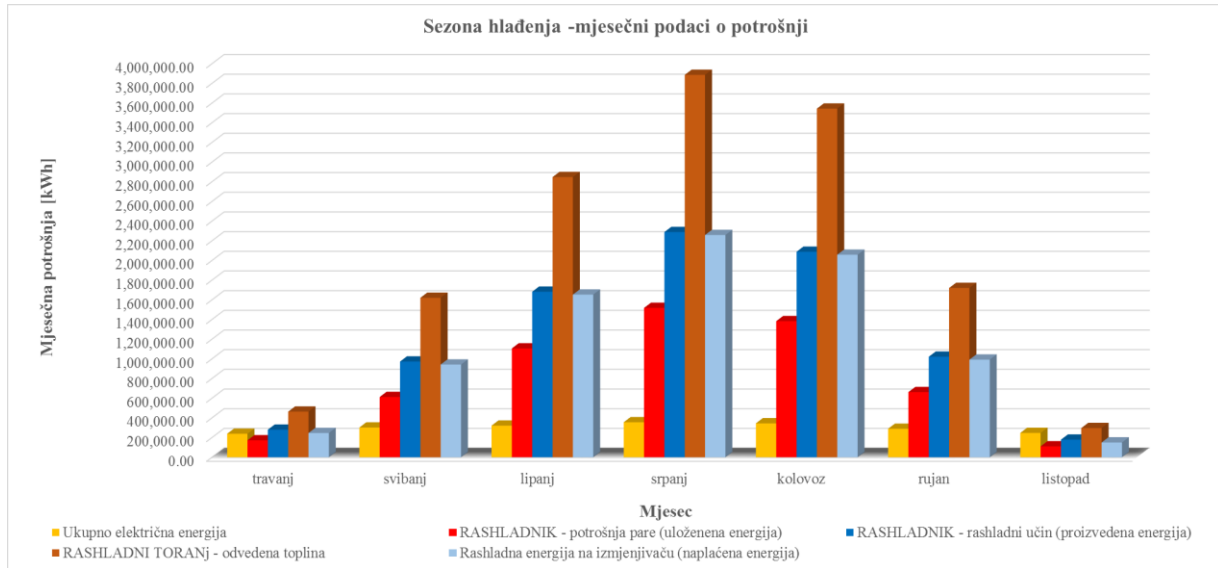
Mjesečni podaci o potrošnji za vrijeme sezone hlađenja							
TOPLINE							
	Apsorpcijski rashladnik - potrošnja pare (uložena energija)		COP	Apsorpcijski rashladnik - rashladni učin (proizvedena energija)	Rashladni toranj- odvedena toplina	Rashladna energija na izmjenjivaču (naplaćena energija)	Rashladna energija na ventilokonvektorima
	t/mj	kWh/mj	-	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj
travanj	254,78	172.517,20	1,62	280.104,10	463.872,94	246.531,66	201.760,76
svibanj	904,54	612.492,82	1,59	972.756,26	1.621.164,96	942.629,19	850.684,78
lipanj	1.633,91	1.106.376,10	1,52	1.682.740,52	2.848.279,53	1.653.390,59	1.559.572,08
srpanj	2.242,53	1.518.496,68	1,51	2.289.509,14	3.887.039,02	2.259.368,78	2.155.198,76
kolovoz	2.043,30	1.383.588,09	1,51	2.088.959,75	3.544.119,69	2.058.740,72	1.957.200,92
rujan	978,20	662.373,87	1,54	1.021.759,50	1.720.770,57	992.583,49	913.163,94
listopad	163,87	110.963,84	1,61	178.854,05	296.698,99	150.410,05	99.734,40
UKUPNO	8.221,12	5.566.808,61	-	8.514.683,33	14.381.945,70	8.303.654,47	7.737.315,66

Tablica 25. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja – električna energija i voda

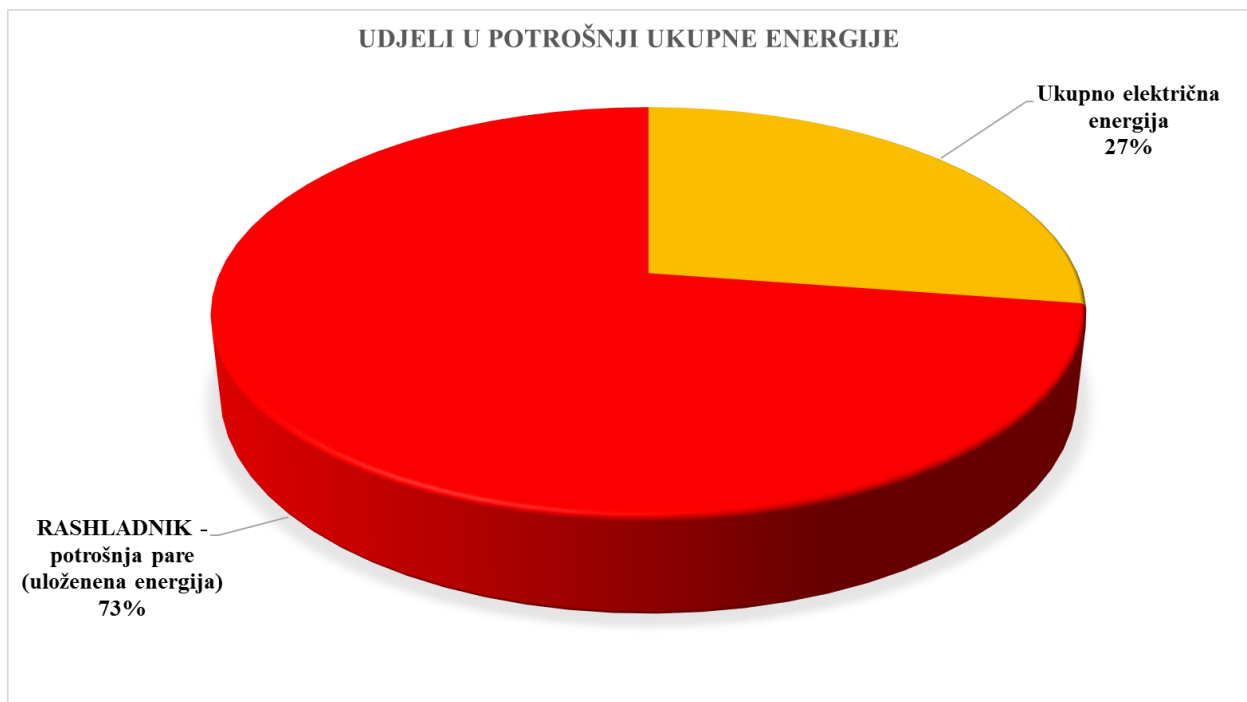
Mjesečni podaci o potrošnji za vrijeme sezone hlađenja							
ELEKTRIČNA ENERGIJA							VODA
Ventilatori (rashladni toranj)	Pumpa rashladne vode	Potrošnja rashladnika	Pumpa - krug hladne vode	Pumpa primar	Ukupno -električna energija	Dopuna rashladnog tornja	
kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	m ³ /mj	
travanj	50.533,74	10.910,56	2.008,93	3.175,03	172.515,13	239.143,38	600,73
svibanj	65.096,56	31.584,02	5.815,47	9.191,12	190.509,14	302.196,31	2.088,05
lipanj	71.971,53	45.473,43	8.372,89	13.233,01	182.298,13	321.348,99	3.671,59
srpanj	81.830,60	56.504,74	10.404,05	16.443,18	190.872,14	56.054,71	5.069,97
kolovoz	79.466,82	52.871,74	9.735,11	15.385,96	187.425,14	344.884,77	4.523,46
rujan	63.236,92	32.315,87	5.950,22	9.404,09	178.509,13	289.416,24	2.107,79
listopad	52.358,55	7.233,46	1.331,87	2.104,97	184.140,13	247.168,98	349,18
UKUPNO	464.494,73	236.893,82	43.618,54	68.937,36	1.286.268,93	2.100.213,38	18.410,77

Tablica 26. Maksimalne vrijednosti unutar pojedinog mjeseca

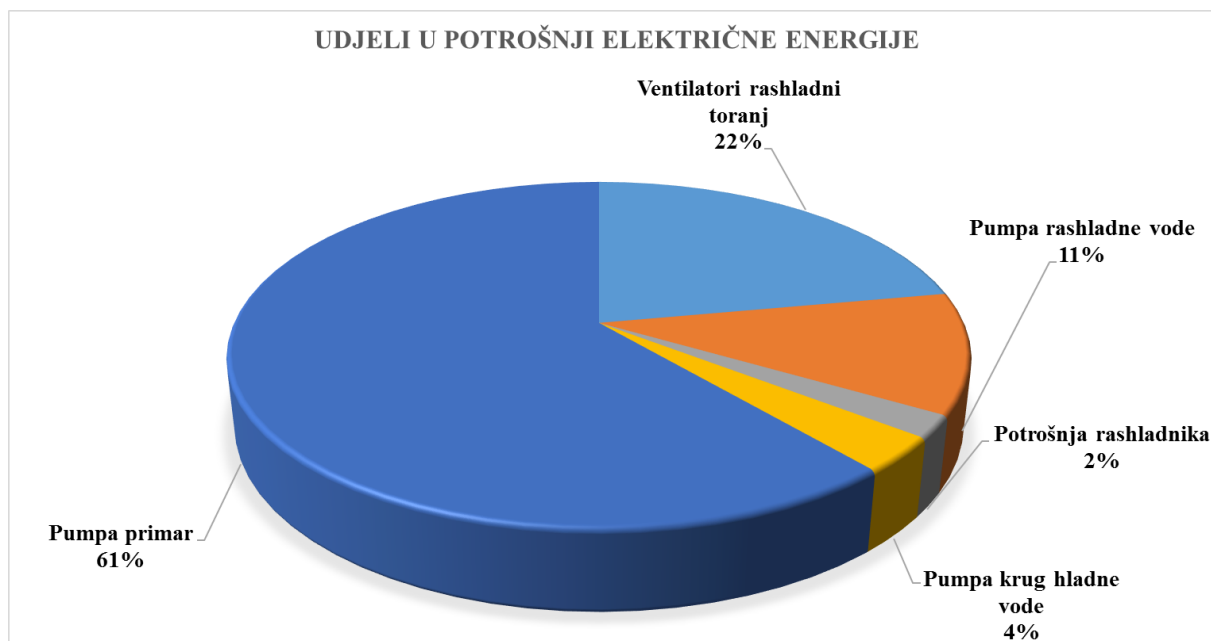
	Maksimalne vrijednosti unutar pojedinog mjeseca				
	Rashladno opterećenje – Apsorpcijski rashladnik [MW]	Predano ventilokonvektori - Potrošači [MW]	Električna energija [MW]	Para [t/h]	Voda [m ³]
travanj	15,6	10,4	0,996	14,4	28,0
svibanj	15,6	10,6	0,996	14,9	30,7
lipanj	15,6	11,3	0,996	15,6	28,2
srpanj	14,3	11,9	0,996	15,5	28,6
kolovoz	14,1	12,1	0,996	15,2	28,8
rujan	15,4	12,0	0,996	15,4	28,4
listopad	15,6	12,1	0,996	14,4	28,8



Slika 10. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja



Slika 11. Udjeli u potrošnji ukupne energije



Slika 12. Udjeli u potrošnji električne energije

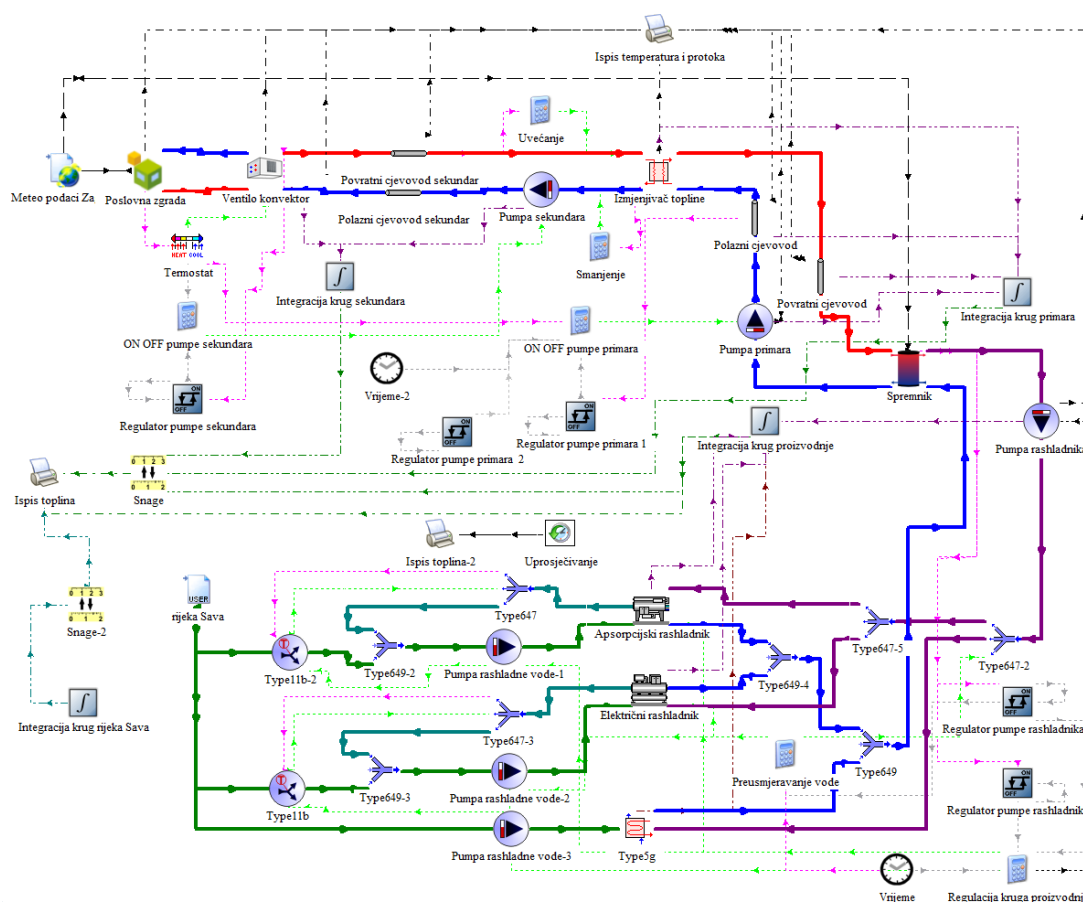
4.3 Centralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE-TO – Radnička cesta

Modeli i simulacija napravljeni su uz pomoć programskog paketa TRNSYS 17 (Transient System Simulation). Komponente korištene u modelima centralizirane proizvodnje rashladne energije navedene su u Tablica 12.

Za slučaj centralizirane proizvodnje rashladne energije napravljen je model proizvodnje rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima (u kombinaciji s kompresijskim rashladnim uređajima i neposrednim hlađenjem iz rijeke Save) na lokaciji TE-TO u Zagrebu.

4.3.1 Opis modela - proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE-TO – Radnička cesta

Slika 13. prikazuje model sustava centralizirane proizvodnje rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE-TO za potrošače uz Radničku ulicu.



Slika 13. Model sustava daljinskog hlađenja - centralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE-TO – Radnička cesta

Iz poglavlja 4. preuzete su površine i volumeni potencijalnih potrošača rashladne energije, a model zgrade je napravljen na osnovu referentne zgrade u poglavlju 4. Površine potencijalnih potrošača iz poglavlja 4. su množene faktorom 0,7 odnosno umanjene su za 30% te se time ne uzimaju u obzir površine ne hlađenih hodnika u zgradama. Na temelju tih reduciranih površina i prosječne vrijednosti rashladnog učina (snage) svih vrsta zgrada od 70 W/m² iz Tablica 5. u poglavlju 4., izračunata je ukupna potrebna rashladna snaga. Ukupna reducirana površina svih promatranih zgrada je podijeljena s vrijednosti korisne površine uredske zgrade od 1.000 m² (ostale karakteristike zgrade uzete su prema propisima iz područja energetske učinkovitosti - Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja) te je dobiven faktor 229,74. S tim faktorom u modelu se uzimaju u obzir sve promatrane zgrade u Radničkoj ulici (zgrade iznad 100 kW) budući da je u komponenti Type 56 definirana jedna referentna zgrada. To se radi na način da se protok vode na ulazu u izmjenjivač topline u sekundarnom krugu množi s faktorom 229,74, dok se na izlazu dijeli s istim tim faktorom. Komponenta Type 56 (zgrada) definira dinamiku toplinskog ponašanja objekta. Model promatranog objekta se radi u posebnom programu TRNbuild koji obrađuje datoteku koja sadrži opis zgrade koju će onda koristiti komponenta Type 56 (zgrada) tijekom simulacije sustava. Datoteka sadrži podatke o referentnom tipu zgrade (koeficijenti prolaza topline, dimenzije, ostakljenje, toplinski dobici itd.) prema propisima iz područja energetske učinkovitosti (Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja). Komponenta Type 15-6 (Meteoronom) ima za zadaću učitavanje meteoroloških podataka za grad Zagreb. Iz komponente Type 15-6 (Meteoronom) šalju se informacije prema modelu zgrade (vanjska temperatura zraka, relativna vlažnost, sunčevo zračenje, efektivna temperatura neba, itd.) te informacija o vanjskoj temperaturi zraka prema spremniku (Type 60f.) Informaciju o temperaturi zraka u zgradi (Type 56) dobiva komponenta Type 108 (termostat) te preko regulatora pumpe sekundara (Type 2b) koji dobiva i informaciju o povratnoj temperaturi vode iz ventilokonvektora (Type 987) šalje signal pumpi u sekundarnom krugu (Type 110) koja prilagođava protok vode prema ventilokonvektoru, koji je povezan s Type 56 (zgrada) te predaje zraku u zgradi odgovarajući rashladni učin. Preko regulatora pumpe primara koji dobiva informaciju o temperaturi zraka u zgradi i polaznoj temperaturi vode iz spremnika prema izmjenjivaču, upravlja se pumpom u primarnom krugu koja onda prilagođava protok vode prema izmjenjivaču topline. Rashladna energija proizvodi se kombinacijom rada apsorpcijskih rashladnih uređaja (Type 676), kompresijskih rashladnih uređaja (Type 666) i direktnog hlađenja vodom iz Save preko izmjenjivača topline (Type 5g). Voda iz Save (podaci pohranjeni u komponenti Type 9c) koristi se također za hlađenje kondenzatora apsorpcijskih i kompresijskih rashladnih uređaja te se dobavlja preko pumpi rashladne vode u krugu Sava/rashladni uređaji. Regulacija pumpe rashladnika u krugu proizvodnje) riješena je preko regulatora pumpe rashladnika (Type 2b-3) te komponente Type 21 (vrijeme) u kojoj je definirana sezona hlađenja.

Regulator pumpe rashladnika dobiva informaciju o izlaznoj temperaturi vode iz spremnika u krugu proizvodnje i informaciju o satu u godini od komponente Type 21 (vrijeme) te šalje signal pumpi rashladnika u krugu proizvodnje. Pumpe rashladne vode u krugu Sava/rashladni uređaji upravljane su preko regulatora pumpe rashladnika. Za preusmjeravanje vode koriste se razdjelnici (Type 11b, Type 647 i Type 649). Apsorpcijski rashladni uređaji rade tokom dana od 8 h do 19 h, dok kompresijski rashladni uređaji rade ovisno o ekonomskoj isplativosti. Direktno hlađenje vodom iz rijeke Save koristi se tijekom četvrtog i desetog mjeseca. Cjevovod u primarnom i sekundarnom krugu simulira se preko komponenata Type 31 (polazni i povratni cjevovod primar/sekundar). Sve komponente u modelu povezane su na komponentu Type 25e (ispis protoka, temperatura, energija), a za pretvorbu mjernih jedinica koristi se komponenta Type 57 (pretvarač mjernih jedinica).

Od Tablica 27. do Tablica 32. navedeni su najvažniji parametri komponenata korištenih u ovom modelu (ostale komponente imaju iste parametre kao u poglavlju 5.2.1).

Tablica 27. Kompresijski rashladni uređaj (Type 666)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Kapacitet hlađenja	10.000	kW
COP	4,45	-

Tablica 28. Pumpa primarnog kruga (Type 110)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Maseni protok vode	1.680.000	kg/h
Snaga pumpe	680	kW
Korisnost pumpe	0,802	-
Korisnost elektromotora	0,9	-

Odabrana je pumpa primarnog kruga HS 350-250-630 5/1-F-B-BBVP proizvođača Grundfos [23].

Tablica 29. Pumpa rashladne vode 2 u krugu Sava/rashladni uređaji (Type 110)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Maseni protok vode	3.746.000	kg/h
Snaga pumpe	125	kW
Korisnost pumpe	0,802	-
Korisnost elektromotora	0,9	-

Odabrana je pumpa (2x) rashladne vode 2 u krugu Sava/rashladni uređaj HS 400-350-397 5/1-F-A-BBVP proizvođača Grundfos [23].

Tablica 30. Pumpa rashladne vode u krugu Sava/rashladni uređaji 3 (Type 110)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Maseni protok vode	937 300	kg/h
Snaga pumpe	31,5	kW
Korisnost pumpe	0,802	-
Korisnost elektromotora	0,9	-

Odabrana je pumpa rashladne vode u krugu Sava/rashladni uređaj HS 300-250-305 5/1-F-B-BBVP proizvođača Grundfos [23].

Tablica 31. Izmjenjivač topline za direktno hlađenje iz Save (Type 5g)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Ulazni maseni protok vode na strani primara	100	kg/h

Tablica 32. Polazni i povratni cjevovod primarnog kruga (Type 31)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Unutarnji promjer cjevovoda	0,419	m
Duljina cjevovoda (polaz i povrat)	7.090	m
Koeficijent gubitaka	2	kJ/hm ² K

4.3.2 Rezultati simulacije – proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE –TO – Radnička cesta

Tablica 33. i Tablica 34. prikazuju rezultate simulacije odnosno mjesečne podatke o potrošnji energije za slučaj proizvodnje rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima na paru za potrošače u Radničkoj ulici. Maksimalne vrijednosti unutar pojedinog mjeseca prikazane su u Tablica 35. Na Slika 14. je dijagramski prikaz potrošnje energije, dok Slika 15. i Slika 16. prikazuje udjele potrošnje energenata.

Tablica 33. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja - topline

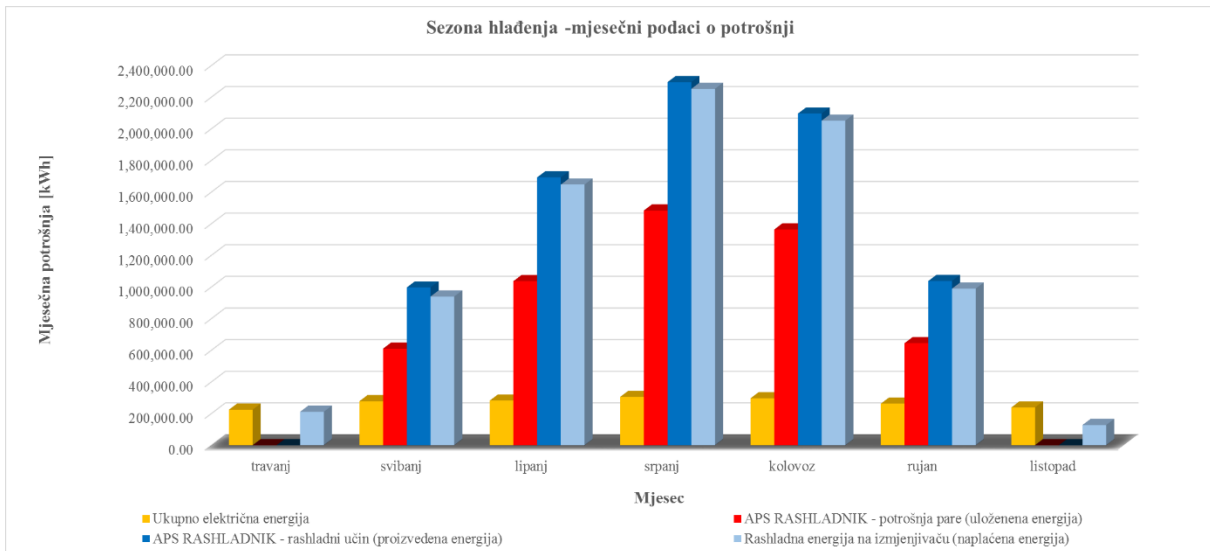
Mjesečni podaci o potrošnji za vrijeme sezone hlađenja									
TOPLINE									
	Apsorpcijski rashladnik - potrošnja pare (uložena energija)		Apsorpcijski rashladnik - COP	Apsorpcijski rashladnik - rashladni učin (proizvedena energija)	Rijeka Sava - rashladni učin	Električni rashladnik - rashladni učin (proizvedena energija)	Električni rashladnik - COP	Rashladna energija na izmjenjivaču (naplaćena energija)	Rashladna energija na ventilokonvektorima
	t/mj	kWh/mj							
travanj	0,00	0,00	-	0,00	226.542,47	0,00	-	211.928,96	188.456,09
svibanj	902,49	611.106,71	1,63	997.682,90	0,00	0,00	-	940.312,18	850.509,24
lipanj	1.533,15	1.038.153,25	1,63	1.693.791,81	0,00	0,00	-	1.648.297,48	1.559.441,84
srpanj	2.192,20	1.484.413,83	1,55	2.295.814,88	0,00	0,00	-	2.253.143,23	2.155.733,45
kolovoz	2.014,62	1.364.172,95	1,54	2.097.150,53	0,00	0,00	-	2.052.280,62	1.956.905,98
rujan	953,83	645.869,53	1,61	1.038.732,78	0,00	0,00	-	990.383,58	913.668,17
listopad	0,00	0,00	-	0,00	127.728,52	0,00	-	128.124,60	99.531,51
UKUPNO	7.596,29	5.143.716,27	-	8.123.172,91	354.270,99	0,00	-	8.224.470,66	7.724.246,29

Tablica 34. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja – električna energija i voda

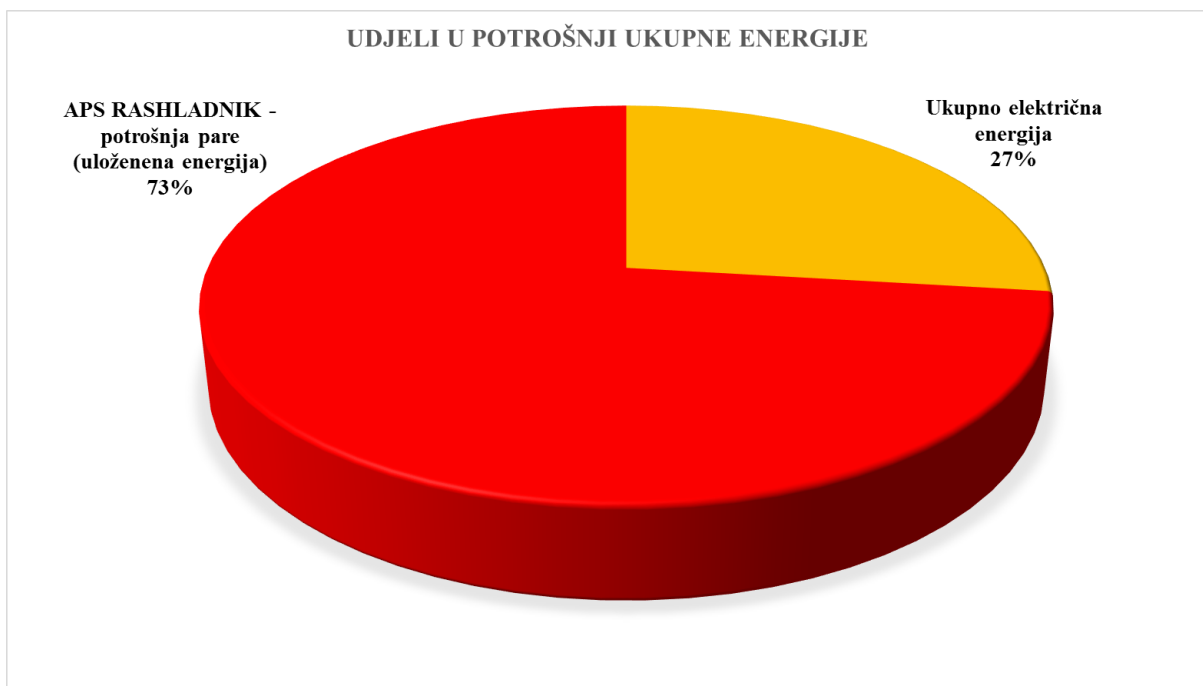
Mjesečni podaci o potrošnji za vrijeme sezone hlađenja										
ELEKTRIČNA ENERGIJA									VODA	
Ventilator i rashladni toranj	Pumpa rashladne vode1	Pumpa rashladne vode2	Pumpa rashladne vode3	Potrošnja rashladnika	Snaga električnog kompresora	Pumpa krug hladne vode	Pumpa primar	Ukupno električna energija	Dopuna rashladnog tornja	
kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	m ³ /mj	
travanj	-	0,00	0,00	3.010,94	0,00	0,00	5.252,20	216.984,38	225.247,52	-
svibanj	-	22.281,96	0,00	0,00	6.203,30	0,00	9.804,06	240.516,17	278.805,50	-
lipanj	-	30.940,30	0,00	0,00	8.613,78	0,00	13.613,73	229.556,83	282.724,65	-
srpanj	-	38.030,58	0,00	0,00	10.587,71	0,00	16.733,46	240.425,51	305.777,26	-
kolovoz	-	35.570,16	0,00	0,00	9.902,73	0,00	15.650,87	236.009,28	297.133,05	-
rujan	-	22.535,43	0,00	0,00	6.273,86	0,00	9.915,59	224.789,27	263.514,16	-
listopad	-	0,00	0,00	2.672,17	0,00	0,00	4.661,25	231.880,17	239.213,59	-
UKUPNO	-	149.358,44	0,00	5.683,11	41.581,39	0,00	75.631,17	1.620.161,62	1.892.415,73	-

Tablica 35. Maksimalne vrijednosti unutar pojedinog mjeseca

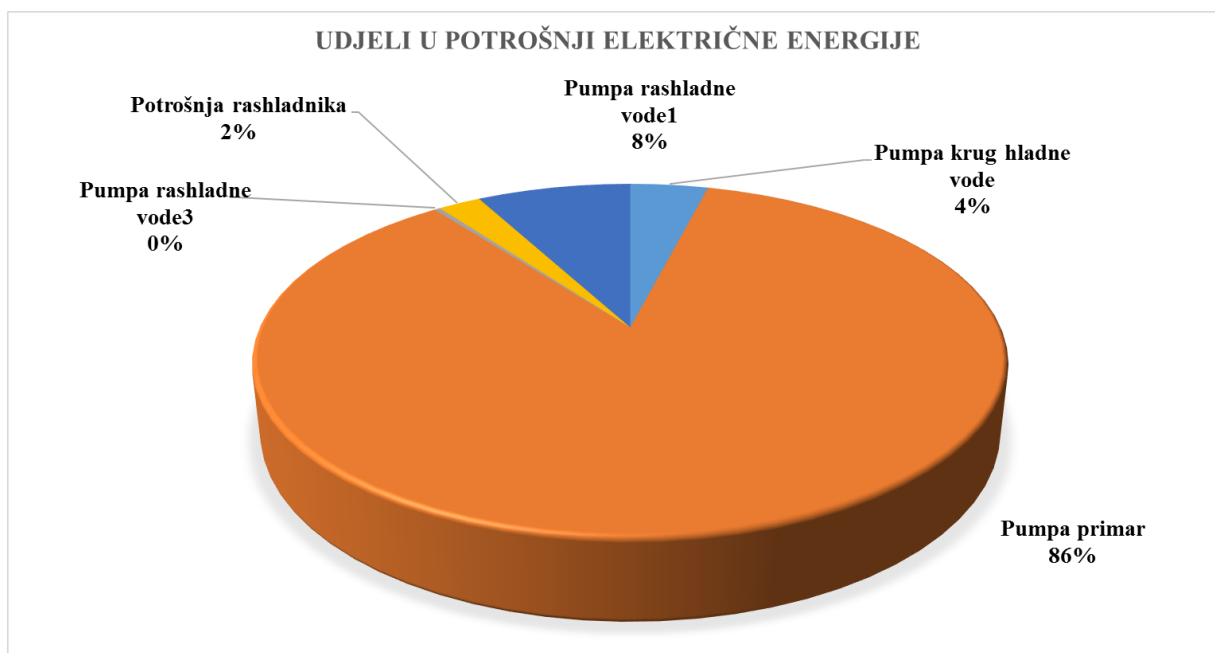
Maksimalne vrijednosti unutar pojedinog mjeseca						
	Rashladno opterećenje – Apsorpcijski rashladnik [MW]	Rashladno opterećenje - Električni rashladnik [MW]	Predano ventilkonvektori - potrošači [MW]	Električna energija [MW]	Para [t/h]	Voda [m ³]
travanj	0,0	0,0	7,7	0,9	0,0	-
svibanj	15,6	0,0	10,5	0,9	12,5	-
lipanj	15,6	0,0	11,3	0,9	13,3	-
srpanj	13,7	0,0	11,9	0,9	13,7	-
kolovoz	14,5	0,0	11,6	0,9	14,5	-
rujan	15,6	0,0	12,0	0,9	13,7	-
listopad	0,0	0,0	6,5	0,9	0,0	-



Slika 14. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja



Slika 15. Udjeli u potrošnji ukupne energije

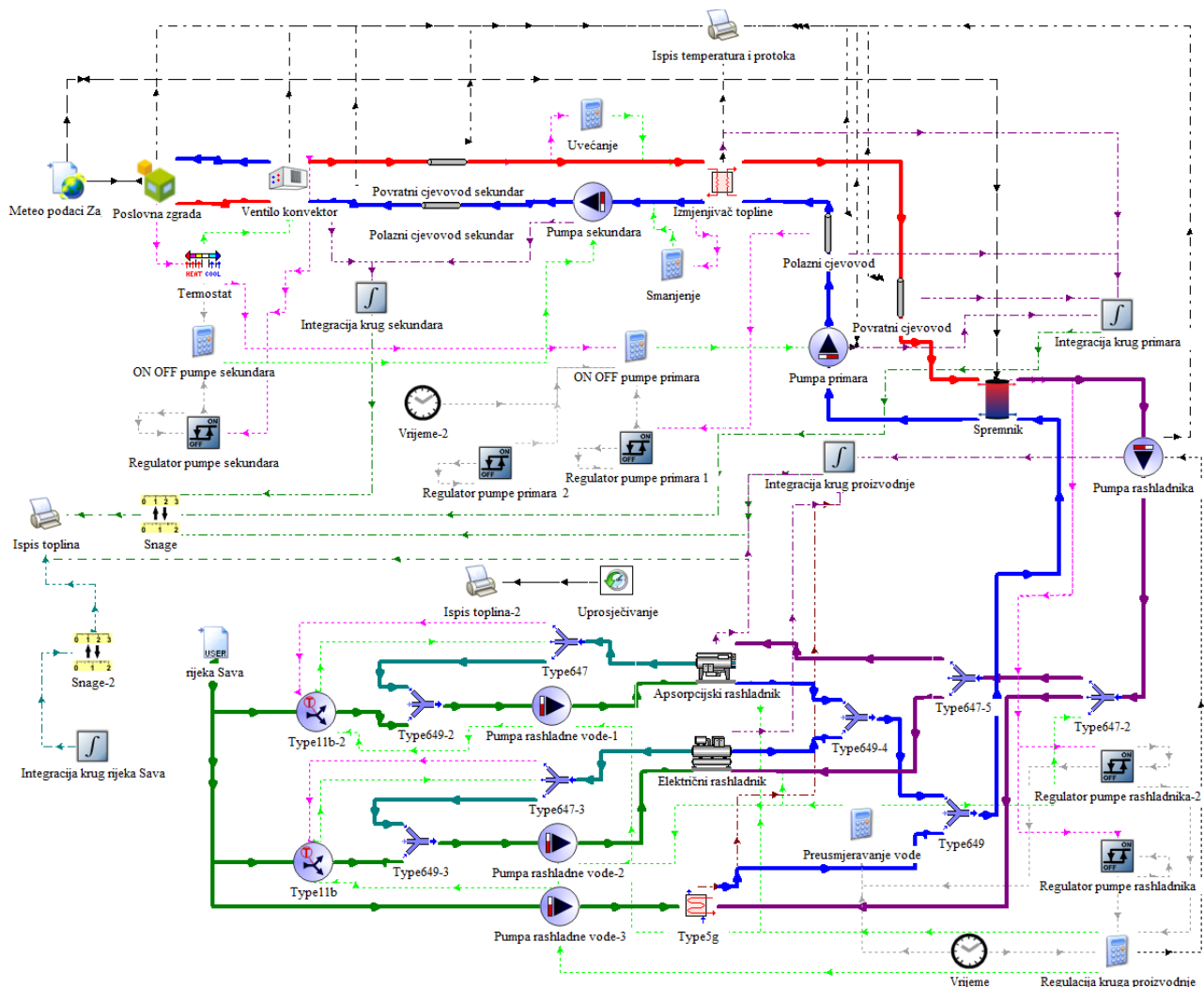


Slika 16. Udjeli u potrošnji električne energije

4.4 Centralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE-TO – Sveučilišna aleja

4.4.1 Opis modela - proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE-TO – Sveučilišna aleja

Na Sliku 17. prikazan je model sustava centralizirane proizvodnje rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE-TO-Sveučilišna aleja.



Slika 17. Model sustava daljinskog hlađenja - centralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE-TO-Sveučilišna aleja

Iz poglavlja 4. preuzete su površine i volumeni potencijalnih potrošača rashladne energije, a model zgrade je napravljen na osnovu referentne zgrade u poglavlju 4. Površine potencijalnih potrošača iz poglavlja 4. su množene faktorom 0,7 odnosno umanjene su za 30% te se time ne uzimaju u obzir površine ne hlađenih hodnika u zgradama. Na temelju tih reduciranih površina i prosječne vrijednosti

rashladnog učina (snage) svih vrsta zgrada od 70 W/m^2 iz Tablica 5. u poglavlju 4., izračunata je ukupna potrebna rashladna snaga. Ukupna reducirana površina svih promatranih zgrada je podijeljena s vrijednosti korisne površine uredske zgrade od 1.000 m^2 (ostale karakteristike zgrade uzete su prema propisima iz područja energetske učinkovitosti - Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja) te je dobiven faktor 335,5. S tim faktorom u modelu se uzimaju u obzir sve promatrane zgrade u Radničkoj ulici (zgrade s potrebnom vršnom snagom hlađenja većom od 100 kW) budući da je u komponenti Type 56 definirana jedna referentna zgrada. To se radi na način da se protok vode na ulazu u izmjenjivač topline u sekundarnom krugu množi s faktorom 335,5, dok se na izlazu dijeli s istim tim faktorom. Komponenta Type 56 (zgrada) definira dinamiku toplinskog ponašanja objekta. Model promatranog objekta se radi u posebnom programu TRNbuild koji obrađuje datoteku koja sadrži opis zgrade koju će onda koristiti komponenta Type 56 (zgrada) tijekom simulacije sustava. Datoteka sadrži podatke o referentnom tipu zgrade (koeficijenti prolaza topline, dimenzije, ostakljenje, toplinski dobici itd.) prema propisima iz područja energetske učinkovitosti (Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja). Komponenta Type 15-6 (Meteoronom) ima za zadaću učitavanje meteoroloških podataka za grad Zagreb. Iz komponente Type 15-6 (Meteoronom) šalju se informacije prema modelu zgrade (vanjska temperatura zraka, relativna vlažnost, sunčevo zračenje, efektivna temperatura neba, itd.) te informacija o vanjskoj temperaturi zraka prema spremniku (Type 60f.) Informaciju o temperaturi zraka u zgradi (Type 56) dobiva komponenta Type 108 (termostat) te preko regulatora pumpe sekundara (Type 2b) koji dobiva i informaciju o povratnoj temperaturi vode iz ventilokonvektora (Type 987) šalje signal pumpi u sekundarnom krugu (Type 110) koja prilagođava protok vode prema ventilokonvektoru, koji je povezan s Type 56 (zgrada) te predaje zraku u zgradi odgovarajući rashladni učin. Preko regulatora pumpe primara koji dobiva informaciju o temperaturi zraka u zgradi i polaznoj temperaturi vode iz spremnika prema izmjenjivaču, upravlja se pumpom u primarnom krugu koja onda prilagođava protok vode prema izmjenjivaču topline. Rashladna energija proizvodi se kombinacijom rada apsorpcijskih rashladnih uređaja (Type 676), kompresijskih rashladnih uređaja (Type 666) i direktnog hlađenja vodom iz Sava preko izmjenjivača topline (Type 5g). Voda iz Sava (podaci pohranjeni u komponenti Type 9c) koristi se također za hlađenje kondenzatora apsorpcijskih i kompresijskih rashladnih uređaja te se dobavlja preko pumpi rashladne vode u krugu Sava/rashladni uređaji. Regulacija pumpe rashladnika u krugu proizvodnje) riješena je preko regulatora pumpe rashladnika (Type 2b-3) te komponente Type 21 (vrijeme) u kojoj je definirana sezona hlađenja. Regulator pumpe rashladnika dobiva informaciju o izlaznoj temperaturi vode iz spremnika u krugu proizvodnje i informaciju o satu u godini od komponente Type 21 (vrijeme) te šalje signal pumpi rashladnika u krugu proizvodnje. Pumpe rashladne vode u krugu Sava/rashladni uređaji upravljane su preko regulatora pumpe rashladnika. Za preusmjeravanje vode

koriste se razdjelnici (Type 11b, Type 647 i Type 649). Apsorpcijski rashladni uređaji rade tokom dana od 8 h do 19 h, dok kompresijski rashladni uređaji rade ovisno o ekonomskoj isplativosti. Direktno hlađenje vodom iz Save koristi se tijekom četvrtog i desetog mjeseca. Cjevovod u primarnom i sekundarnom krugu simulira se preko komponente Type 31 (polazni i povratni cjevovod primar/sekundar). Sve komponente u modelu povezane su na komponentu Type 25e (ispis protoka, temperatura, energija), a za pretvorbu mjernih jedinica koristi se komponenta Type 57 (pretvarač mjernih jedinica).

Od Tablica 36. do Tablica 48 navedeni su najvažniji parametri komponenata korištenih u ovom modelu.

Tablica 36. Apsorpcijski rashladni uređaj (Type 676)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Kapacitet hlađenja	18.608	kW
COP	1,3	-
Potrošnja električne energije za pogon pumpi	40,8	kW
Ulazna temperatura pare	175,4	°C
Ulazni tlak pare	8	Bar

Odabran je apsorpcijski rashladni uređaj IFA BS 1600 tvrtke Afaja [21].

Tablica 37. Kompresijski rashladni uređaj (Type 666)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Kapacitet hlađenja	10.000	kW
COP	4,45	-

Tablica 38. Spremnik (Type 60f)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Volumen spremnika	112	m ³
Visina spremnika	5	M

Tablica 39. Izmjenjivač topline (Type 5b)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Ulazna temperatura vode na strani primara	4,5	°C
Ulazni maseni protok vode na strani primara	21.600	kg/h

Tablica 40. Ventilokonvektor (Type 987)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Volumni protok zraka	1.875	m ³ /h
Maseni protok vode	914	kg/h
Korisnost elektromotora	0,9	-

Tablica 41. Pumpa rashladne vode 1 u krugu Sava/rashladni uređaji (Type 110)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Maseni protok vode	4.996.000	kg/h
Snaga pumpe	168	kW
Korisnost pumpe	0,802	-
Korisnost elektromotora	0,9	-

Odabrana je pumpa rashladne vode 1 u krugu Sava/rashladni uređaj TP 400-510/4 A-F-A-DBUE proizvođača Grundfos [23].

Tablica 42. Pumpa rashladne vode 2 u krugu Sava/rashladni uređaji (Type 110)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Maseni protok vode	3.746.000	kg/h
Snaga pumpe	125	kW
Korisnost pumpe	0,802	-
Korisnost elektromotora	0,9	-

Odabrana je pumpa rashladne vode 2 u krugu Sava/rashladni uređaj HS 350-300-508 5/1-F-A-BBVP proizvođača Grundfos [23].

Tablica 43. Pumpa rashladne vode 3 u krugu Sava/rashladni uređaji (Type 110)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Maseni protok vode	1.268.000	kg/h
Snaga pumpe	42,66	kW
Korisnost pumpe	0,802	-
Korisnost elektromotora	0,9	-

Odabrana je pumpa rashladne vode 3 u krugu Sava/rashladni uređaj HS 400-350-397 5/1-F-A-BBVP proizvođača Grundfos [23].

Tablica 44. Pumpa rashladnika u krugu proizvodnje (Type 110)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Maseni protok vode	2.013.000	kg/h
Snaga pumpe	67,2	kW
Korisnost pumpe	0,802	-
Korisnost elektromotora	0,9	-

Odabrana je pumpa rashladnika u krugu proizvodnje HS 300-250-305 5/1-F-B-BBVP proizvođača Grundfos [23].

Tablica 45. Pumpa primarnog kruga (Type 110)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Maseni protok vode	2.013.000	kg/h
Snaga pumpe	1022	kW
Korisnost pumpe	0,802	-
Korisnost elektromotora	0,9	-

Odabrana je pumpa primarnog kruga HS 350-250-630 5/1-F-B-BBVP proizvođača Grundfos [23].

Tablica 46. Pumpa sekundarnog kruga (Type 110)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Maseni protok vode	7.312	kg/h
Snaga pumpe	0,75	kW
Korisnost pumpe	0,802	-
Korisnost elektromotora	0,9	-

Odabrana je pumpa sekundarnog kruga CRE 5-5 A-FGJ-A-E-HQQE proizvođača Grundfos [23].

Tablica 47. Polazni i povratni cjevovod primarnog kruga (Type 31)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Unutarnji promjer cjevovoda	0,508	M
Duljina cjevovoda (polaz i povrat)	10.804	M
Koeficijent gubitaka	2	kJ/hm ² K

Tablica 48. Polazni i povratni cjevovod sekundarnog kruga (Type 31)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Unutarnji promjer cjevovoda	0,1	M
Duljina cjevovoda	100	M
Koeficijent gubitaka	2	kJ/hm ² K

4.4.2 Rezultati simulacije – proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE –TO – Sveučilišna aleja

Tablica 49. i Tablica 50. prikazuju rezultate simulacije odnosno mjesečne podatke o potrošnji energije za slučaj proizvodnje rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima na paru za potrošače u Sveučilišnoj aleji. Maksimalne vrijednosti unutar pojedinog mjeseca prikazane su u Tablica 51. Slika 18. prikazuje dijagram potrošnje energije, dok Slika 19. i Slika 20. prikazuje udjele potrošnje energenata.

Tablica 49. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja - topline

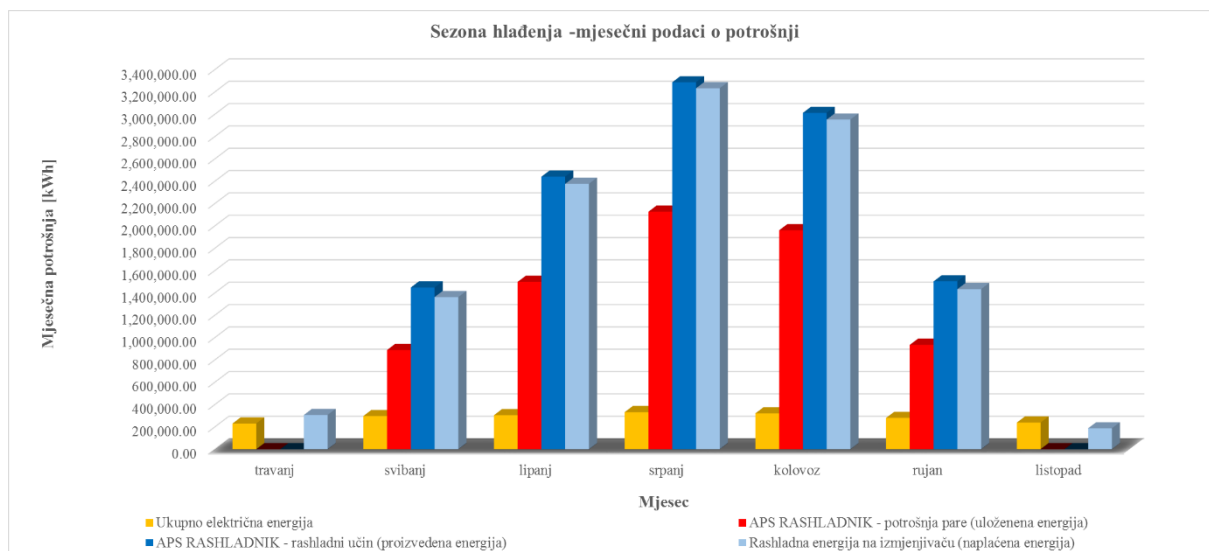
Mjesečni podaci o potrošnji za vrijeme sezone hlađenja									
TOPLINE									
	Apsorpcijski rashladnik - potrošnja pare (uložena energija)		Apsorpcijski rashladnik - COP	Apsorpcijski rashladnik - rashladni učin (proizvedena energija)	Rijeka Sava - rashladni učin	Električni rashladnik - rashladni učin (proizvedena energija)	Električni rashladnik - COP	Rashladna energija na izmjenjivaču (naplaćena energija)	Rashladna energija na ventilu konvektorima
	t/mj	kWh/mj	-	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	-	kWh/mj	kWh/mj
travanj	0,00	0,00	-	0,00	322.082,15	0,00	-	307.447,98	274.229,61
svibanj	1.312,87	888.930,74	1,63	1.449.084,21	0,00	0,00	-	1.362.950,68	1.238.413,80
lipanj	2.215,54	1.500.218,15	1,63	2.441.851,47	0,00	0,00	-	2.377.933,16	2.254.826,25
srpanj	3.142,45	2.127.863,96	1,54	3.286.605,03	0,00	0,00	-	3.233.261,19	3.098.715,52
kolovoz	2.896,74	1.961.481,93	1,54	3.012.842,53	0,00	0,00	-	2.952.954,50	2.821.269,20
rujan	1.382,20	935.933,23	1,61	1.504.326,80	0,00	0,00	-	1.434.325,78	1.327.990,52
listopad	0,00	0,00	-	0,00	168.385,13	0,00	-	187.795,38	146.051,75
UKUPNO	10.949,79	7.414.428,02	-	11.694.710,05	490.467,29	0,00	-	11.856.668,66	11.161.496,65

Tablica 50. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja – električna energija i voda

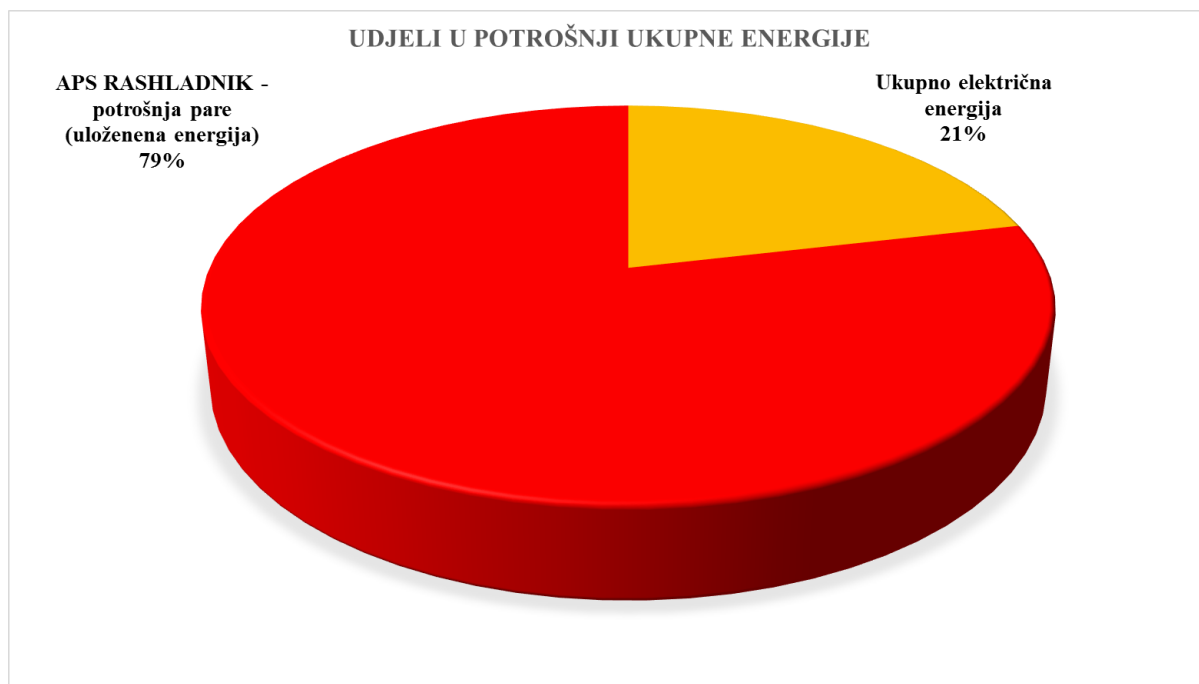
Mjesečni podaci o potrošnji za vrijeme sezone hlađenja										
ELEKTRIČNA ENERGIJA									VODA	
Ventilatori rashladni toranj	Pumpa rashladne vode1	Pumpa rashladne vode2	Pumpa rashladne vode3	Potrošnja rashladnika	Snaga električnog kompresora	Pumpa krug hladne vode	Pumpa primar	Ukupno električna energija	Dopuna rashladnog tornja	
kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	m ³ /mj	
travanj	-	0,00	0,00	4.252,02	0,00	0,00	6.697,98	220.202,16	231.152,16	-
svibanj	-	32.185,09	0,00	0,00	7.816,38	0,00	12.874,04	244.582,18	297.457,68	-
lipanj	-	43.885,37	0,00	0,00	10.657,87	0,00	17.554,15	233.638,00	305.735,39	-
srpanj	-	53.524,84	0,00	0,00	12.998,89	0,00	21.409,93	245.141,84	333.075,51	-
kolovoz	-	49.989,37	0,00	0,00	12.140,28	0,00	19.995,75	239.997,51	322.122,90	-
rujan	-	32.361,49	0,00	0,00	7.859,22	0,00	12.944,60	228.152,50	281.317,80	-
listopad	-	0,00	0,00	1.631,98	0,00	0,00	2.570,78	235.290,17	239.492,93	-
UKUPNO	-	211.946,15	0,00	5.884,00	51.472,64	0,00	94.047,21	1.647.004,36	2.010.354,37	-

Tablica 51. Maksimalne vrijednosti unutar pojedinog mjeseca

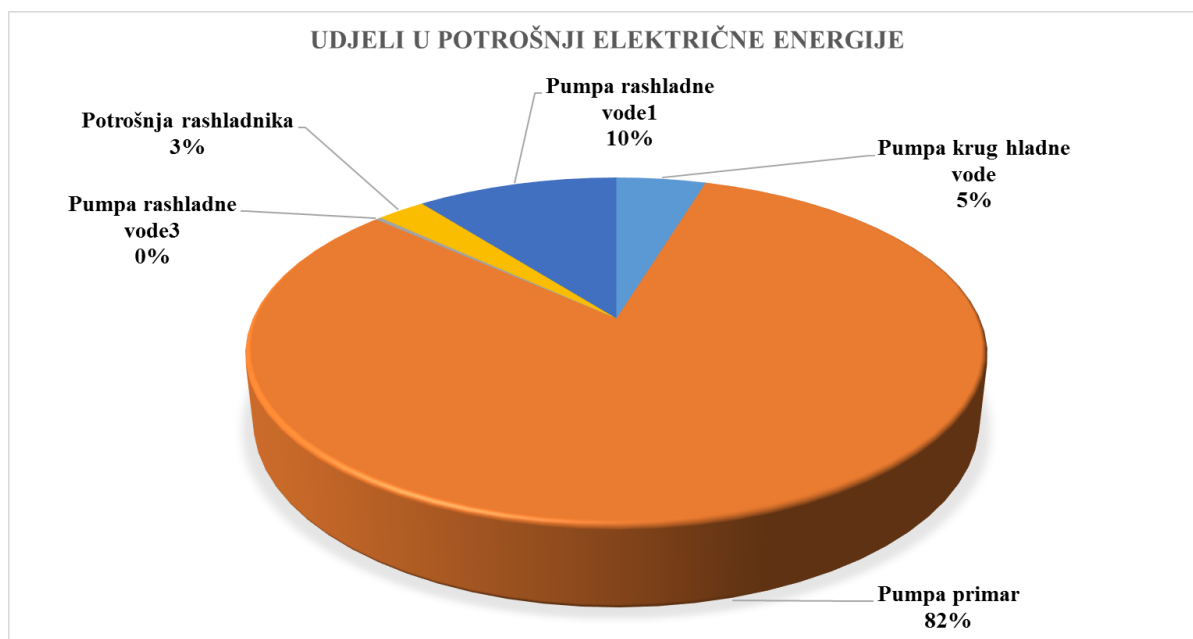
Maksimalne vrijednosti unutar pojedinog mjeseca						
	Rashladno opterećenje – Apsorpcijski rashladnik [MW]	Rashladno opterećenje - Električni rashladnik [MW]	Predano ventilkonvektori - potrošači [MW]	Električna energija [MW]	Para [t/h]	Voda [m ³]
travanj	0,0	0,0	4,9	799,9	0,0	-
svibanj	20,8	0,0	10,0	966,0	16,7	-
lipanj	20,8	0,0	10,7	966,0	17,8	-
srpanj	19,1	0,0	10,8	966,0	19,1	-
kolovoz	18,4	0,0	11,4	966,0	19,2	-
rujan	20,8	0,0	10,8	966,0	17,3	-
listopad	0,0	0,0	5,4	799,9	0,0	-



Slika 18. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja



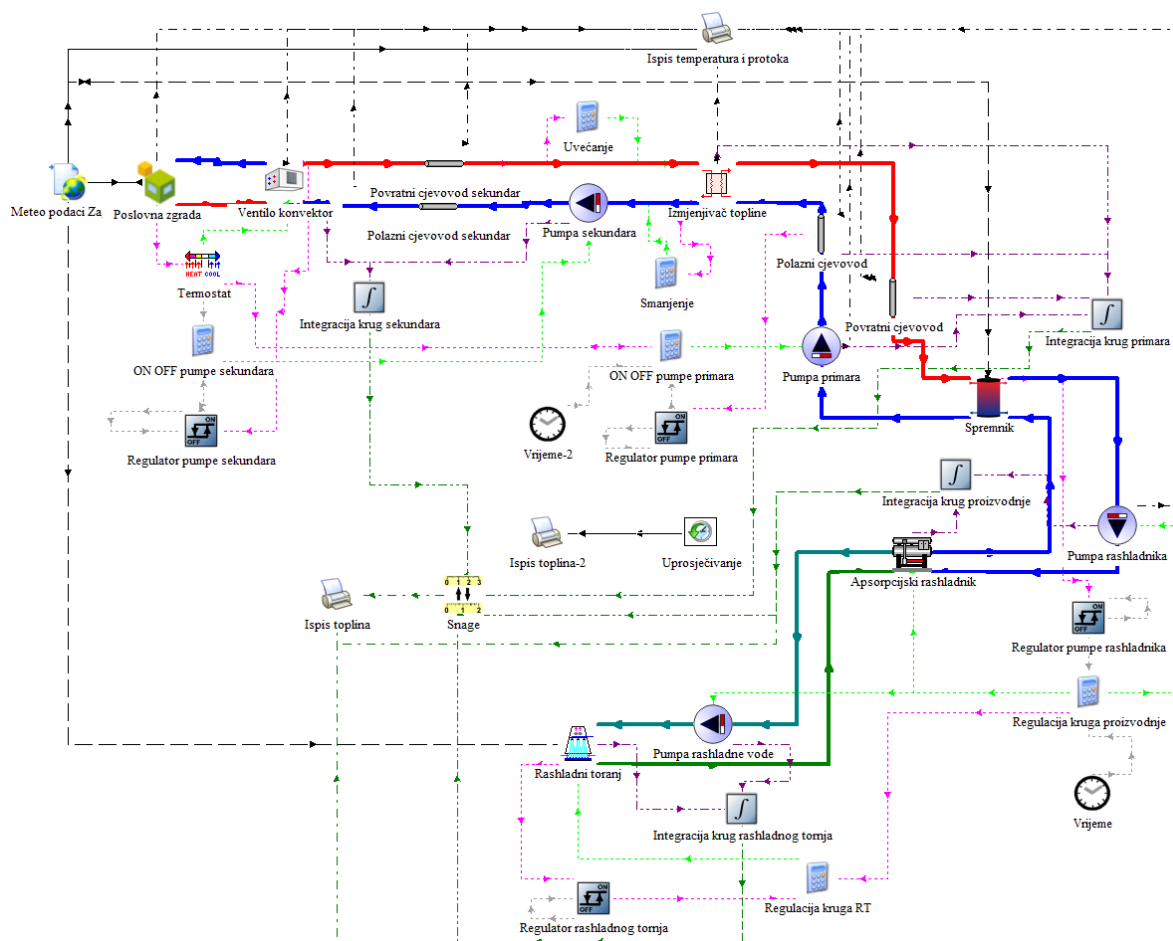
Slika 19. Udjeli u potrošnji ukupne energije



Slika 20. Udjeli u potrošnji električne energije

4.5 Decentralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenih vrelom vodom – Sveučilišna aleja

Kao dodatni slučaj napravljen je model daljinskog hlađenja u kojem se rashladna energija proizvodi apsorpcijskim rashladnim uređajima na vrelu vodu (decentralizirano na lokaciji Sveučilišna aleja). Slika 21. prikazuje Sveučilišnu aleju.



Slika 22. Model sustava daljinskog hlađenja – decentralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenih vrelom vodom – Sveučilišna aleja

Iz poglavlja 4. preuzete su površine i volumeni potencijalnih potrošača rashladne energije, a model zgrade je napravljen na osnovu referentne zgrade u poglavlju 4. Površine potencijalnih potrošača iz poglavlja 4. su množene faktorom 0,7 odnosno umanjene su za 30% te se time ne uzimaju u obzir površine ne hlađenih hodnika u zgradama. Na temelju tih reduciranih površina i prosječne vrijednosti rashladnog učina (snage) svih vrsta zgrada od 70 W/m² iz Tablica 5. u poglavlju 4., izračunata je ukupna potrebna rashladna snaga. Ukupna reducirana površina svih promatranih zgrada je podijeljena s vrijednosti korisne površine uredske zgrade od 1.000 m² (ostale karakteristike zgrade uzete su prema propisima iz područja energetske učinkovitosti - Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja) te je dobiven faktor 215,7. S tim faktorom u modelu se uzimaju u obzir sve promatrane zgrade u Radničkoj ulici (zgrade iznad 100 kW) budući da je u komponenti Type 56 definirana jedna referentna zgrada. To se radi na način da se protok vode na ulazu u izmjenjivač topline u sekundarnom krugu množi s faktorom 215,7, dok se na izlazu dijeli s istim tim faktorom. Komponenta Type 56 (zgrada) definira dinamiku toplinskog ponašanja objekta. Model promatranog objekta se radi u

posebnom programu TRNbuild koji obrađuje datoteku koja sadrži opis zgrade koju će onda koristiti komponenta Type 56 (zgrada) tijekom simulacije sustava. Datoteka sadrži podatke o referentnom tipu zgrade (koeficijenti prolaza topline, dimenzije, ostakljenje, toplinski dobici itd.) prema propisima iz područja energetske učinkovitosti (Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja). Komponenta Type 15-6 (Meteoronom) ima za zadaću učitavanje meteoroloških podataka za grad Zagreb. Iz komponente Type 15-6 (Meteoronom) šalju se informacije prema modelu zgrade (vanjska temperatura zraka, relativna vlažnost, sunčevo zračenje, efektivna temperatura neba, itd.) te informacija o vanjskoj temperaturi zraka prema spremniku (Type 60f) i rashladnom tornju (Type 51a). Informaciju o temperaturi zraka u zgradi (Type 56) dobiva komponenta Type 108 (termostat) te preko regulatora pumpe sekundara (Type 2b) koji dobiva i informaciju o povratnoj temperaturi vode iz ventilokonvektora (Type 987) šalje signal pumpi u sekundarnom krugu (Type 110) koja prilagođava protok vode prema ventilokonvektoru koji je povezan s Type 56 (zgrada) te predaje zraku u zgradi odgovarajući rashladni učin. Preko regulatora pumpe primara koji dobiva informaciju o temperaturi zraka u zgradi i polaznoj temperaturi vode iz spremnika prema izmjenjivaču, upravlja se pumpom u primarnom krugu koja onda prilagođava protok vode prema izmjenjivaču topline. Regulacija pumpe rashladnika u krugu proizvodnje riješena je preko regulatora pumpe rashladnika (Type 2b-3) te komponente Type 21 (vrijeme) u kojoj je definirana sezona hlađenja. Regulator pumpe rashladnika dobiva informaciju o izlaznoj temperaturi vode iz spremnika i informaciju o satu u godini od komponente Type 21 (vrijeme) te šalje signal pumpi rashladnika u krugu proizvodnje. Informaciju o sezoni hlađenja iz komponente Type 21 (vrijeme) dobivaju još apsorpcijski rashladni uređaj (Type 107) na vrelu vodu i pumpa rashladne vode u krugu rashladnog tornja. Cjevovod u primarnom i sekundarnom krugu simulira se preko komponente Type 31 (polazni i povratni cjevovod primar/sekundar). Rashladna energija proizvodi se preko apsorpcijskog rashladnog uređaja (Type 107) na vrelu vodu, koji je povezan s akumulacijskim spremnikom u krugu proizvodnje. Kondenzator apsorpcijskog rashladnog uređaja hlađen je vodom preko rashladnog tornja (Type 51a). Brzina vrtne ventilatora rashladnog tornja regulirana je preko regulatora rashladnog tornja koji dobiva informaciju o temperaturi vode. Sve komponente u modelu povezane su na komponentu Type 25e (ispis protoka, temperatura, energija), a za pretvorbu mjernih jedinica koristi se komponenta Type 57 (pretvarač mjernih jedinica).

Od Tablica 52. do Tablica 57. navedeni su najvažniji parametri komponenata korištenih u modelu (ostale komponente imaju iste parametre kao u poglavlju 5.2.1).

Tablica 52. Apsorpcijski rashladni uređaj (Type 107)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Kapacitet hlađenja	16.375	kW
COP	0,75	-
Potrošnja električne energije za pogon pumpi	42	kW
Ulazna temperatura vrele vode	100	°C
Maseni protok vrele vode	1.955.000	kg/h

Odabran je apsorpcijski rashladni uređaj IFA BDH 1600 tvrtke Afaja [21].

Tablica 53. Rashladni toranj (Type 51a)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Broj ćelija tornja	4	-
Max protok po ćeliji	404.280	m ³ /h
Snaga ventilatora (pri max protoku)	55	kW

Odabran je rashladni toranj AT/UAT 114 - 1224 tvrtke Evapco [22].

Tablica 54. Pumpa rashladne vode u krugu rashladnog tornja (Type 110)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Maseni protok vode	4.693.000	kg/h
Snaga pumpe	235	kW
Korisnost pumpe	0,802	-
Korisnost elektromotora	0,9	-

Odabrana je pumpa rashladne vode u krugu rashladnog tornja HS 350-300-508 5/1-F-A-BBVP proizvođača Grundfos [23].

Tablica 55. Pumpa rashladnika u krugu proizvodnje (Type 110)

PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Maseni protok vode	1.331.200	kg/h
Snaga pumpe	44	kW
Korisnost pumpe	0,802	-
Korisnost elektromotora	0,9	-

Odabrana je pumpa rashladnika u krugu proizvodnje HS 400-350-397 5/1-F-A-BBVP proizvođača Grundfos [23].

Tablica 56. Pumpa primarnog kruga (Type 110)

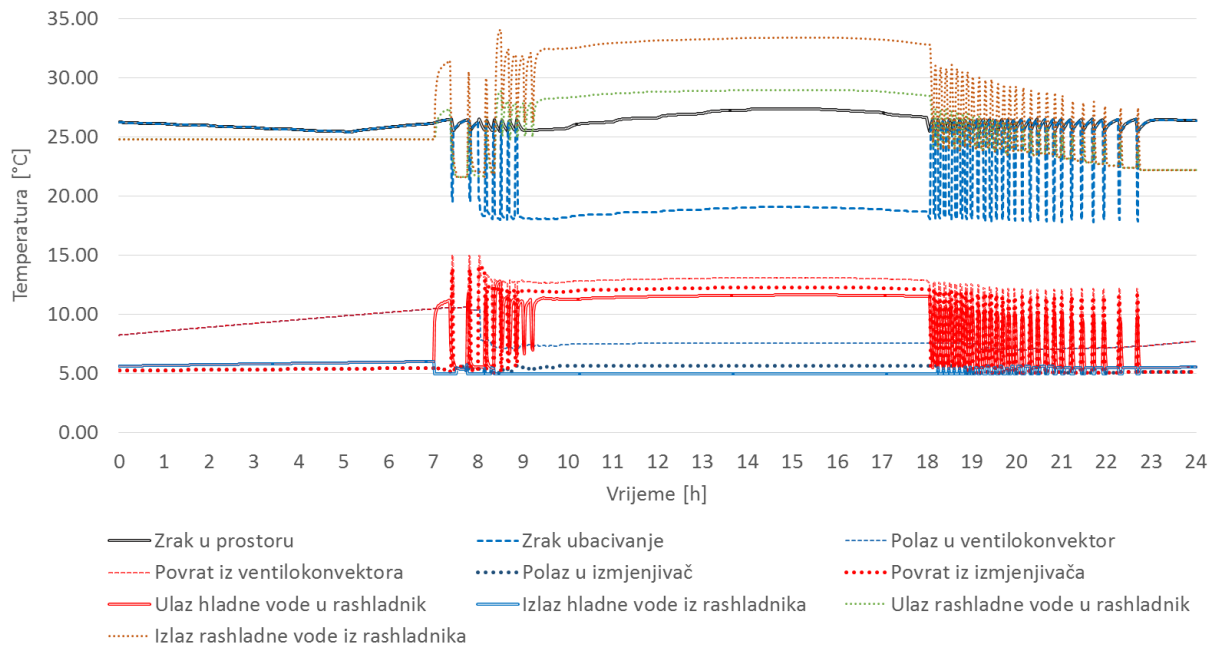
PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Maseni protok vode	1.331.200	kg/h
Snaga pumpe	270	kW
Korisnost pumpe	0,802	-
Korisnost elektromotora	0,9	-

Odabrana je pumpa primarnog kruga HS 300-200-489 5/1-F-B-BBVP proizvođača Grundfos [23].

Tablica 57. Polazni i povratni cjevovod primarnog kruga (Type 31)

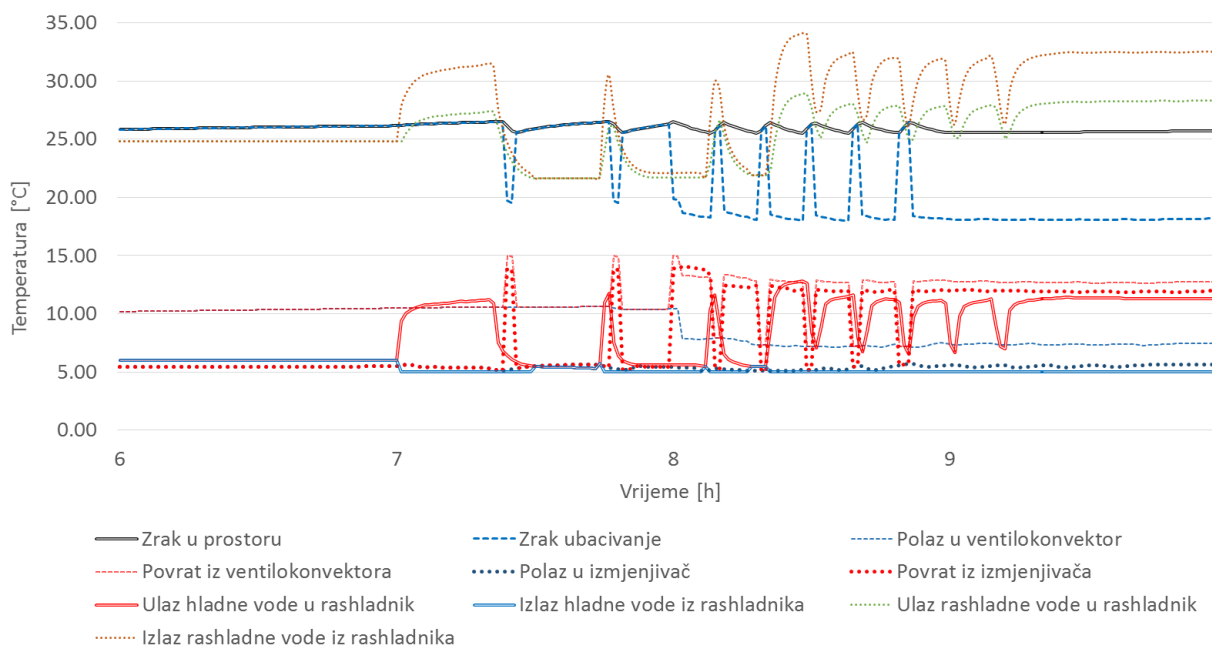
PARAMETAR	VRIJEDNOST	MJERNA JEDINICA
Unutarnji promjer cjevovoda	0,419	M
Duljina cjevovoda (polaz i povrat)	3.370	M
Koeficijent gubitaka	2	kJ/hm ² K

Slika 23. predstavlja temperaturne odzive sustava proizvodnje, distribucije i potrošnje rashladne energije tijekom kritičnog dana sezone hlađenja. Dinamika sustava potrošnje, a samim time i ostalih sustava uvjetovana je unutarnjim opterećenjima zgrade poput rasvjete, računalne opreme, ljudi te uvjetima okoliša, prvenstveno Suncem. Tijekom dana naizmjenično se pojavljuju tri slučaja rada sustava različitog vremena trajanja. Unutar prvih 7 sati dana sustav ne radi, temperatura u zgradi niža je od postavne temperature (26°C). Nakon toga, sljedećih dva sata vidljiv je isprekidan rad sustava. Za to vrijeme rad sustava potrošnje i proizvodnje rashladne energije nije u fazi, a uzrok je akumulirana rashladna energija u cjevovodu. Od 10 do 18 sati sustav radi kontinuirano, nakon čega sljedećih pet radi isprekidano. Maksimalna temperatura zraka u prostoriji raste do 27,25°C nakon čega počinje opadati i održava se u zadanim granicama.



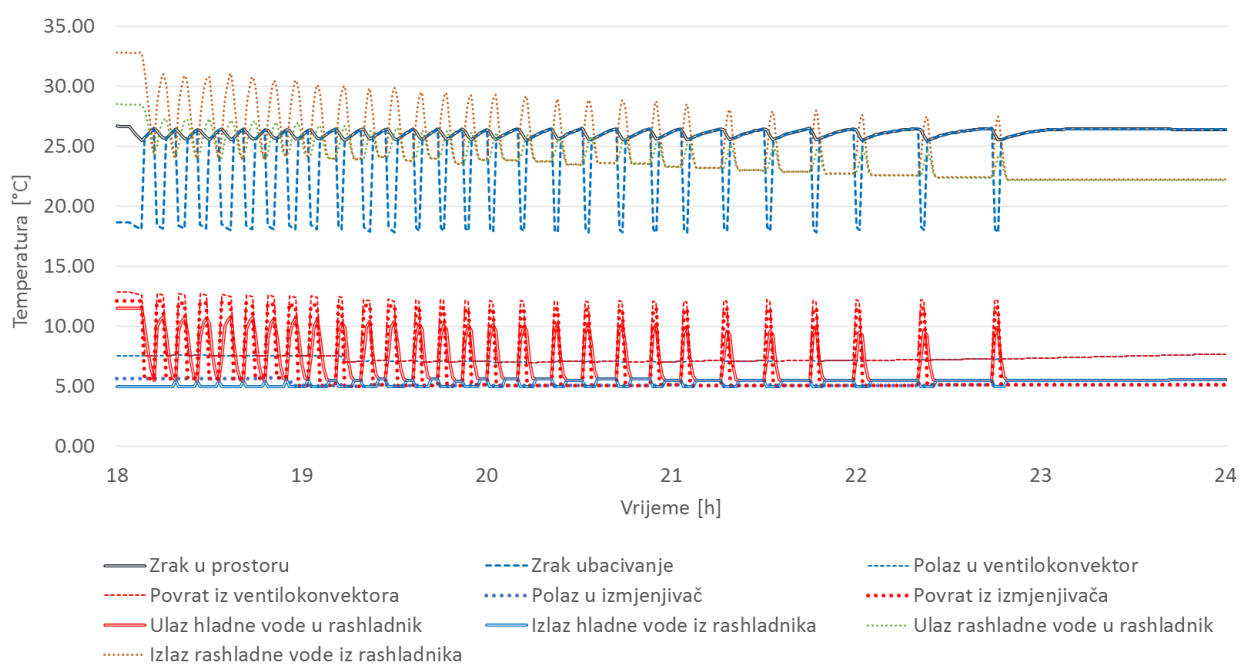
Slika 23. Temperaturni odzivi sustava proizvodnje, distribucije i potrošnje rashladne energije za slučaj decentraliziranog hlađenja Sveučilišne aleje (19. kolovoza)

Slika 24. prikazuje diskontinuirani rad sustava u jutarnjim satima. Takvo ponašanje sustava uzrokovano je slobodnim hlađenjem zgrade tijekom noći i malim solarnim dobitcima u jutarnjim satima pa sustav vrlo efikasno i u kratkom vremenu zadovoljava potrebe zgrade. Sustav hlađenja unutar zgrada nije u pogonu do 7:50 sati, dok se sustav proizvodnje rashladne energije pali u 7:02 sati. Uzrok paljenja pumpe u krugu hladne vode, a samim time i paljenja sustava proizvodnje jest porast temperature vode i prekoračenje postavne temperature na ulazu u rashladnik (6°C). Premašivanjem postavne temperature hlađenja u zgradi (26°C) pali se njen sustav hlađenja, te ujedno dolazi do porasta temperature hladne vode na izlazu iz izmjenjivača u krugu primara. Taj porast temperature ima za posljedicu paljenje pumpe u krugu primara. Za to vrijeme sustav proizvodnje rashladne energije ne radi zbog „kašnjenja „, povratne informacije. Duljina cjevovoda i prethodno akumulirana hladna voda u povratnom dijelu cjevovoda dovode do kašnjenja odziva s obzirom na uneseni poremećaj. Uslijed kašnjenja odziva sustav proizvodnje rashladne energije pali se 20 minuta kasnije. Sustav se stabilizira i počinje kontinuirano raditi od 10 sati. Toplina uskladištena u ovojnicu zgrade i ostale masivne elemente u zgradi, te pojava većih solarnih dobitaka uzrokuju povećanu i kontinuiranu potrebu za hlađenjem zgrade. Takvi zahtjevi na hlađenje zgrade uzrokuju i konstantan rad sustava proizvodnje što je vidljivo na Slika 24. Pumpa u krugu primara radi od 8 do 18 sati bez prestanka, neovisno o potrebama hlađenja zgrade. Razlog ovakve regulacije pumpe primara jest skladištenje rashladne energije u distribucijski cjevovod.



Slika 24. Diskontinuirani rad sustava u jutarnjim satima za slučaj decentraliziranog hlađenja Sveučilišne aleje

Slika 25. prikazuje diskontinuirani rad sustava u večernjim i noćnim satima kritičnoga dana. Iako su solarni dobici u ovim satima mali i u zgradi ne postoje značajni unutarnji dobici izvan radnog vremena, potreba za hlađenjem prostora i dalje postoji. Uzrok ovakvog ponašanja sustava je toplina koja se akumulira tijekom dana unutar zgrade. Vidljivo je kako sustav proizvodnje rashladne energije i sustav hlađenja u zgradama u ovim satima rade usklađeno zbog neprisutnosti akumulirane rashladne energije u cjevovodima. Također, očigledno je skraćivanje vremena pogona sustava proizvodnje i sustava hlađenja zgrade kroz vrijeme. Reduciranje vremena pogona obaju sustava je i očekivano s obzirom da ne postoji dodatna akumulacija topline u zgradi već samo njeno odvođenje. Nakon 23 sata sustavi miruju.



Slika 25. Diskontinuirani rad sustava u večernjim i noćnim satima za slučaj decentraliziranog hlađenja Sveučilišne aleje

4.5.2 Rezultati simulacije – decentralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenih vrelom vodom – Sveučilišna aleja

Tablica 58. i Tablica 59. prikazuje rezultate simulacije odnosno mjesečne podatke o potrošnji energije za slučaj proizvodnje rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima na paru za potrošače za Sveučilišnu aleju. Maksimalne vrijednosti unutar pojedinog mjeseca prikazane su u Tablica 60. Slika 26. prikazuje dijagram potrošnje energije, dok Slika 27. i Slika 28. prikazuje udjele potrošnje energenata.

Tablica 58. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja - topline

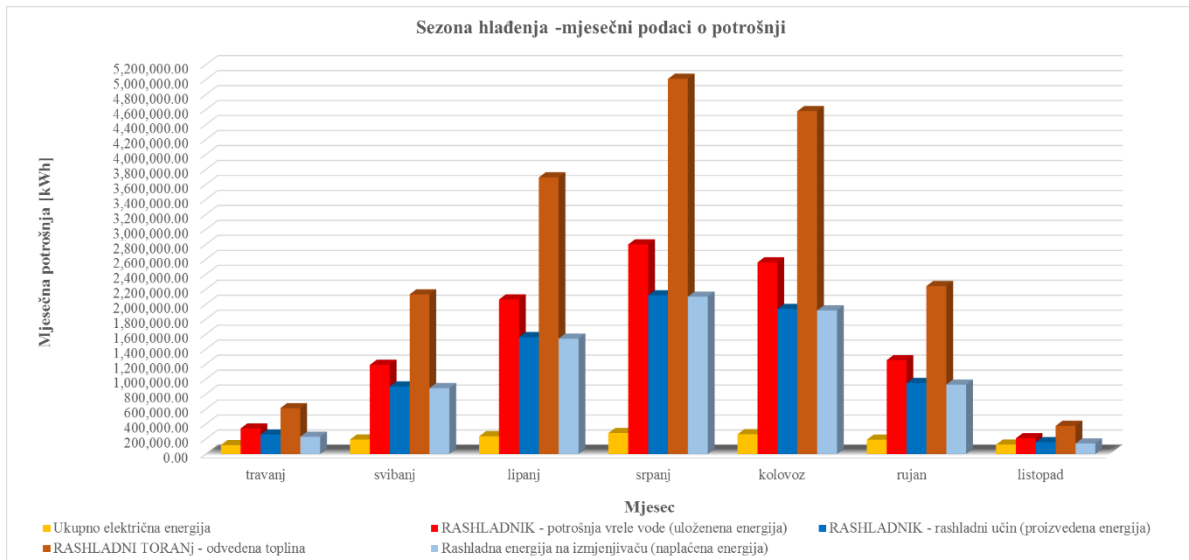
Mjesečni podaci o potrošnji za vrijeme sezone hlađenja						
TOPLINE						
	Apsorpcijski rashladnik - potrošnja vrele vode (uložena energija)	COP	Apsorpcijski rashladnik - rashladni učin (proizvedena energija)	Rashladni toranj- odvedena toplina	Rashladna energija na izmjenjivaču (naplaćena energija)	Rashladna energija na ventilokonvektorima
	kWh/mj	-	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj
travanj	340.978,07	0,76	258.109,49	611.665,55	229.751,92	189.252,78
svibanj	1.189.149,11	0,76	900.751,54	2.131.474,87	879.327,85	797.207,77
lipanj	2.063.692,29	0,76	1.561.123,67	3.693.583,07	1.540.981,22	1.459.110,60
srpanj	2.799.069,53	0,76	2.119.101,31	5.010.339,36	2.099.785,90	2.010.098,19
kolovoz	2.558.252,00	0,76	1.936.771,67	4.578.166,20	1.916.566,20	1.828.803,74
rujan	1.252.223,43	0,76	948.247,14	2.242.412,05	926.636,78	856.043,53
listopad	209.012,74	0,76	158.170,12	374.661,10	139.725,69	93.395,24
UKUPNO	10.412.377,17	-	7.882.274,93	18.642.302,20	7.732.775,55	7.233.911,86

Tablica 59. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja – električna energija i voda

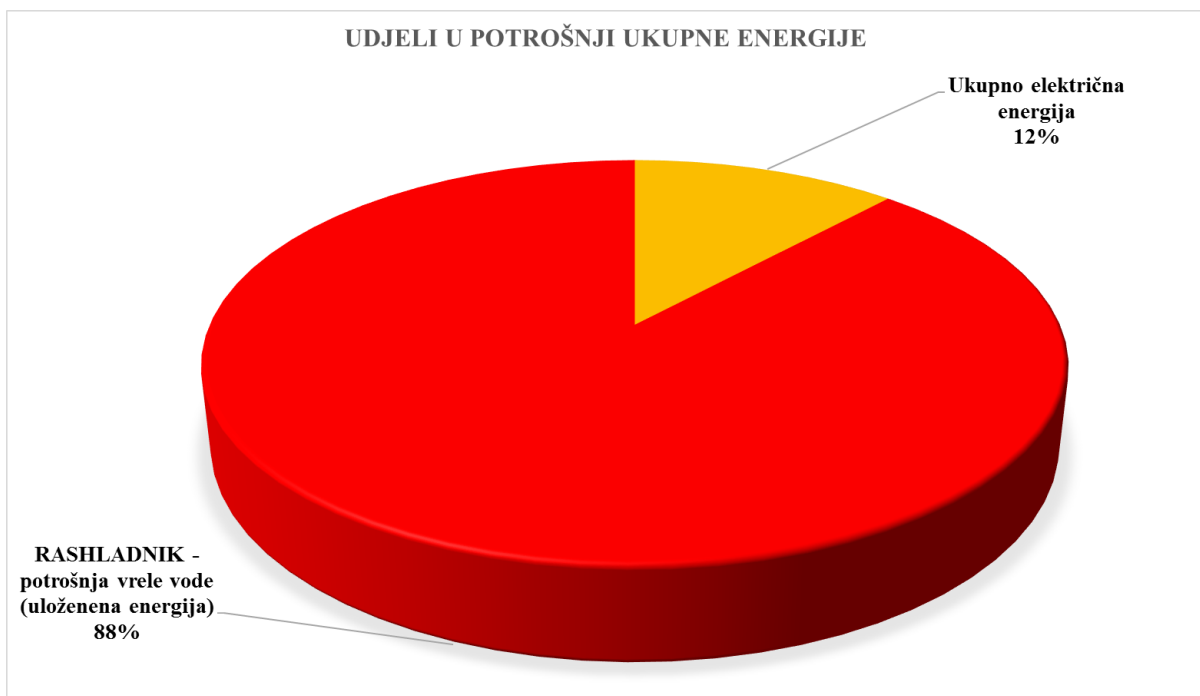
	Mjesečni podaci o potrošnji za vrijeme sezone hlađenja						
	ELEKTRIČNA ENERGIJA						VODA
	Ventilatori (rashladni toranj)	Pumpa rashladne vode	Potrošnja rashladnika	Pumpa - krug hladne vode	Pumpa primar	Ukupno - električna energija	Dopuna rashladnog tornja
	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	m ³ /mj
travanj	11.754,72	14.523,01	2.595,60	2.719,20	86.305,56	117.898,10	792,31
svibanj	39.424,31	41.959,28	7.499,11	7.856,21	95.244,07	191.982,97	2.763,09
lipanj	63.790,83	59.015,07	10.547,37	11.049,63	91.260,07	235.662,97	4.809,88
srpanj	83.170,69	72.920,55	13.032,61	13.653,21	95.635,57	278.412,64	6.617,43
kolovoz	77.076,39	67.777,97	12.113,51	12.690,34	93.778,57	263.436,77	5.904,39
rujan	42.369,86	42.576,81	7.609,47	7.971,83	89.269,56	189.797,53	2.765,31
listopad	7.399,03	9.535,78	1.704,27	1.785,42	103.684,58	124.109,08	446,63
UKUPNO	324.985,83	308.308,47	55.101,94	57.725,84	655.177,98	1.401.300,06	24.099,04

Tablica 60. Maksimalne vrijednosti unutar pojedinog mjeseca

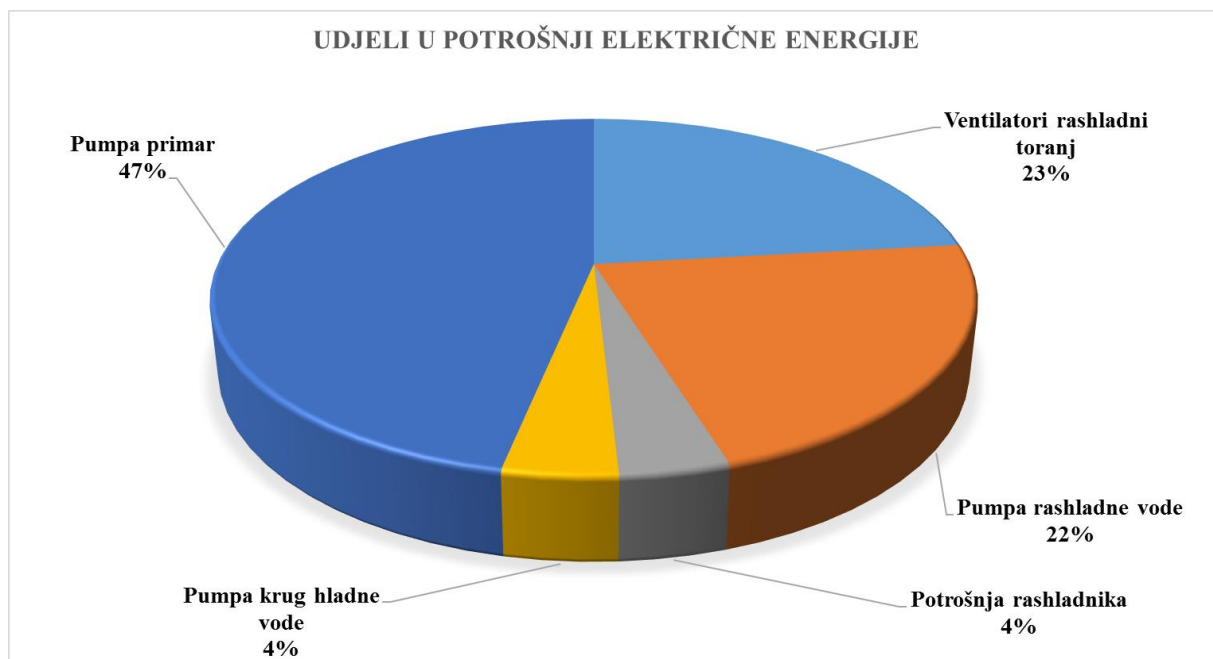
Maksimalne vrijednosti unutar pojedinog mjeseca					
	Rashladno opterećenje – Apsorpcijski rashladnik[MW]	Predano ventilkonvektori – potrošači [MW]	Električna energija [MW]	Vrela voda [m ³ /h]	Voda [m ³]
travanj	16,2	9,5	0,8	1955,0	41,9
svibanj	16,2	9,8	0,8	1955,0	43,8
lipanj	16,2	10,3	0,8	1955,0	38,8
srpanj	12,9	10,8	0,8	1955,0	35,3
kolovoz	12,7	10,6	0,8	1955,0	34,4
rujan	16,2	10,9	0,8	1955,0	42,2
listopad	16,2	10,9	0,8	1955,0	42,7



Slika 26. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja



Slika 27. Udjeli u potrošnji ukupne energije



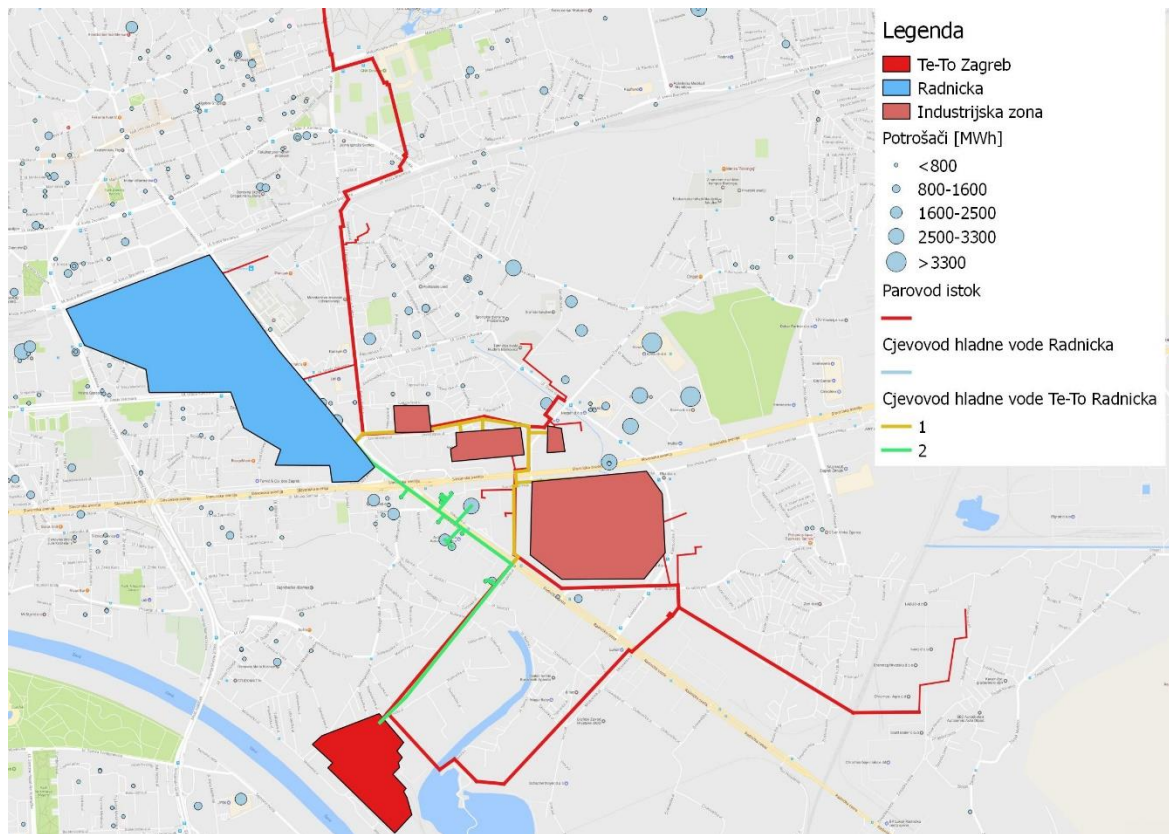
Slika 28. Udjeli u potrošnji električne energije

4.6 Mapiranje - Centralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji EL-TO

Za postupak procjene potrošnje rashladne energije i energenata za potrebe proizvodnje rashladnog učinka „mapiranja“ ostalih potencijalnih potrošača korišteni su referentni podaci iz simulacije „Centralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE-TO – Radnička cesta“. Provedeno je normaliziranje (svođenje na specifične vrijednosti kao u Tablica 61.) vrijednosti dobivenih provedenom simulacijom. Očitavanje postojećih potrošača i njihovih površina napravljeno je uz pomoć računalnog alata qGIS. Potencijalni budući potrošači (hlađene površine) su dobiveni na temelju površina ocrtanih u računalnom alatu qGIS i omjera površina hlađena/površina kvadrata (na temelju postojećeg stanja iz Radničke ceste). Vidi Slika 29.

Tablica 61. Prikaz normaliziranih parametara

Stavka	Svedeno na:
Hlađenje predano ventilokonvektorom	Površina hlađenja
Energija predana na izmjenjivaču	Površina hlađenja
Q_o - učin isparivača (apsorpcijski uređaj)	Površina hlađenja
Q_g - učin kuhala (apsorpcijski uređaj)	Površina hlađenja
Q_k - učin kondenzatora (apsorpcijski uređaj)	Površina hlađenja
Q_o - učin isparivača (kompresijski uređaj)	Površina hlađenja
Q_k - učin kondenzatora (kompresijski uređaj)	Površina hlađenja
Toplina predana na izmjenjivaču (Sava)	Površina hlađenja
Snaga apsorpcijskog rashladnika	Površina hlađenja
Snaga - pumpa primara	Snaga motora pumpe
Snaga pumpa - krug proizvodnje	Snaga motora pumpe
Pomoćna energija - apsorpcijski rashladnik	Snaga motora pumpe
Snaga pumpa - Rashladna voda 1	Snaga motora pumpe
Snaga pumpa - Rashladna voda 2	Snaga motora pumpe
Snaga pumpa - Rashladna voda 3	Snaga motora pumpe
Potrošnja pare	Učin kuhala



Slika 29. Ocrtane površine postojećih (Radnička) i potencijalnih (Industrijska zona) potrošača u qGIS-u

Na temelju formule $P = (q \cdot \rho \cdot h \cdot g) / (3600 \cdot \eta)$ izračunate su snage P [W] svih pumpi gdje su:

q - protok [m³/h]

ρ - gustoća, 1.000 kg/m³ [kg/m³]

h - visina dobave [m]

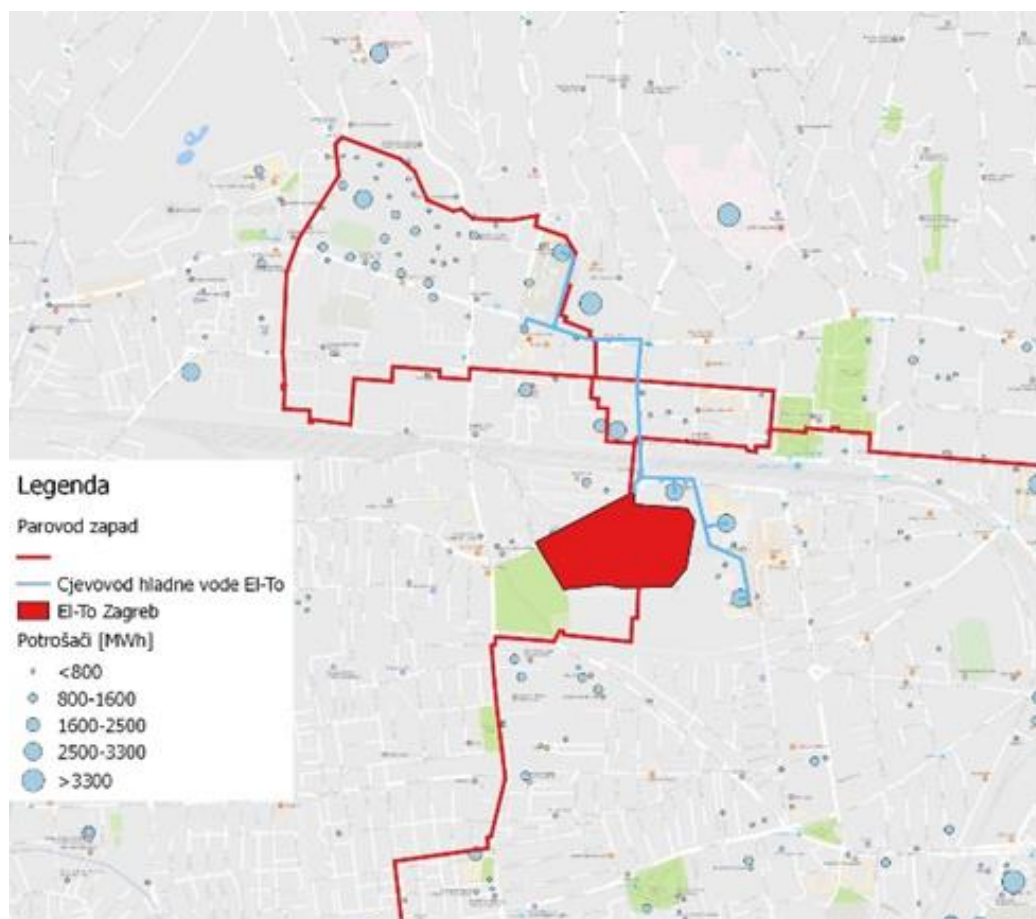
g - gravitacijsko ubrzanje, 9,81 [m/s²]

η - efikasnost pumpe, 0,81 [-]

Protok u krugu primara je dobiven temeljem rashladnog opterećenja (dobivenog iz hlađenih površina i prosječne snage) i promjene temperature na izmjenjivaču od 10°C, a visina dobave preuzeta iz simulacije „Centralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE-TO – Radnička cesta“ svedena je na duljinu cjevovoda. Protok kruga proizvodnje jednak je protoku primara uz visinu dobave od 10 m. Protok rashladne vode kroz izmjenjivač (Sava) dobiven je određivanjem maksimalne vrijednosti rashladnog opterećenja u periodu slobodnog hlađenja vodom iz rijeke Save uz promjenu temperature vode od 5°C. Protok

rashladne vode kroz apsorpcijski rashladnik preuzet je od proizvođača i sveden na snagu rashladnika kao i podaci o potrošnji električne energije apsorpcijskog rashladnika.

Tablica 62. i Tablica 63. prikazuju rezultate mapiranja za slučaj „Centralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji EL-TO“. Na slika 34. nalazi se prikaz trasa cjevovoda i potrošača.



Slika 30 Trasa cjevovoda i potrošači – EL-TO

Tablica 62. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja - topline

Mjesečni podaci o potrošnji za vrijeme sezone hlađenja									
TOPLINE									
	Apsorpcijski rashladnik - potrošnja pare (uložena energija)		Apsorpcijski rashladnik - COP	Apsorpcijski rashladnik - rashladni učin (proizvedena energija)	Rijeka Sava - rashladni učin	Električni rashladnik - rashladni učin (proizvedena energija)	Električni rashladnik - COP	Rashladna energija na izmjenjivaču (naplaćena energija)	Rashladna energija na ventilima konvektorima
	t/mj	kWh/mj							
travanj	85,20	57.690,25	-	93.720,50	-	-	-	82.097,75	67.188,54
svibanj	284,53	192.664,75	1,59	305.840,06	-	-	-	296.697,92	267.112,01
lipanj	560,45	379.497,31	1,52	578.026,72	-	-	-	567.805,13	535.529,95
srpanj	746,79	505.676,04	1,51	762.431,65	-	-	-	752.394,57	717.704,82
kolovoz	680,44	460.750,00	1,51	695.646,50	-	-	-	685.583,23	651.769,36
rujan	325,75	220.577,76	1,54	340.257,12	-	-	-	330.541,18	304.093,61
listopad	54,57	36.952,18	-	59.560,36	-	-	-	50.088,19	33.212,65
UKUPNO	2.737,72	1.853.808,30	-	2.835.482,90	-	-	-	2.765.207,98	2.576.610,94

Tablica 63. Mjesečni podaci o potrošnji energije za vrijeme sezone hlađenja – električna energija i voda

Mjesečni podaci o potrošnji za vrijeme sezone hlađenja										
ELEKTRIČNA ENERGIJA										VODA
Ventilatori (rashladni toranj)	Pumpa rashladne vode1	Pumpa rashladne vode2	Pumpa rashladne vode3	Potrošnja rashladnika	Snaga električnog kompresora	Pumpa - krug hladne vode	Pumpa primar	Ukupno - električna energija	Dopuna rashladnog tornja	
kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	kWh/mj	m ³ /mj	
travanj	18.111,05	3.664,56	-	-	667,59	-	1.348,94	37.765,47	61.557,61	200,61
svibanj	21.376,53	9.912,71	-	-	1.805,85	-	3.648,89	37.802,29	74.546,28	658,48
lipanj	25.850,98	15.712,31	-	-	2.862,39	-	5.783,74	39.835,80	90.045,21	1.258,99
srpanj	28.513,54	18.813,66	-	-	3.427,37	-	6.925,36	40.393,21	98.073,14	1.688,36
kolovoz	27.690,57	17.604,02	-	-	3.207,01	-	6.480,09	39.663,74	94.645,44	1.506,36
rujan	22.039,99	10.759,80	-	-	1.960,16	-	3.960,71	37.776,90	76.497,57	701,92
listopad	18.135,00	2.408,43	-	-	438,76	-	886,55	38.968,56	60.837,29	116,28
UKUPNO	161.717,66	78.875,49	-	-	14.369,13	-	29.034,28	272.205,98	556.202,54	6.130,99

4.7 Sumarni rezultati provedene energetske analize

U sljedećim tablicama prikazani su sumarni rezultati provedene energetske analize u krugu proizvodnih pogona TE-TO i EL-TO. Tablica 64. prikazuje rezultate provedene energetske analize svih promatranih sustava daljinskog hlađenja u krugu proizvodnih pogona TE-TO sa sljedećim skupinama podataka: potrošnja rashladne energije, proizvodnja rashladne energije, nazivni parametri sustava daljinskog hlađenja, potrošnja energije i vode sustava daljinskog hlađenja, tehničke karakteristike rashladne opreme. Tablica 65. prikazuje rezultate mapiranja za slučaj EL-TO.

Tablica 64. Rezultati provedene energetske analize svih promatranih sustava u krugu proizvodnog pogona TE-TO

TE - TO				
Stavka	Radnička dislocirano	Radnička TE-TO	Aleja dislocirano, vrela voda	Aleja TE-TO
<i>Potrošnja rashladne energije</i>				
Ukupna površina zgrada koje se hlade [m ²]	336.101	336.101	308.113	479.292
Ukupna površina prostora koji se hladi (0,7 x gornji redak) [m ²]	229.743	229.743	215.679	335.504
Specifični rashladni učinak hlađenja [W/m ²]	70	70	70	70
Specifična godišnja energija hlađenja [kWh/m ² god]	33,7	33,7	33,5	33,3
Ukupna godišnja/sezonska energija hlađenja [MWh/god]	8.303,7	8.224,5	7.732,8	11.856,7
<i>Proizvodnja rashladne energije</i>				
Ukupna godišnja/sezonska proizvedena energija hlađenja [MWh/god]	8.514,7	8.123,2	7.882,3	11.694,7
Ukupna godišnja/sezonska energija hlađenja iz rijeke Save [MWh/god]	-	354,3	-	490,5

TE - TO				
Stavka	Radnička dislocirano	Radnička TE-TO	Aleja dislocirano, vrela voda	Aleja TE-TO
<i>Nazivni parametri sustava daljinskog hlađenja</i>				
Rashladni učinak [MW]	11,5	11,5	10,5	20,4
Ogrjevni učinak pare [t/h]	12,2	11,4	0	16,3
Ogrjevni učinak pare [MW]	8,25	7,7	0	11,1
Ogrjevni učinak vrele vode [MW]	-	-	14,1	-
Učinak rashladnog tornja [MW]	20,1	-	25,1	-
Učinak izmjenjivača topline slobodnog hlađenja rijekom Savom [MW]	-	5,3	0	8,3
Električna snaga [MW]	1	1	0,9	1
Nazivni protok rashladne vode (ili iz Save ili nadopune iz gradskog vodovoda) [m ³ /h]	26,7	-	33,7	-

TE - TO				
Stavka	Radnička dislocirano	Radnička TE-TO	Aleja dislocirano, vrela voda	Aleja TE-TO
<i>Potrošnja energije i vode sustava daljinskog hlađenja</i>				
Potrošnja pare [t/god]	8.221,1	7.596,3	-	10.949,8
Potrošnja pare [MWh/god]	5.566,8	5.143,7	-	7.414,4
Potrošnja vrele vode [m ³ /god]	-	-	10.040.880	-
Potrošnja vrele vode [MWh/god]	-	-	10.412,4	-
Potrošnja električne energije [MWh/god]	2.100,2	1.892,4	1.401,3	2.010,4
Potrošnja vode (vodovodne vode za nadopunu sustava rashladnog tornja u slučaju dislocirane pripreme rashladnog učinka) [m ³ /god]	18.410,8	-	24.099	-

TE - TO				
Stavka	Radnička dislocirano	Radnička TE-TO	Aleja dislocirano, vrela voda	Aleja TE-TO
<i>Tehničke karakteristike rashladne opreme</i>				
Broj apsorpcijskih rashladnika vode i jedinični učinak [br x MW]	1 x 9,3 + 1 x 3,5	1 x 9,3 + 1 x 3,5	1 x 10,2 + 1 x 6,1	1 x 9,3 + 1 x 3,5
Broj centrifugalnih rashladnika vode i jedinični učinak [br x MW]	-	-	-	-
Broj jedinica rashladnog tornja i jedinični učinak [br x MW]	4 x 5	-	5 x 5	-
Karakteristike pumpi primarnog kruga [broj paralelno spojenih pumpi, dp i Q]	2; 10 bara; 1380 m ³ /h	2; 12,3 bara; 1380 m ³ /h	2; 6,2 bara; 1330 m ³ /h	2; 13,5 bara; 2010 m ³ /h
Karakteristike pumpi u krugu rashladnika vode [broj paralelno spojenih pumpi, dp i Q]	2; 1 bar; 1380 m ³ /h	2; 1 bar; 1380 m ³ /h	2; 1 bar; 1330 m ³ /h	2; 1 bar; 2010 m ³ /h
Karakteristike pumpi kruga rashladnog tornja ili kondenzatora u slučaju hlađenja vodom rijeke Save [broj paralelno spojenih pumpi, dp i Q]	2; 1,5 bar; 3750 m ³ /h	2; 1 bar; 3750 m ³ /h 2; 1 bar; 937 m ³ /h	2; 1,5 bar; 4690 m ³ /h	2; 1 bar; 5000 m ³ /h 2; 1 bar; 1270 m ³ /h
Temperaturni režim izmjenjivača primarnog kruga (kod potrošača) [°C/°C]	7/12-krug sekundar 5/10-krug primar	7/12-krug sekundar 5/10-krug primar	7/12-krug sekundar 5/10-krug primar	7/12-krug sekundar 5/10-krug primar
Temperaturni režim izmjenjivača slobodnog hlađenja rijekom Savom [°C/°C]	-	16/14 Maksimalni 22/17	-	16/14 Maksimalni 22/17

TE - TO				
Stavka	Radnička dislocirano	Radnička TE-TO	Aleja dislocirano, vrela voda	Aleja TE-TO
<i>Ukupna duljina cjevovoda hladne vode (polaz i povrat) [m]</i>				
DN 700	-	-	-	-
DN 600		-	-	7.290
DN 500	-	-	-	588
DN 450	-	-	-	840
DN 400	277	4.743	1.350	414
DN 350	154	987	500	268
DN 300	-	-	260	428
DN 250	662	697	440	220
DN 200	2.279	2.758	140	244
DN 150	1.585	1.585	964	3.436
DN 125	1.109	1.109	220	1.700
DN 100	1.042	1.042	1.062	1.044
DN 80	-	-	300	812
DN 65	-	-	754	343
DN 40	-	-	-	268
DN 32	-	-	112	470
DN 25	-	-	104	188

Tablica 65. Rezultati provedene energetske analize svih promatranih sustava u krugu proizvodnog pogona EL-TO

EL - TO	
Stavka	EL - TO
<i>Potrošnja rashladne energije</i>	
Ukupna površina zgrada koje se hlade [m ²]	109.294
Ukupna površina prostora koji se hladi (0,7 x gornji redak) [m ²]	76.506
Specifični rashladni učinak hlađenja [W/m ²]	70
Specifična godišnja energija hlađenja [kWh/m ² god]	33,6
Ukupna godišnja/sezonska energija hlađenja [MWh/god]	2.765,2
<i>Proizvodnja rashladne energije</i>	
Ukupna godišnja/sezonska proizvedena energija hlađenja [MWh/god]	2.835,5
Ukupna godišnja/sezonska energija hlađenja iz rijeke Save [MWh/god]	-
<i>Nazivni parametri sustava daljinskog hlađenja</i>	
Rashladni učinak [MW]	3,8
Ogrjevni učinak pare [t/h]	4,1
Ogrjevni učinak pare [MW]	2,7
Ogrjevni učinak vrele vode [MW]	-
Učinak rashladnog tornja [MW]	6,7
Učinak izmjenjivača topline slobodnog hlađenja rijekom Savom [MW]	-
Električna snaga [MW]	0,3
Nazivni protok rashladne vode (ili iz Save ili nadopune iz gradskog vodovoda) [m ³ /h]	8,9
<i>Potrošnja energije i vode sustava daljinskog hlađenja</i>	
Potrošnja pare [t/god]	2.737,7
Potrošnja pare [MWh/god]	1.853,8
Potrošnja vrele vode [m ³ /god]	-
Potrošnja vrele vode [MWh/god]	-
Potrošnja električne energije [MWh/god]	556,2
Potrošnja vode (vodovodne vode za nadopunu sustava rashladnog tornja u slučaju dislocirane pripreme rashladnog učinka) [m ³ /god]	6.131
<i>Tehničke karakteristike rashladne opreme</i>	
Broj apsorpcijskih rashladnika vode i jedinični učinak [br x MW]	1 x 3,5
Broj centrifugalnih rashladnika vode i jedinični učinak [br x MW]	-
Broj jedinica rashladnog tornja i jedinični učinak [br x MW]	2 x 5
Karakteristike pumpi primarnog kruga [broj paralelno spojenih pumpi, dp i Q]	2; 7,4 bara; 460 m ³ /h
Karakteristike pumpi u krugu rashladnika vode [broj paralelno spojenih pumpi, dp i Q]	2; 1 bar; 460 m ³ /h
Karakteristike pumpi kruga rashladnog tornja ili kondenzatora u slučaju hlađenja vodom rijeke Save [broj paralelno spojenih pumpi, dp i Q]	2; 1,5 bar; 936 m ³ /h
Temperaturni režim izmjenjivača primarnog kruga (kod potrošača) [°C/°C]	7/12-krug sekundar 5/10-krug primar
Temperaturni režim izmjenjivača slobodnog hlađenja rijekom Savom [°C/°C]	-
Ukupna duljina cjevovoda hladne vode (polaz i povrat) [m]	
DN 250	110
DN 200	190
DN 150	1.716
DN 125	898
DN 100	126
DN 65	502

5. PRIJEDLOG MODELA POSLOVANJA DALJINSKOG SUSTAVA HLAĐENJA

5.1 Investicijski troškovi sustava daljinskog hlađenja

U sljedećoj tablici prikazane su cijene pojedinih dijelova sustava daljinskog hlađenja. Cijene izgradnje cjevovoda prikazane su u prethodnom poglavlju.

Tablica 66. Investicijski troškovi sustava daljinskog hlađenja

Oprema		Cijena
Apsorpcijski rashladnik vode (dvostupanjski) pogonjen parom		150.000 EUR/MW _{hlađenja}
Apsorpcijski rashladni uređaj (jednostupanjski) pogonjen vrelom vodom		140.000 EUR/MW _{hlađenja}
Rashladnik vode s centrifugalnim kompresorom pogonjen električnom energijom		85.000 EUR/MW _{hlađenja}
Transport i postavljanje rashladnika vode		15.000 EUR/ MW _{hlađenja}
Parni cjevovod s armaturom		12.000 EUR/MW _{pare}
Distribucijski cjevovod hladne vode (primarni krug)		500 EUR/m [8]
Pumpe primarnog kruga		4.000 EUR/MW _{hlađenja}
Inercijski spremnik hladne vode		150 EUR/m ³
Pumpa rashladnika vode (od rashladnika do spremnika)		2.000 EUR/MW _{hlađenja}
Rashladni toranj		17.000 EUR/MW _{topline}
Sustav za pripremu vode	Kemijska priprema	7.500 EUR + 1.500 EUR/ MW _{topline} (doziranje kemikalija)
	Ozonom	22.000 EUR + 3.000/ MW _{topline} (doziranje ozona)
Cjevovod u krugu rashladnog tornja te pumpe rashladne vode		14.500 EUR/MW _{topline}
Izmjenjivač topline		40.000 EUR/MW _{hlađenja}
Rashladna podstanica s upravljanjem		250 kW _{hlađenja} = 60 EUR/kW _{hlađenja} 400 kW _{hlađenja} = 50 EUR/kW _{hlađenja} 1 MW _{hlađenja} = 32 EUR/kW _{hlađenja} 1,5 MW _{hlađenja} = 30 EUR/kW _{hlađenja}
CNUS - Centralni nadzorno-upravljački sustav rashladnog postrojenja (SCADA)		30.000,00 EUR
Građevinski radovi		12.000 EUR/MW _{hlađenja} [24]
Rasklopno postrojenje (trafostanica) te ostali elektro troškovi		145.000 EUR/MW _{el.snage}

5.2 Troškovi održavanja i ostali tekući troškovi sustava daljinskog hlađenja

U sljedećoj tablici prikazani su troškovi održavanja sustava daljinskog hlađenja.

Tablica 67. Ostali troškovi sustava daljinskog hlađenja

Stavka		Jedinična cijena
Održavanje apsorpcijskih rashladnika vode		7.500 EUR/MW _{hl} god [24]
		3% cijene rashladnika EUR/god [25]
		1% cijene rashladnika EUR/god [26]
Održavanje centrifugalnih rashladnika vode		7.500 EUR/MW _{hl} god [24]
		3,5% cijene rashladnika EUR/god [25]
		4% cijene rashladnika EUR/god [26]
Obrada vode	Kemijskim putem	0,0006 EUR/kWh _{topline}
	Ozonom	-
Čišćenje i održavanje		0,0003 EUR/kWh _{topline}

5.3 Pogonski troškovi sustava daljinskog hlađenja

5.3.1 Decentralizirano rashladno postrojenje sustava daljinskog hlađenja

U slučaju kada se rashladno postrojenje sustava daljinskog hlađenja nalazi van proizvodnih pogona TE-TO i EL-TO važeće su tržišne cijene energije. U sljedećoj tablici prikazane su cijene energije na području Zagreba definirane od strane pojedine tvrtke kćeri društva HEP d.d. i vode od strane tvrtke Vodoopskrbe i odvodnje d.o.o. za ožujak 2017. godine. Sve cijene navedene su bez PDV-a. Računi se ispostavljaju na mjesečnoj bazi.

Tablica 68. Tržišne cijene energije i vode

Energent	Stavka		Iznos	
Cijena pare	Zakup snage		Proizvodnja	3.980,57 kn/(t/h)
			Toplinarstvo	4.194,64 kn/(t/h)
	Energija		Proizvodnja	232,5521 kn/t
			Toplinarstvo	55,7079 kn/t
Cijena vrela vode (industrija i poslovni korisnici)	Zakup snage		Proizvodnja	5,86 kn/kW
			Distribucija	6,17 kn/kW
	Energija		Proizvodnja	0,305 kn/kWh
			Distribucija	0,035 kn/kWh
Cijena električne energije, model HEP PRO	Mrežarina		NT*	0,02 kn/kWh
			VT**	0,05 kn/kWh
			SV***	14,50 kn/kW
			JT****	0,16 kn/kVArh
	Energija		NT	0,2203 kn/kWh
			VT	0,4014 kn/kWh
			OIE*****	0,035 kn/kWh
Cijena električne energije, model poduzetništvo crveni	Mrežarina	Prijenos	VT	0,05 kn/kWh
			NT	0,02 kn/kWh
			SV	14,50 kn/kW
	Distribucija	VT	0,2 kn/kWh	
		NT	0,1 kn/kWh	
		SV	30,00 kn/kW	
	Energija	NT	0,65 kn/kWh	
		VT	0,38 kn/kWh	
		OIE	0,035 kn/kWh	
Vodovodna voda	Voda		25,705 kn/m ³	
	Priključak		266,00 kn/mj	

* potrošnja u vrijeme niske tarife; ** potrošnja u vrijeme visoke tarife; *** zakup snage; **** jalova energija; ***** naknada za obnovljive izvore energije

5.3.2 Rashladno postrojenje sustava daljinskog hlađenja izvedeno u sklopu proizvodnih pogona TE-TO i EL-TO

U slučaju kada se rashladna energija proizvodi rashladnim postrojenjem koje je izvedeno u sklopu proizvodnih pogona TE-TO i EL-TO za očekivati je da će cijena energije za pogon rashladnog postrojenja biti niža nego tržišna, odnosno ona po kojoj ih dotično poduzeće prodaje na hrvatskom tržištu i Gradu Zagrebu.

Postavlja se pitanje kolika je cijena proizvedene pare i električne energije potrebne za pogon apsorpcijskih rashladnika vode te vode za hlađenje kondenzatora rashladnih uređaja. Uz cijene energenta potrebnih za pogon kogeneracijskog postrojenja te niz pretpostavki o načinu rada postrojenja moguće je procijeniti cijenu dodatno proizvedene pare potrebne za pogon apsorpcijskih rashladnika vode:

- Cijena plina za pogon kogeneracijskog postrojenja iznosi 24 €/MWh ili 0,18 kn/kWh.
- Satna kretanja cijene električne energije relevantne za hrvatsko tržište nalazi se na stranicama mađarske burze (www.hupx.hu). U prošloj godini cijene električne energije su se kretale od najniže vrijednosti svega par eura za MWh pa sve do 100 €/MWh. Prosječne mjesečne vrijednosti električne energije za 2016. godinu prikazane su u sljedećoj tablici.

Tablica 69. Prosječne cijene električne energije na mađarskoj burzi za 2016. godinu

Mjesec	Iznos [€/MWh]
Siječanj	43,10
Veljača	26,42
Ožujak	25,84
Travanj	29,18
Svibanj	27,16
Lipanj	32,75
Srpanj	35,18
Kolovoz	33,00
Rujan	36,45
Listopad	45,60
Studeni	40,64
Prosinac	49,13
GODIŠNJI PROSJEK	35,43

- Sukladno navedenom, cijena električne energije koja se dodatno proizvede kogeneracijskim postrojenjem radi povećane potrošnje pare za pogon apsorpcijskih rashladnika vode, a koju je djelomično potrebno utrošiti za rad rashladnog postrojenja, a djelom moguće prodati na europskom tržištu iznosi 35 €/MWh.
- U vrijeme ljetnih mjeseci kada je toplinski konzum smanjen (pare i vrele vode koja se gotovo isključivo troši za pripremu potrošne tople vode), radi donjeg praga iskoristivosti bloka L od 0,8 (TE-TO), proizvodi se manje električne energije nego u vrijeme zimskih mjeseci. U vrijeme ljetnih mjeseci korisnost kogeneracijskog postrojenja održava se između vrijednosti 0,78 i 0,8, dok se u vrijeme zimskih mjeseci taj prag održava na 0,81 do 0,82. Na taj način korisnost bloka L u godišnjem prosjeku iznosi 0,8 što je i zakonski obvezujući prag za financijsko poticanje proizvedene električne energije (samo iz tog bloka i do 2025 godine). Iz tog razloga svako povećanje toplinskog konzuma tijekom ljetnih mjeseci omogućit će povećanje proizvodnje električne energije i/ili povećanje korisnosti postrojenja.
- Tijekom ljetnih mjeseci (lipanj, srpanj i kolovoz) radi manje potrošnje toplinske energije, električna energija proizvodi se samo blokom L.
- Prilikom proračuna cijene dodatno proizvedene pare nisu uzeti u obzir financijski poticaji radi dodatno proizvedene električne energije.
- Korisnost kogeneracijskog postrojenja u postojećem slučaju (kada se ne proizvodi dodatna para za pogon apsorpcijskih rashladnika vode) i u slučaju kada se proizvodi dodatna para za pogon apsorpcijskih rashladnika vode iznosi 0,815.
- 1 t/h pare odgovara 0,68677 MW toplinske snage.
- Korisnosti kogeneracijskog postrojenja izračunava se prema izrazu $\eta = (EE + PP + VV)/G$ [-], gdje su EE proizvedena električna energija, PP proizvedena para, VV proizvedena vrela voda, a G potrošen plin za pogon postrojenja.
- U slučaju kad se pojavljuje dodatna potreba za parom, a potrošnja vrele vode ostaje nepromijenjena plin koji je potrebno potrošiti kako bi se namirila dodatna potreba može se izračunati prema izrazu $G_2 = (\Delta EE + \Delta PP + \eta_1 \cdot G_1) / \eta_2$ [-], gdje su G_2 potrošnja plina nakon porasta proizvodnje pare, ΔEE dodatno proizvedena električna energija, ΔPP dodatno proizvedena para za pogon apsorpcijskih rashladnika vode, η_1 korisnost kogeneracijskog

postrojenja prije porasta potrebe za dodatnom parom, G_1 potrošnja plina prije porasta potrebe za dodatnom parom.

- Pretpostavlja se da je dodatno proizvedena električna energija jednaka dodatno proizvedenoj energiji pare ($\Delta EE/\Delta PP=1$).
- Uz pretpostavku da prilikom porasta potrebne dodatne količine pare ne raste korisnost kogeneracijskog postrojenja, odnosno $\eta_1=\eta_2=\eta$, proračun dodatne količine plina koju je potrebno potrošiti izvodi se prema izrazu $\Delta G=2\cdot\Delta PP/\eta$.

Sažetak rezultata provedenog proračuna za slučaj proizvodnje dodatne pare za potrebe hlađenja potrošača u Radničkoj ulici prikazani su u sljedećoj tablici.

Tablica 70. Cijena proizvedene pare postrojenjem TE-TO za slučaj hlađenja Radničke sa slobodnim hlađenjem rijekom Savom

Stavka	Iznos
Dodatna potrošnja pare potrebna za pogon rashladnika vode [MWh/god]	5.216,90
Dodatno proizvedena električna energija [MWh/god]	5.216,90
Dodatna potrošnja plina [MWh/god]	12.802,22
Trošak dodatno potrošenog plina [MWh/god]	2.304.399,33
Zarada od prodaje električne energije [kn/god]	1.369.437,31
TROŠAK ZA PROIZVEDENU PARU [kn]	934.962,02
SPECIFIČNI TROŠAK ZA PROIZVEDENU PARU [kn/MWh]	179,22

Sukladno proračunatom, specifična cijena dodatno proizvedene pare iznosi 179,22 kn/MWh ili oko 0,18 kn/kWh.

5.4 Rezultati pojednostavljene ekonomske analize

5.4.1 Rezultati prihoda i troškova promatranih modela sustava u krugu proizvodnog pogona TE-TO

Na osnovu rezultata prethodno provedene energetske analize te definiranih specifičnih troškova za energiju i vodu, održavanje te ulaganje u sustav daljinskog hlađenja u sljedećoj tablici prikazani su sumarni rezultati prihoda i troškova svih promatranih modela sustava u krugu proizvodnog pogona TE-TO korišteni kao podloga za daljnju izradu ekonomske analize pojedinog slučaja.

Godišnji prihod od prodaje rashladne energije i snage te jednokratnog troška priključenja potrošača na daljinski sustav hlađenja izračunat je na osnovu predložene tarife:

- cijena rashladne energije iznosi 0,4875 kn/kWh/mj,
- cijena rashladne snage iznosi 30,00 kn/kWh/mj, a zakup se plaća 12 mjeseci,
- jednokratni trošak za priključenje potrošača na daljinski sustav hlađenja iznosi 30% cijene koštanja vlastitog rashladnog uređaja (2.500,00 kn/kW rashladnog učinka).

Uz ovako definirane tarifne stavke, miješana cijena rashladne energije iznosila bi 1,00 kn/kWh hlađenja.

Tablica 71. Rezultati prihoda od prodaje rashladne energije i snage te troškova za energiju i vode te ulaganja u sustav daljinskog hlađenja za sve promatrane modele sustava u krugu proizvodnog pogona TE-TO

Stavka	Radnička dislocirano	Radnička TE-TO	Aleja dislocirano, vrela voda	Aleja TE-TO	Pretpostavke
<i>Prihod od prodaje rashladne energije</i>					
Prihod od prodaje rashladne snage [kn/god]	5.789.524	5.789.524	5.435.111	8.454.701	Rashladna snaga se izračunava prema potrebama potrošača, a ne prema učinku rashladnog postrojenja. Cijena zakupa iznosi 30,00 kn/kW/mj zakupljene rashladne snage. Zakup rashladne snage plaća se 12 mjeseci.
Prihod od prodaje rashladne energije [kn/god]	2.490.786	2.467.341	2.319.813	3.556.593	Cijena rashladne energije iznosi 0,30 kn/kWh/mj.
Prihod od priključenja korisnika na sustav [kn]	12.061.508	12.061.508	11.323.148	17.613.960	Cijena priključenja potrošača na sustav iznosi 30% cijene koštanja vlastitog rashladnog uređaja (2.500,00 kn/kW rashladnog učinka).
<i>Troškovi energije i vode</i>					
Troškovi za paru [kn/god]	3.565.690	925.869	-	1.341.760	Cijena pare iznosi 0,18 kn/kWh za proizvodnju u krugu TE-TO i EL-TO. Cijena pare ili vrela vode za dislociranu proizvodnju rashladnog učinka je tržišna cijena oglašena od strane HEP-a.
Troškovi za vrelu vodu [kn/god]	-	-	5.580.015	-	Cijena pare ili vrela vode za dislociranu proizvodnju rashladnog učinka je tržišna cijena oglašena od strane HEP-a.
Troškovi za električnu energiju [kn/god]	882.593	503.383	617.401	746.447	Cijena el. en. za proizvodnju u krugu TE-TO i EL-TO iznosi 35,43 €/MWh ili 0,266 kn/kWh. Cijena el. en. za dislociranu proizvodnju rashladnog učinka je tržišna cijena oglašena od strane HEP-a.
Troškovi za vodu [kn/god]	476.441	-	622.658	-	Cijena vode za dislociranu proizvodnju rashladnog učinka je tržišna cijena vode za grad Zagreb.

Stavka	Radnička dislocirano	Radnička TE-TO	Aleja dislocirano, vrela voda	Aleja TE-TO	Pretpostavke
<i>Troškovi ulaganja</i>					
Rashladnik vode [kn]	12.903.750,00	12.903.750,00	11.014.500,00	22.927.500,00	Specifična cijena parom pogonjenog dvostupanjskog apsorpcijskog rashladnika vode iznosi 150.000,00 €/MW _{hl} . Specifična cijena vrelom vodom pogonjenog jednostupanjskog apsorpcijskog rashladnika vode iznosi 140.000,00 €/MW _{hl} .
Transporta i postavljanja rashladnika [kn]	1.290.375,00	1.290.375,00	1.180.125,00	2.292.750,00	Specifična cijena transporta i postavljanja rashladnika iznosi 15.000,00 €/MW _{hl} .
Parni cjevovod s armaturom [kn]	742.500,00	693.900,00	-	994.500,00	Specifična cijena izrade parnog cjevovoda s armaturom iznosi 12.000,00 €/MW _{učinak pare} .
Pumpe primarnog kruga cjevovoda do potrošača [kn]	344.100,00	344.100,00	314.700,00	611.400,00	Specifična cijena pumpi primarnog kruga cjevovoda do potrošača iznosi 4.000,00 €/MW _{hl} .
Inercijski spremnik hladne vode [kn]	-	-	-	-	Nije promatran u ovim slučajevima.
Rashladni toranj [kn]	2.562.750,00	-	3.193.875,00	-	Specifična cijena rashladnog tornja iznosi 17.000,00 €/MW _{hl} .
Sustava za pripremu vode kruga rashladnog tornja [kn]	282.375,00	-	338.062,50	-	Specifična cijena sustava za pripremu vode kruga rashladnog tornja iznosi 7.500,00 € i 1.500,00 €/MW _{topline} .
Cjevovod u krugu rashladnog tornja/ riječne vode te pumpe rashladne vode [kn]	2.144.550,00	2.085.825,00	1.140.787,50	3.418.012,50	Specifična cijena cjevovoda u krugu rashladnog tornja/riječne vode uključivo s pumpama rashladne vode za potrebe hlađenja kondenzatora rashladnog uređaja iznosi 14.500,00 €/MW _{topline} .
Izmjenjivač topline hlađenja kondenzatora rijekom Savom [kn]	-	767.200,00	-	1.257.200,00	Specifična cijena izmjenjivača topline za hlađenje kondenzatora rijekom Savom iznosi 40.000,00 kn/MW _{topline} .
Izmjenjivač topline slobodno hlad. [kn]	-	212.800,00	-	330.800,00	Specifična cijena izmjenjivača topline sustava slobodnog hlađenja rijekom Savom iznosi 40.000,00 kn/MW _{topline} .

Stavka	Radnička dislocirano	Radnička TE-TO	Aleja dislocirano, vrela voda	Aleja TE-TO	Pretpostavke
<i>Troškovi ulaganja</i>					
CNUS [kn]	225.000,00	225.000,00	225.000,00	225.000,00	Cijena centralnog nadzornog i upravljačkog sustava centrale daljinskog hlađenja (proizvodnje rashladnog učinka) iznosi 30.000,00 €.
Građevinski radovi [kn]	1.032.300,00	1.032.300,00	944.100,00	1.834.200,00	Specifična cijena pratećih građevinskih radova iznosi 12.000,00 €/MW _{hl} .
Trafostanica [kn]	1.083.150,00	0,00	941.775,00	0,00	Specifična cijena priključenja na elektroenergetski sustav uključivo s izradom trafostanice i ostalim davanjima iznosi 145.000,00 €/MW _{el.snage} .
Rashladna stanica potrošača [kn]	6.030.753,75	6.030.753,75	5.661.573,75	8.806.980,00	Specifična cijena rashladne stanice postavljene kod potrošača uključivo s upravljanjem iznosi 50,00 €/kW _{zakupljene snage hlađenja} .
Cjevovod [kn]	19.431.412,50	50.874.000,00	19.544.587,50	88.269.150,00	Cijena cjevovoda od mjesta proizvodnje do mjesta potrošnje sa svim uključenim troškovima.
<i>Troškovi održavanja i ostali troškovi</i>					
Troškovi održavanja rashladnog postrojenja [kn/god]	258.075,00	258.075,00	220.290,00	458.550,00	Godišnji troškovi održavanja centralnog rashladnog postrojenja iznose 2% cijene ulaganja u apsorpcijske rashladnike vode.
Troškovi održavanja cjevovoda i ostali troškovi [kn/god]	194.314,13	508.740,00	195.445,88	882.691,50	Godišnji troškovi održavanja cjevovoda iznose 1% cijene ulaganja u cjevovod.
Priprema vode za rashladne tornjeve [kn/god]	63.362,11	-	35.469,95	-	Godišnji troškovi pripreme vode za rashladne tornjeve iznose 0,0006 €/kWh _{topline} .
Čišćenje i održavanje rashladnih tornjeva [kn/god]	31.681,05	-	17.734,97	-	Godišnji troškovi za čišćenje i održavanje rashladnih tornjeva iznose 0,0003 €/kWh _{topline} .

* prilikom izračuna cijene cjevovoda hladne vode nije uzeta u obzir mogućnost izvođenja i postavljanja cjevovoda u isti iskop kao i planiranog novog vrelovoda. U tom slučaju cijena cjevovoda hladne vode bila bi značajno manja.

5.4.2 Rezultati pojednostavljene ekonomske analize promatranih modela sustava u krugu proizvodnog pogona TE-TO

U sljedećim tablicama prikazani su rezultati jednostavne ekonomske analize provedene za sve modele sustava daljinskog hlađenja u krugu proizvodnog pogona TE-TO.

Prilikom proračuna pojedinih veličina korištene su sljedeće pretpostavke:

- promatrano razdoblje analize iznosi 20 godina,
- ulaganje u izgradnju sustava daljinskog hlađenja izvodi se u potpunosti u nultoj godini,
- primici u nultoj godini sastoje se od nepovratnih sredstava iz fondova Europske unije u visini 40% ukupnog iznosa ulaganja,
- u slučajevima *Radnička dislocirano*, *TE-TO Radnička*, *Aleja dislocirano*, *vrela voda*, *Aleja TE-TO* od prve do pete godine projekta broj priključenih potrošača raste linearno, odnosno pretpostavlja se da je u prvoj godini priključeno 20% od ukupnog broja prepoznatih potencijalnih potrošača, a u petoj godini 100% potencijalnih potrošača,
- u slučajevima *Radnička dislocirano*, *TE-TO Radnička*, *Aleja dislocirano*, *vrela voda*, *Aleja TE-TO* troškovi za energiju i vodu prate linearan porast priključenih potrošača, odnosno u prvoj godini trošak iznosi 20% ukupnog troška za energiju i vodu, a u petoj godini 100%,
- troškovi održavanja plaćaju se u punom iznosu od prve godine projekta,
- diskontna stopa iznosi 5% godišnje.

Tablica 72. Rezultati ekonomske analize za slučaj – Radnička dislocirano

Godina	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Primici ukupno	19.229.207	4.068.363	5.724.425	7.380.487	9.036.549	10.692.611	8.280.310	8.280.310	8.280.310	8.280.310	8.280.310
<i>Primici od energije</i>	0	498.157	996.314	1.494.472	1.992.629	2.490.786	2.490.786	2.490.786	2.490.786	2.490.786	2.490.786
<i>Primici od snage</i>	0	1.157.905	2.315.809	3.473.714	4.631.619	5.789.524	5.789.524	5.789.524	5.789.524	5.789.524	5.789.524
<i>Prmici od priključaka</i>	0	2.412.302	2.412.302	2.412.302	2.412.302	2.412.302	0	0	0	0	0
Izdaci ukupno	-48.073.016	-1.532.377	-2.517.322	-3.502.266	-4.487.211	-5.472.155	-5.472.155	-5.472.155	-5.472.155	-5.472.155	-5.472.155
<i>Troškovi za energiju i vodu</i>	0	-984.945	-1.969.889	-2.954.834	-3.939.778	-4.924.723	-4.924.723	-4.924.723	-4.924.723	-4.924.723	-4.924.723
<i>Troškovi održavanja</i>	0	-547.432	-547.432	-547.432	-547.432	-547.432	-547.432	-547.432	-547.432	-547.432	-547.432
Novčani tok	-28.843.810	2.535.987	3.207.104	3.878.221	4.549.338	5.220.456	2.808.154	2.808.154	2.808.154	2.808.154	2.808.154
Kumulativ	-28.843.810	-26.307.823	-23.100.719	-19.222.498	-14.673.160	-9.452.704	-6.644.550	-3.836.396	-1.028.242	1.779.913	4.588.067
Novčani tok diskontni	-28.843.810	2.415.225	2.908.938	3.350.153	3.742.752	4.090.364	2.095.488	1.995.703	1.900.669	1.810.161	1.723.963
Kumulativ diskontni	-28.843.810	-26.428.585	-23.519.647	-20.169.494	-16.426.742	-12.336.378	-10.240.890	-8.245.187	-6.344.518	-4.534.357	-2.810.394

Godina	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Primici ukupno	8.280.310	8.280.310	8.280.310	8.280.310	8.280.310	8.280.310	8.280.310	8.280.310	8.280.310	8.280.310
<i>Primici od energije</i>	2.490.786	2.490.786	2.490.786	2.490.786	2.490.786	2.490.786	2.490.786	2.490.786	2.490.786	2.490.786
<i>Primici od snage</i>	5.789.524	5.789.524	5.789.524	5.789.524	5.789.524	5.789.524	5.789.524	5.789.524	5.789.524	5.789.524
<i>Prmici od priključaka</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Izdaci ukupno	-5.472.155	-5.472.155	-5.472.155	-5.472.155	-5.472.155	-5.472.155	-5.472.155	-5.472.155	-5.472.155	-5.472.155
<i>Troškovi za energiju i vodu</i>	-4.924.723	-4.924.723	-4.924.723	-4.924.723	-4.924.723	-4.924.723	-4.924.723	-4.924.723	-4.924.723	-4.924.723
<i>Troškovi održavanja</i>	-547.432	-547.432	-547.432	-547.432	-547.432	-547.432	-547.432	-547.432	-547.432	-547.432
Novčani tok	2.808.154	2.808.154	2.808.154	2.808.154	2.808.154	2.808.154	2.808.154	2.808.154	2.808.154	2.808.154
Kumulativ	7.396.221	10.204.375	13.012.529	15.820.684	18.628.838	21.436.992	24.245.146	27.053.300	29.861.454	32.669.609
Novčani tok diskontni	1.641.870	1.563.685	1.489.224	1.418.309	1.350.770	1.286.448	1.225.188	1.166.846	1.111.282	1.058.364
Kumulativ diskontni	-1.168.524	395.161	1.884.385	3.302.694	4.653.464	5.939.912	7.165.100	8.331.946	9.443.228	10.501.592

Zarada [kn]	32.669.608,69
Neto sadašnja vrijednost, NPV [kn]	10.501.592,17 kn
Interna stopa rentabilnosti, IRR [%]	9,3
Godina povrata ulaganja [god]	9
Godina povrata ulaganja diskontna [god]	12
Odnos koristi i troška, BCR [-]	1,10
Modificiran odnos koristi i troška, BCR modified [-]	1,22

Tablica 73. Rezultati ekonomske analize za slučaj – Radnička TE-TO

Godina	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Primici ukupno	30.584.002	4.063.674	5.715.047	7.366.420	9.017.793	10.669.166	8.256.865	8.256.865	8.256.865	8.256.865	8.256.865
<i>Primici od energije</i>	0	493.468	986.936	1.480.405	1.973.873	2.467.341	2.467.341	2.467.341	2.467.341	2.467.341	2.467.341
<i>Primici od snage</i>	0	1.157.905	2.315.809	3.473.714	4.631.619	5.789.524	5.789.524	5.789.524	5.789.524	5.789.524	5.789.524
<i>Prmici od priključaka</i>	0	2.412.302	2.412.302	2.412.302	2.412.302	2.412.302	0	0	0	0	0
Izdaci ukupno	-76.460.004	-1.052.665	-1.338.516	-1.624.366	-1.910.216	-2.196.067	-2.196.067	-2.196.067	-2.196.067	-2.196.067	-2.196.067
<i>Troškovi za energiju i vodu</i>	0	-285.850	-571.701	-857.551	-1.143.401	-1.429.252	-1.429.252	-1.429.252	-1.429.252	-1.429.252	-1.429.252
<i>Troškovi održavanja</i>	0	-766.815	-766.815	-766.815	-766.815	-766.815	-766.815	-766.815	-766.815	-766.815	-766.815
Novčani tok	-45.876.002	3.011.009	4.376.532	5.742.054	7.107.577	8.473.100	6.060.798	6.060.798	6.060.798	6.060.798	6.060.798
Kumulativ	-45.876.002	-42.864.993	-38.488.461	-32.746.407	-25.638.830	-17.165.730	-11.104.932	-5.044.134	1.016.664	7.077.462	13.138.260
Novčani tok diskontni	-45.876.002	2.867.628	3.969.643	4.960.202	5.847.421	6.638.895	4.522.661	4.307.296	4.102.187	3.906.844	3.720.804
Kumulativ diskontni	-45.876.002	-43.008.375	-39.038.731	-34.078.529	-28.231.108	-21.592.212	-17.069.552	-12.762.255	-8.660.069	-4.753.224	-1.032.420

Godina	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Primici ukupno	8.256.865	8.256.865	8.256.865	8.256.865	8.256.865	8.256.865	8.256.865	8.256.865	8.256.865	8.256.865
<i>Primici od energije</i>	2.467.341	2.467.341	2.467.341	2.467.341	2.467.341	2.467.341	2.467.341	2.467.341	2.467.341	2.467.341
<i>Primici od snage</i>	5.789.524	5.789.524	5.789.524	5.789.524	5.789.524	5.789.524	5.789.524	5.789.524	5.789.524	5.789.524
<i>Prmici od priključaka</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Izdaci ukupno	-2.196.067	-2.196.067	-2.196.067	-2.196.067	-2.196.067	-2.196.067	-2.196.067	-2.196.067	-2.196.067	-2.196.067
<i>Troškovi za energiju i vodu</i>	-1.429.252	-1.429.252	-1.429.252	-1.429.252	-1.429.252	-1.429.252	-1.429.252	-1.429.252	-1.429.252	-1.429.252
<i>Troškovi održavanja</i>	-766.815	-766.815	-766.815	-766.815	-766.815	-766.815	-766.815	-766.815	-766.815	-766.815
Novčani tok	6.060.798	6.060.798	6.060.798	6.060.798	6.060.798	6.060.798	6.060.798	6.060.798	6.060.798	6.060.798
Kumulativ	19.199.058	25.259.856	31.320.654	37.381.452	43.442.250	49.503.048	55.563.847	61.624.645	67.685.443	73.746.241
Novčani tok diskontni	3.543.623	3.374.879	3.214.171	3.061.115	2.915.348	2.776.521	2.644.306	2.518.387	2.398.464	2.284.251
Kumulativ diskontni	2.511.203	5.886.082	9.100.253	12.161.368	15.076.715	17.853.237	20.497.543	23.015.930	25.414.393	27.698.644

Zarada [kn]	73.746.240,82
Neto sadašnja vrijednost, NPV [kn]	27.698.644,30 kn
Interna stopa rentabilnosti, IRR [%]	11,1
Godina povrata ulaganja [god]	8
Godina povrata ulaganja diskontna [god]	11
Odnos koristi i troška, BCR [-]	1,27
Modificiran odnos koristi i troška, BCR modified [-]	1,36

Tablica 74. Rezultati ekonomske analize za slučaj – Aleja dislocirano, vrela voda

Godina	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Primici ukupno	17.799.635	3.815.614	5.366.599	6.917.584	8.468.569	10.019.553	7.754.924	7.754.924	7.754.924	7.754.924	7.754.924
<i>Primici od energije</i>	0	463.963	927.925	1.391.888	1.855.850	2.319.813	2.319.813	2.319.813	2.319.813	2.319.813	2.319.813
<i>Primici od snage</i>	0	1.087.022	2.174.044	3.261.066	4.348.089	5.435.111	5.435.111	5.435.111	5.435.111	5.435.111	5.435.111
<i>Prmici od priključaka</i>	0	2.264.630	2.264.630	2.264.630	2.264.630	2.264.630	0	0	0	0	0
Izdaci ukupno	-44.499.086	-1.832.956	-3.196.970	-4.560.985	-5.925.000	-7.289.014	-7.289.014	-7.289.014	-7.289.014	-7.289.014	-7.289.014
<i>Troškovi za energiju i vodu</i>	0	-1.364.015	-2.728.029	-4.092.044	-5.456.059	-6.820.074	-6.820.074	-6.820.074	-6.820.074	-6.820.074	-6.820.074
<i>Troškovi održavanja</i>	0	-468.941	-468.941	-468.941	-468.941	-468.941	-468.941	-468.941	-468.941	-468.941	-468.941
Novčani tok	-26.699.452	1.982.659	2.169.629	2.356.599	2.543.569	2.730.539	465.909	465.909	465.909	465.909	465.909
Kumulativ	-26.699.452	-24.716.793	-22.547.164	-20.190.565	-17.646.997	-14.916.458	-14.450.548	-13.984.639	-13.518.730	-13.052.820	-12.586.911
Novčani tok diskontni	-26.699.452	1.888.246	1.967.917	2.035.719	2.092.600	2.139.449	347.669	331.113	315.346	300.329	286.028
Kumulativ diskontni	-26.699.452	-24.811.205	-22.843.288	-20.807.569	-18.714.969	-16.575.520	-16.227.852	-15.896.738	-15.581.393	-15.281.063	-14.995.035

Godina	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Primici ukupno	7.754.924	7.754.924	7.754.924	7.754.924	7.754.924	7.754.924	7.754.924	7.754.924	7.754.924	7.754.924
<i>Primici od energije</i>	2.319.813	2.319.813	2.319.813	2.319.813	2.319.813	2.319.813	2.319.813	2.319.813	2.319.813	2.319.813
<i>Primici od snage</i>	5.435.111	5.435.111	5.435.111	5.435.111	5.435.111	5.435.111	5.435.111	5.435.111	5.435.111	5.435.111
<i>Prmici od priključaka</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Izdaci ukupno	-7.289.014	-7.289.014	-7.289.014	-7.289.014	-7.289.014	-7.289.014	-7.289.014	-7.289.014	-7.289.014	-7.289.014
<i>Troškovi za energiju i vodu</i>	-6.820.074	-6.820.074	-6.820.074	-6.820.074	-6.820.074	-6.820.074	-6.820.074	-6.820.074	-6.820.074	-6.820.074
<i>Troškovi održavanja</i>	-468.941	-468.941	-468.941	-468.941	-468.941	-468.941	-468.941	-468.941	-468.941	-468.941
Novčani tok	465.909	465.909	465.909	465.909	465.909	465.909	465.909	465.909	465.909	465.909
Kumulativ	-12.121.001	-11.655.092	-11.189.183	-10.723.273	-10.257.364	-9.791.454	-9.325.545	-8.859.636	-8.393.726	-7.927.817
Novčani tok diskontni	272.408	259.436	247.082	235.316	224.110	213.438	203.275	193.595	184.376	175.596
Kumulativ diskontni	-14.722.628	-14.463.192	-14.216.110	-13.980.794	-13.756.684	-13.543.246	-13.339.971	-13.146.376	-12.962.000	-12.786.403

Zarada [kn]	-7.927.816,84
Neto sadašnja vrijednost, NPV [kn]	-12.786.403,38
Interna stopa rentabilnosti, IRR [%]	-
Godina povrata ulaganja [god]	-
Godina povrata ulaganja diskontna [god]	-
Odnos koristi i troška, BCR [-]	0,9
Modificiran odnos koristi i troška, BCR modified [-]	0,71

Tablica 75. Rezultati ekonomske analize za slučaj – Aleja TE-TO

Godina	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Primici ukupno	52.386.997	5.925.051	8.327.310	10.729.568	13.131.827	15.534.086	12.011.294	12.011.294	12.011.294	12.011.294	12.011.294
<i>Primici od energije</i>	0	711.319	1.422.637	2.133.956	2.845.274	3.556.593	3.556.593	3.556.593	3.556.593	3.556.593	3.556.593
<i>Primici od snage</i>	0	1.690.940	3.381.880	5.072.820	6.763.761	8.454.701	8.454.701	8.454.701	8.454.701	8.454.701	8.454.701
<i>Prmici od priključaka</i>	0	3.522.792	3.522.792	3.522.792	3.522.792	3.522.792	0	0	0	0	0
Izdaci ukupno	-130.967.493	-1.758.883	-2.176.524	-2.594.165	-3.011.807	-3.429.448	-3.429.448	-3.429.448	-3.429.448	-3.429.448	-3.429.448
<i>Troškovi za energiju i vodu</i>	0	-417.641	-835.283	-1.252.924	-1.670.565	-2.088.207	-2.088.207	-2.088.207	-2.088.207	-2.088.207	-2.088.207
<i>Troškovi održavanja</i>	0	-1.341.242	-1.341.242	-1.341.242	-1.341.242	-1.341.242	-1.341.242	-1.341.242	-1.341.242	-1.341.242	-1.341.242
Novčani tok	-78.580.496	4.166.168	6.150.785	8.135.403	10.120.020	12.104.638	8.581.846	8.581.846	8.581.846	8.581.846	8.581.846
Kumulativ	-78.580.496	-74.414.328	-68.263.542	-60.128.139	-50.008.119	-37.903.481	-29.321.636	-20.739.790	-12.157.944	-3.576.099	5.005.747
Novčani tok diskontni	-78.580.496	3.967.779	5.578.944	7.027.667	8.325.766	9.484.300	6.403.905	6.098.958	5.808.531	5.531.934	5.268.509
Kumulativ diskontni	-78.580.496	-74.612.717	-69.033.773	-62.006.106	-53.680.340	-44.196.040	-37.792.135	-31.693.177	-25.884.646	-20.352.712	-15.084.203

Godina	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Primici ukupno	12.011.294	12.011.294	12.011.294	12.011.294	12.011.294	12.011.294	12.011.294	12.011.294	12.011.294	12.011.294
<i>Primici od energije</i>	3.556.593	3.556.593	3.556.593	3.556.593	3.556.593	3.556.593	3.556.593	3.556.593	3.556.593	3.556.593
<i>Primici od snage</i>	8.454.701	8.454.701	8.454.701	8.454.701	8.454.701	8.454.701	8.454.701	8.454.701	8.454.701	8.454.701
<i>Prmici od priključaka</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Izdaci ukupno	-3.429.448	-3.429.448	-3.429.448	-3.429.448	-3.429.448	-3.429.448	-3.429.448	-3.429.448	-3.429.448	-3.429.448
<i>Troškovi za energiju i vodu</i>	-2.088.207	-2.088.207	-2.088.207	-2.088.207	-2.088.207	-2.088.207	-2.088.207	-2.088.207	-2.088.207	-2.088.207
<i>Troškovi održavanja</i>	-1.341.242	-1.341.242	-1.341.242	-1.341.242	-1.341.242	-1.341.242	-1.341.242	-1.341.242	-1.341.242	-1.341.242
Novčani tok	8.581.846	8.581.846	8.581.846	8.581.846	8.581.846	8.581.846	8.581.846	8.581.846	8.581.846	8.581.846
Kumulativ	13.587.593	22.169.438	30.751.284	39.333.130	47.914.975	56.496.821	65.078.667	73.660.512	82.242.358	90.824.204
Novčani tok diskontni	5.017.627	4.778.693	4.551.136	4.334.415	4.128.015	3.931.442	3.744.231	3.565.934	3.396.128	3.234.407
Kumulativ diskontni	-10.066.576	-5.287.883	-736.747	3.597.668	7.725.683	11.657.125	15.401.356	18.967.290	22.363.418	25.597.825

Zarada [kn]	90.824.203,83
Neto sadašnja vrijednost, NPV [kn]	25.597.825,40
Interna stopa rentabilnosti, IRR [%]	8,4
Godina povrata ulaganja [god]	10
Godina povrata ulaganja diskontna [god]	14
Odnos koristi i troška, BCR [-]	1,15
Modificiran odnos koristi i troška, BCR modified [-]	1,20

Tablica 76. Sumarni rezultati pojednostavljene ekonomske analize – ekonomski pokazatelji slučaja u krugu proizvodnog pogona TE-TO

Stavka	Radnička dislocirano	Radnička TE-TO	Aleja dislocirano, vrela voda	Aleja TE-TO
Zarada [kn]	32.669.608,69	73.746.240,82	-7.927.816,84	90.824.203,83
Neto sadašnja vrijednost, NPV [kn]	10.501.592,17	27.698.644,30	-12.786.403,38	25.597.825,40
Interna stopa rentabilnosti, IRR [%]	9,3	11,1	-	8,4
Godina povrata ulaganja [god]	9	8	-	10
Godina povrata ulaganja diskontna, JPP [god]	12	11	-	14
Odnos koristi i troška [-]	1,1	1,27	0,9	1,15
Pretpostavke	<ul style="list-style-type: none"> • Broj priključenih potrošača raste linearno od 1 do 5 godine. • Nepovratna sredstva iz fondova Europske unije iznose 40% ukupnog iznosa ulaganja. 	<ul style="list-style-type: none"> • Broj priključenih potrošača raste linearno od 1 do 5 godine. • Nepovratna sredstva iz fondova Europske unije iznose 40% ukupnog iznosa ulaganja. 	<ul style="list-style-type: none"> • Broj priključenih potrošača raste linearno od 1 do 5 godine. • Nepovratna sredstva iz fondova Europske unije iznose 40% ukupnog iznosa ulaganja. 	<ul style="list-style-type: none"> • Broj priključenih potrošača raste linearno od 1 do 5 godine. • Nepovratna sredstva iz fondova Europske unije iznose 40% ukupnog iznosa ulaganja.
Potencijalni problemi i rizici	<ul style="list-style-type: none"> • Pronalazak te kupnja ili najam adekvatnog zemljišta u blizini parovoda i portošača u Radničkoj. • Realan problem spremnosti i želje spajanja na sustav daljinskog hlađenja svih potencijalnih potrošača na osnovu kojih je napravljen izračun. 	<ul style="list-style-type: none"> • Realan problem spremnosti i želje spajanja na sustav daljinskog hlađenja svih potencijalnih potrošača na osnovu kojih je napravljen izračun. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pronalazak te kupnja ili najam adekvatnog zemljišta u blizini vrelovoda i potrošača u blizini Aleje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Realan problem spremnosti i želje spajanja na sustav daljinskog hlađenja svih potencijalnih potrošača na osnovu kojih je napravljen izračun.

5.4.3 Rezultati prihoda i troškova promatranih modela sustava u krugu proizvodnog pogona EL-TO

Na osnovu rezultata prethodno provedene energetske analize te definiranih specifičnih troškova za energiju i vodu, održavanje te ulaganje u sustav daljinskog hlađenja u sljedećoj tablici prikazani su sumarni rezultati prihoda i troškova modela sustava u krugu proizvodnog pogona EL-TO korišteni kao podloga za daljnju izradu ekonomske analize navedenog slučaja.

Godišnji prihod od prodaje rashladne energije i snage te jednokratnog troška priključenja potrošača na daljinski sustav hlađenja izračunat je na osnovu predložene tarife:

- cijena rashladne energije iznosi 0,30 kn/kWh/mj,
- cijena rashladne snage iznosi 30,00 kn/kWh/mj, a zakup se plaća 12 mjeseci,
- jednokratni trošak za priključenje potrošača na daljinski sustav hlađenja iznosi 30% cijene koštanja vlastitog rashladnog uređaja (2.500,00 kn/kW rashladnog učinka).

Uz ovako definirane tarife stavke, miješana cijena rashladne energije iznosila bi 1,00 kn/kWh hlađenja.

Tablica 77. Rezultati prihoda od prodaje rashladne energije i snage te troškova za energiju i vode te ulaganja u sustav daljinskog hlađenja za sve promatrane modele sustava u krugu proizvodnog pogona EL-TO

Stavka	EL – TO	Pretpostavke
<i>Prihod od prodaje rashladne energije</i>		
Prihod od prodaje rashladne snage [kn/god]	1.927.951,20	Rashladna snaga se izračunava prema potrebama potrošača, a ne prema učinku rashladnog postrojenja. Cijena zakupa iznosi 30,00 kn/kW/mj zakupljene rashladne snage. Zakup rashladne snage plaća se 12 mjeseci.
Prihod od prodaje rashladne energije [kn/god]	829.560,00	Cijena rashladne energije iznosi 0,30 kn/kWh/mj.
Prihod od priključenja korisnika na sustav [kn]	4.016.565,00	Cijena priključenja potrošača na sustav iznosi 30% cijene koštanja vlastitog rashladnog uređaja (2.500,00 kn/kW rashladnog učinka).

Stavka	EL – TO	Pretpostavke
<i>Troškovi ulaganja</i>		
Rashladnik vode [kn]	4.275.000,00	Specifična cijena parom pogonjenog dvostupanjskog apsorpcijskog rashladnika vode iznosi 150.000,00 €/MW _{hl} .
Transporta i postavljanja rashladnika [kn]	427.500,00	Specifična cijena transporta i postavljanja rashladnika iznosi 15.000,00 €/MW _{hl} .
Parni cjevovod s armaturom [kn]	243.000,00	Specifična cijena izrade parnog cjevovoda s armaturom iznosi 12.000,00 €/MW _{učinak pare} .
Pumpe primarnog kruga cjevovoda do potrošača [kn]	114.000,00	Specifična cijena pumpi primarnog kruga cjevovoda do potrošača iznosi 4.000,00 €/MW _{hl} .
Inercijski spremnik hladne vode [kn]	-	Nije promatran u ovim slučajevima.
Rashladni toranj [kn]	854.250,00	Specifična cijena rashladnog tornja iznosi 17.000,00 €/MW _{hl} .
Sustava za pripremu vode kruga rashladnog tornja [kn]	131.625,00	Specifična cijena sustava za pripremu vode kruga rashladnog tornja iznosi 7.500,00 € i 1.500,00 €/MW _{topline} .
Cjevovod u krugu rashladnog tornja/ riječne vode te pumpe rashladne vode [kn]	706.875,00	Specifična cijena cjevovoda u krugu rashladnog tornja/riječne vode uključivo s pumpama rashladne vode za potrebe hlađenja kondenzatora rashladnog uređaja iznosi 14.500,00 €/MW _{topline} .
Izmjenjivač topline hlađenja kondenzatora rijekom Savom [kn]	-	Specifična cijena izmjenjivača topline za hlađenje kondenzatora rijekom Savom iznosi 40.000,00 kn/MW _{topline} .
Izmjenjivač topline slobodno hlađ. [kn]	-	Specifična cijena izmjenjivača topline sustava slobodnog hlađenja rijekom Savom iznosi 40.000,00 kn/MW _{topline} .
CNUS [kn]	225.000,00	Cijena centralnog nadzornog i upravljačkog sustava centrale daljinskog hlađenja (proizvodnje rashladnog učinka) iznosi 30.000,00 €.
Građevinski radovi [kn]	342.000,00	Specifična cijena pratećih građevinskih radova iznosi 12.000,00 €/MW _{hl} .
Trafostanica [kn]	0,00	Specifična cijena priključenja na elektroenergetski sustav uključivo s izradom trafostanice i ostalim davanjima iznosi 145.000,00 €/MW _{el.snage} .
Rashladna stanica potrošača [kn]	2.008.282,50	Specifična cijena rashladne stanice postavljene kod potrošača uključivo s upravljanjem iznosi 50,00 €/kW _{zakupljene snage hlađenja} .
Cjevovod [kn]	7.700.100,00	Cijena cjevovoda od mjesta proizvodnje do mjesta potrošnje sa svim uključenim troškovima.

Stavka	EL – TO	Pretpostavke
<i>Troškovi energije i vode</i>		
Troškovi za paru [kn/god]	333.684,00	Cijena pare iznosi 0,18 kn/kWh za proizvodnju u krugu TE-TO i EL-TO. Cijena pare ili vrele vode za dislociranu proizvodnju rashladnog učinka je tržišna cijena oglašena od strane HEP-a.
Troškovi za vrelu vodu [kn/god]	-	Cijena pare ili vrele vode za dislociranu proizvodnju rashladnog učinka je tržišna cijena oglašena od strane HEP-a.
Troškovi za električnu energiju [kn/god]	147.949,20	Cijena el. en. za proizvodnju u krugu TE-TO i EL-TO iznosi 35,43 €/MWh ili 0,266 kn/kWh. Cijena el. en. za dislociranu proizvodnju rashladnog učinka je tržišna cijena oglašena od strane HEP-a.
Troškovi za vodu [kn/god]	160.789,36	Cijena vode za dislociranu proizvodnju rashladnog učinka je tržišna cijena vode za grad Zagreb.
<i>Troškovi ulaganja</i>		
Rashladnik vode [kn]	4.275.000,00	Specifična cijena parom pogonjenog dvostupanjskog apsorpcijskog rashladnika vode iznosi 150.000,00 €/MW _{hl} .
Transporta i postavljanja rashladnika [kn]	427.500,00	Specifična cijena transporta i postavljanja rashladnika iznosi 15.000,00 €/MW _{hl} .
Parni cjevovod s armaturom [kn]	243.000,00	Specifična cijena izrade parnog cjevovoda s armaturom iznosi 12.000,00 €/MW _{činak pare} .
Pumpe primarnog kruga cjevovoda do potrošača [kn]	114.000,00	Specifična cijena pumpi primarnog kruga cjevovoda do potrošača iznosi 4.000,00 €/MW _{hl} .
Inercijski spremnik hladne vode [kn]	-	Nije promatran u ovim slučajevima.
Rashladni toranj [kn]	854.250,00	Specifična cijena rashladnog tornja iznosi 17.000,00 €/MW _{hl} .
Sustava za pripremu vode kruga rashladnog tornja [kn]	131.625,00	Specifična cijena sustava za pripremu vode kruga rashladnog tornja iznosi 7.500,00 € i 1.500,00 €/MW _{topline} .
Cjevovod u krugu rashladnog tornja/ riječne vode te pumpe rashladne vode [kn]	706.875,00	Specifična cijena cjevovoda u krugu rashladnog tornja/riječne vode uključivo s pumpama rashladne vode za potrebe hlađenja kondenzatora rashladnog uređaja iznosi 14.500,00 €/MW _{topline} .

5.4.4 Rezultati pojednostavljene ekonomske analize promatranih modela sustava u krugu proizvodnog pogona EL-TO

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati jednostavne ekonomske analize provedene za model sustava daljinskog hlađenja u krugu proizvodnog pogona EL-TO.

Prilikom proračuna pojedinih veličina korištene su sljedeće pretpostavke:

- promatrano razdoblje analize iznosi 20 godina,
- ulaganje u izgradnju sustava daljinskog hlađenja izvodi se u potpunosti u nultoj godini,
- primici u nultoj godini sastoje se od nepovratnih sredstava iz fondova Europske unije u visini 40% ukupnog iznosa ulaganja,
- od prve do pete godine projekta broj priključenih potrošača raste linearno, odnosno pretpostavlja se da je u prvoj godini priključeno 10% od ukupnog broja prepoznatih potencijalnih potrošača, a u desetoj godini 100% potencijalnih potrošača,
- troškovi održavanja plaćaju se u punom iznosu od prve godine projekta,
- diskontna stopa iznosi 5% godišnje.

Tablica 78. Rezultati pojednostavljene ekonomske analize za slučaj EL-TO

Godina	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Primici ukupno	6.811.053	677.408	953.159	1.228.910	1.504.661	1.780.412	2.056.163	2.331.914	2.607.665	2.883.417	3.159.168
<i>Primici od energije</i>	0	82.956	165.912	248.868	331.824	414.780	497.736	580.692	663.648	746.604	829.560
<i>Primici od snage</i>	0	192.795	385.590	578.385	771.180	963.976	1.156.771	1.349.566	1.542.361	1.735.156	1.927.951
<i>Prmici od priključaka</i>	0	401.657	401.657	401.657	401.657	401.657	401.657	401.657	401.657	401.657	401.657
Izdaci ukupno	-17.027.633	-258.396	-322.638	-386.881	-451.123	-515.365	-579.607	-643.850	-708.092	-772.334	-836.576
<i>Troškovi za energiju i vodu</i>	0	-64.242	-128.485	-192.727	-256.969	-321.211	-385.454	-449.696	-513.938	-578.180	-642.423
<i>Troškovi održavanja</i>	0	-194.154	-194.154	-194.154	-194.154	-194.154	-194.154	-194.154	-194.154	-194.154	-194.154
Novčani tok	-10.216.580	419.012	630.520	842.029	1.053.538	1.265.047	1.476.556	1.688.065	1.899.574	2.111.083	2.322.591
Kumulativ	-10.216.580	-9.797.568	-9.167.047	-8.325.018	-7.271.480	-6.006.433	-4.529.877	-2.841.812	-942.239	1.168.844	3.491.435
Novčani tok diskontni	-10.216.580	399.059	571.901	727.377	866.748	991.197	1.101.829	1.199.676	1.285.706	1.360.823	1.425.870
Kumulativ diskontni	-10.216.580	-9.817.521	-9.245.620	-8.518.244	-7.651.495	-6.660.298	-5.558.469	-4.358.793	-3.073.087	-1.712.264	-286.394

Godina	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Primici ukupno	2.757.511	2.757.511	2.757.511	2.757.511	2.757.511	2.757.511	2.757.511	2.757.511	2.757.511	2.757.511
<i>Primici od energije</i>	829.560	829.560	829.560	829.560	829.560	829.560	829.560	829.560	829.560	829.560
<i>Primici od snage</i>	1.927.951	1.927.951	1.927.951	1.927.951	1.927.951	1.927.951	1.927.951	1.927.951	1.927.951	1.927.951
<i>Prmici od priključaka</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Izdaci ukupno	-836.576	-836.576	-836.576	-836.576	-836.576	-836.576	-836.576	-836.576	-836.576	-836.576
<i>Troškovi za energiju i vodu</i>	-642.423	-642.423	-642.423	-642.423	-642.423	-642.423	-642.423	-642.423	-642.423	-642.423
<i>Troškovi održavanja</i>	-194.154	-194.154	-194.154	-194.154	-194.154	-194.154	-194.154	-194.154	-194.154	-194.154
Novčani tok	1.920.935	1.920.935	1.920.935	1.920.935	1.920.935	1.920.935	1.920.935	1.920.935	1.920.935	1.920.935
Kumulativ	5.412.370	7.333.305	9.254.240	11.175.175	13.096.110	15.017.045	16.937.979	18.858.914	20.779.849	22.700.784
Novčani tok diskontni	1.123.131	1.069.648	1.018.713	970.203	924.003	880.002	838.098	798.188	760.179	723.980
Kumulativ diskontni	836.736	1.906.385	2.925.098	3.895.300	4.819.303	5.699.305	6.537.403	7.335.591	8.095.770	8.819.750

Tablica 79. Sumarni rezultati pojednostavljene ekonomske analize – ekonomski pokazatelji za slučaj u krugu proizvodnog pogona EL-TO

Stavka	EL-TO
Zarada [kn]	22.700.784,00
Neto sadašnja vrijednost, NPV [kn]	8.819.750,15
Interna stopa rentabilnosti, IRR [%]	11,9
Godina povrata ulaganja [god]	9
Godina povrata ulaganja diskontna, JPP [god]	11
Odnos koristi i troška [-]	1,35
Pretpostavke	Broj priključenih potrošača raste linearno od 1 do 10 godine.
Potencijalni problemi i rizici	<ul style="list-style-type: none"> • Problem prostora za smještaj rashladnog postrojenja u krugu EL-TO. • Realan problem spremnosti i želje spajanja na sustav daljinskog hlađenja svih potencijalnih potrošača na osnovu kojih je napravljen izračun.

6. ZAKLJUČAK

U gradu Zagrebu postoji velik potencijal za hlađenjem. Prilikom procjene potencijala u obzir su uzeti svi javni i samo oni privatni objekti koji se nalaze u blizini proizvodnih pogona TE-TO i EL-TO. Podaci o privatnim objektima bazirani su na procjenama površine iz javno dostupnih izvora poput geoportala [12] i google maps servisa [13]. Pri procjeni potencijala proračunata potrebna godišnja energija za hlađenjem iznosi između 30 i 35 kWh/m². Iako je puno realnije za očekivati da će potrebna energija za hlađenjem iznositi 50 kWh/m² kao što pokazuju trendovi u svijetu, zadržan je konzervativniji pristup. Povećanje potrošene rashladne energije s 30 kWh/m² na 50 kWh/m² imalo bi povoljan utjecaj na izvedivost projekta. Unatoč konzervativnom pristupu i izostavljanju dijela privatnih objekata potencijal za hlađenjem objekata je i dalje velik. Ograničenja poput preopterećenosti podzemne infrastrukture u određenim dijelovima grada kao i neprilagođenost rashladnih sustava zgrada definirala su područja za koja su napravljeni detaljni proračuni. Nadalje, provedbom energetske i ekonomske analize dobiven je uvid o lokacijama i fondu zgrada za koje je moguće planirati izgradnju sustava daljinskog hlađenja te način izvedbe samog sustava. To su:

- Centralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE-TO – Radnička cesta.
- Centralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji EL-TO.
- Centralizirana proizvodnja rashladne energije apsorpcijskim rashladnim uređajima pogonjenim vodenom parom na lokaciji TE-TO – Sveučilišna aleja.

LITERATURA

- [1] Agencija za promet nekretninama (APN).
- [2] Informacijski sustav za gospodarenje energijom (ISGE).
- [3] Geoportal.
- [4] Google maps servis.
- [5] GIS - Geografski informacijski sustav.
- [6] Best practice examples of District Cooling systems, Rescue.
- [7] »Climespace,« Listopad 2016. [Mrežno]. Available: <http://www.climespace.fr/en/district-cooling/>.
- [8] H. Burkhard, Wien Energie.
- [9] »RESCUE Newsletter,« Listopad 2016. [Mrežno]. Available: www.rescue-project.eu.
- [10] M. Vilhelmson, Norrenergi.
- [11] S. Nielsen, Växjö Energy AB (VEAB).
- [12] M. Riipinen, Storing renewable energy in DHC, Helsingin Energia.
- [13] »Enwave Chicago,« Listopad 2016. [Mrežno]. Available: <http://enwavechicago.com/how-district-cooling-works/system-operation/>.
- [14] V. Soldo, S. Novak i I. Horvat, Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790, Zagreb, 2014.
- [15] »Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja,« Prosinac 2016. [Mrežno]. Available: <http://www.mgipu.hr/default.aspx?id=12841>.
- [16] B. Skagestad i P. Mildenstein, District Heating and Cooling Connection Handbook, International Energy Agency.
- [17] D. Andrews, A. K. Riekkola, E. Tzimas, J. Serpa, J. Carlsson, N. Pardo-Garcia i I. Papaioannou, .: JRC scientific and policy reports - Background report on EU-27 district heating and cooling potentials, barriers, best practice and measures of promotion, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012.
- [18] M. D. Schöpfer, Absorption chillers: their feasibility in district heating networks and comparison to alternative technologie, Technical University of Lisbon, 2015.
- [19] P. Ulloa, Potential for Combined Heat and Power and District Heating and Cooling from Wasteto-Energy Facilities in the U.S. – Learning from the Danish Experience, The Earth Engineering Center and the Henry Krumb School of Mines, 2007.

- [20] »Trnsys (Transient System Simulation Tool),« Veljača 2017. [Mrežno]. Available: <http://www.trnsys.com/>.
- [21] Afaja d.o.o..
- [22] Zdenka Projekting d.o.o. (Evapco Europe).
- [23] Grundfos d.o.o..
- [24] Good practice guide 256 - An introduction to absorption cooling, Oxfordshire: Energy Efficiency Best Practice Programme, ETSU, 1999.
- [25] VDI 2067.
- [26] PreisAtlas.