



ICES
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija

Program: Strojništvo

Modul: Orodjarstvo

UČINKOVIT SISTEM DALJINSKEGA OGREVANJA

Mentor: mag. Matiček Tacer
Lektorica: Ana Peklenik, prof. slov.

Kandidat: Primož Kunej

Ljubljana, september 2018

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju Matičku Tacerju za strokovno pomoč in svetovanje pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi lektorici Ani Peklenik, ki je mojo nalogo slovnično in jezikovno pregledala.

Zahvaljujem se podjetju Danfoss Trata d.o.o., ki mi je omogočilo študij.

Posebno se zahvaljujem kolegom v podjetju Danfoss Trata d.o.o. Dušku Vnučcu, Iztoku Kunšku, Sandru Terziču in Vladimiru Šukoviču za strokovno pomoč.

Posebna zahvala gre tudi kolegom iz Toplarne Konjarnik v Beogradu Branimiru Vidačiću, Aleksandru Sariću, Vladimiru Tanasiću za njihovo predstavitev toplarne in dosežkov zadnjem obdobju.

IZJAVA

»Študent Primož Kunej izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Matička Tacerja.«

»Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.«

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

V diplomskem delu je predstavljen sistem daljinskega ogrevanja. Prikazan je zgodovinski razvoj, ki je pomemben z vidika razumevanja in razlogov za morebitno močnejšo razvitost in učinkovitost tega sistema v določenih dela sveta. Predstavljenih je več načinov delovanja sistema in možnosti optimizacije. Eden izmed problemov današnjega ogrevanja je onesnaževanje okolja, slab izkoristek in uporaba fosilnih goriv. Predstavljene so tako možnosti za dvig učinkovitosti sistema kot smernice razvoja in omejitve. V praktičnem delu naloge predstavljamo konkreten primer investicije v izboljšavo sistema daljinskega ogrevanja ter njene merljive učinke.

KLJUČNE BESEDE:

daljinsko ogrevanje, CO₂, soproizvodnja energije, temperaturni režim, energetska strategija, regulacija, optimizacija

ABSTRACT

The thesis presents the system of district heating. Historical development needs to be described in order to understand the system. In this way the reader will better understand the position of the system in different parts of the world and its potential to develop further. Project will present different possibilities of how the district heating system can operate and some of the optimizations that can be applied. Furthermore, the limitations of the system are discussed. The main challenge of today's heating is pollution of the environment, low efficiency and usage of fossil fuels. We will present solutions with intent to increase the efficiency of the system as guidelines of its development as well as its limitations. In the practical part of the thesis we present an actual case of investment into the district heating system with its measurable effects.

KEYWORDS

District heating, CO₂, cogeneration, design temperatures, energy strategy, regulation, optimization

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Predstavitev problema.....	2
1.2	Cilji naloge.....	2
1.3	Zgodovina daljinskega ogrevanja	2
2	DALJINSKO OGREVANJE	5
2.1	Distribucijsko omrežje daljinskega ogrevanja	8
2.2	Kombinirano daljinsko ogrevanje s sproizvodnjo električne energije	8
2.3	Zmanjševanje obremenitve okolja	9
2.4	Izzivi sistema daljinskega ogrevanja.....	9
3	SISTEM DALJINSKEGA OGREVANJA	10
3.1	Daljinsko ogrevanje s sproizvodnjo električne energije.....	13
3.2	Nastavitev temperaturnega režima v sistemu daljinskega ogrevanja	15
3.2.1	Izbira temperaturnega režima	15
3.3	Toplotne podpostaje – vpliv končnega potrošnika na omrežje daljinskega ogrevanja	19
3.3.1	Sekundar s 3-potnim ventilom.....	20
3.3.2	Sekundar z 2-potnim ventilom.....	21
3.3.3	Sekundar z diferenčno tlačno črpalko	21
3.4	Glavni elementi toplotnih podpostaj.....	22
3.4.1	Toplotni izmenjevalci.....	23
3.4.2	Regulacijski ventili	25
4	VAROVANJE OKOLJA	27
4.1	Vizija in cilji energetske strategije EU	27
4.2	Izzivi pri implementaciji energetske strategije	29
4.3	Financiranje evropske energetske strategije.....	29
4.4	Stanje opreme za ogrevanje.....	30
4.6	Daljinsko ogrevanje v evropski skupnosti	31
4.6.1	Orodja in rešitve znotraj EU	32
4.7	Povzetek strategije Evropske komisije.....	33
5	OPTIMIZACIJA SISTEMA DALJINSKEGA OGREVANJA V SRBIJI – BEOGRADSKE ELEKTRANE.....	34
5.1	Postavljeni cilji in zasnova projekta optimizacije	34
5.2	Vgradnja kalorimetrov – merjenje toplote	37
5.3	Obnova toplovoda	38
5.4	Obnova kotlovnice.....	41
5.5	Učinki optimizacije.....	43
5.6	Optimizacija kotlovnice v toplarni Konjarnik – Beogradske elektrane.....	44
5.6.1	Tehnološko-ekonomska analiza investicije zunanjega kotla / toplotnega izmenjevalca.....	44
6	ZAKLJUČEK.....	47
	VIRI IN LITERATURA	49

KAZALO SLIK

Slika 1: Viri primarne energije daljinskega ogrevanja.....	5
Slika 2: Smernice razvoja proizvodnje energije	6
Slika 3: Končni porabnik daljinskega ogrevanja.....	7
Slika 4: Viri primarne energije daljinskega ogrevanja	7
Slika 5: Mreža daljinskega ogrevanja	8
Slika 6: Soproizvodnja toplote in električne energije	9
Slika 7: Shema sistema daljinskega ogrevanja.....	11
Slika 8: Stroškovnik prejemnika storitve v Ljubljani.....	12
Slika 9: Shema toplotne postaje za ogrevanje	13
Slika 10: Konvencionalni sistem in sistem soproizvodnje energije	15
Slika 11: Prerez kanala, kjer so cevi sistema daljinskega ogrevanja.....	18
Slika 12: Shema sekundarne vezave s tripotnim ventilom	20
Slika 13: Shema sekundarne vezave z dvopotnim ventilom	21
Slika 14: Karakteristična krivulja diferenčne črpalke	22
Slika 15: Toplotna postaja	23
Slika 16: Cevni toplotni izmenjevalec	24
Slika 17: Toplotni izmenjevalec iz spajkanih plošč.....	24
Slika 18: Regulacijski ventil s pametnim pogonom Danfoss	25
Slika 19: Prikaz daljinskega ogrevanja s toplotnimi podpostajami.....	26
Slika 20: Tradicionalna vezava in vezava z regulacijskim ventilom v toplotni postaji	26
Slika 21: Primarna energija za ogrevanje in hlajenje v EU, 2012.....	28
Slika 22: Končna poraba energije za ogrevanje in hlajenje I. 2012, EU	28
Slika 23: Tablica energijske učinkovitosti.....	31
Slika 24: Horizon 2015: Evropa brez CO ₂	33
Slika 25: Kalorimeter	37
Slika 26: Proces merjenja odjema toplote v projektu optimizacije	37
Slika 27: Nove cevi za optimizacijo toplovoda sistema daljinskega ogrevanja	38
Slika 28: Izkop kanalov za cevi daljinskega ogrevanja.....	39
Slika 29: Izgube vode na toplovodnem omrežju	39
Slika 30: Število polnitev Sistema daljinskega ogrevanja z vodo	40
Slika 31: Novi kotel 2 × 3,5MW za Bačko Palanko	41
Slika 32: Obnova kotlov – Niš – 2 × 30 MW.....	42
Slika 33: Procesni diagram toplarne Konjarnik	45
Slika 34: Dodatni zunanji kotel – Konjarnik – 6MW.....	45

KAZALO TABEL

Tabela 1: Obseg projekta v Srbiji.....	35
Tabela 2: Postavljeni cilji in zasnova projekta optimizacije v Srbiji	36
Tabela 3: Optimizacija dela na podpostajah	38

Tabela 4: Prikaz prihrankov posledica optimizacije toplovoda	40
Tabela 5: Učinki optimizacije kotlov v projektu.....	42
Tabela 6: Merjenje zastavljenih ciljev	43
Tabela 7: Skupen pregled ekonomskih učinkov projekta optimizacije.....	43
Tabela 8: Tehnične karakteristike zunanjega kotla Konjarnik	46

KAZALO ENAČB

Enačba 1: Maksimalna učinkovitost – Carnotova enačba	14
Enačba 2: Izračun moči, ki jo prejme stranka	16
Enačba 3: Temperaturna razlika.....	16
Enačba 4: Izračun dobavljene energije končnemu porabniku	17
Enačba 5: Toplotne izgube na enoto dolžine	18
Enačba 6: Povprečna temperatura cevi.....	18
Enačba 7: Izračun prihrankov porabe naravnega plina	46
Enačba 8: Finančni prihranek zaradi manjše porabe naravnega plina	46

KRATICE IN AKRONIMI

$T_{pri,do}$: dovodna temperature vode primarnega sistema na vstopu v toplotno postajo
 $T_{pri,pov}$: povratna temperature vode prim. sistema na izstopu iz toplotne postaje
 $T_{sek,do}$: dovodna temperatura vode sek. sistema na izstopu iz toplotne postaje
 $T_{sek,pov}$: povratna temperatura vode sek. sistema na vstopu v toplotno postajo
 Primar: žargonsko poimenovanje dovajanja vroče vode iz toplarne do toplotne postaje
 Sekundar: žargonsko poimenovanje dovajanja tople vode iz toplotne postaje do toplarne

1 UVOD

Danes se po ocenah približno 80 % proizvedene svetovne energije porabi za prevoz, klimatske naprave in ogrevanje.

V mestu Kopenhagen na Danskem so od leta 1995 do danes zmanjšali emisije CO₂ za 40 %. Približno milijardo evrov so vložili v vetrne elektrarne ter tako nadomestili uporabo nafte in premoga v sistemu daljinskega ogrevanja. Glavna državna podjetja so svoje tovarne premoga spremenile v tovarne z biomaso. Tovarna Avedore, ki z elektriko oskrbuje 1,3 milijona prebivalcev, je danes ena najučinkovitejših na svetu. Uporabljajo gozdne ostanke in slamo, ki jih dobavljajo krajevni kmetje. Obstajale so napovedi, da bo leta 2015 mesto Kopenhagen, leta 2050 pa vsa Danska, popolnoma samozadostna na področju obnovljivih energij. Imeli bodo različne vire energije: vetrno in sončno, biomaso, morsko in geotermično energijo. Veliko držav že gre po tej poti.

V mestu Kopenhagen so obnovili in izolirali stavbe, bloke, ogrevajo jih mestne elektrarne. To je bila pomembna investicija in danes prebivalci tega mesta za ogrevanje plačujejo manj. Primerjava kaže, da za energijo plačujejo trikrat manj kot v podobnem mestu v Franciji. Pri takih projektih gre na začetku za velike investicije, ki pa se potem v daljšem obdobju vedno povrnejo.

Mesto Reykjavik na Islandiji se popolnoma oskrbuje z geotermičnimi obnovljivimi viri. Proizvedejo okoli 300 MW toplote energije za daljinski sistem ogrevanja. Gre za strategijo, ki se je oblikovala v Islandiji po letu 1970, po krizi fosilnih goriv. S to strategijo so želeli postati neodvisni od fosilnih goriv in to jim je uspelo. Rešiti je treba le še težavo z vozili.

Države, kot so Švica, Nemčija, Francija, Italija, ZDA, Japonska, imajo vire, s katerimi bi lahko popolnoma nadomestile odvisnost od fosilnih goriv za potrebe ogrevanja. Tudi v državah v razvoju so dobre možnosti.

V Riftni dolini v Afriki, pa tudi v Keniji in Etiopiji, bi lahko pridelali 15 GW geotermične elektrike. To je približno 20 jedrskih elektrarn.

Leta 1970 je proizvodnja enega sončnega vata stala 66 dolarjev. Danes je ta strošek 66 centov in se bliža ničli. Podobno velja za vetrno in geotermalno energijo. S takim trendom se bosta fosilna in jedrska energija izločili. To bi omogočilo tudi zmanjševanje potreb potrošnikov po energiji. Po nekaterih ocenah bi se danes lahko odrekli polovici svetovno proizvedene energije in še vedno živeli normalno.

Francija danes potrebuje dve jedrski elektrarni, samo da vzdržuje naprave v mirovanju.

Izdelava enega pametnega telefona izpusti v ozračje 57 kg CO₂.

Videoigra Avatar porabi toliko energije kot 40 Etiopijcev za vsakdanje življenje.

Potrebe po energiji stalno naraščajo, kapacitete ustvarjanja te energije so omejene kot vsi naravni viri. Okolje je vedno bolj pod pritiskom onesnaževanja, zato ga je treba zaščititi.

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

V diplomski nalogi se bomo osredotočili na sistem daljinskega ogrevanja. Gre za možnost, s katero predvsem v hladnejših obdobjih ogrevamo stanovanja, hiše in industrijske objekte, toplota se uporablja tudi v proizvodnih procesih. Da bi lahko bolje razumeli delovanje sistema daljinskega ogrevanja, moramo poznati zgodovino njegovega razvoja in njegov namen. Na tej osnovi bomo lahko bolje razumeli, v kakšnem stanju je ta centralizirani sistem ogrevanja v nekem širšem svetovnem območju in kakšne možnosti, izboljšave nam ponuja v prihodnosti.

1.2 CILJI NALOGE

Prvotni namen tega strokovnega dela je približati bralcu pojem sistema daljinskega ogrevanja. Skozi teoretično in praktično obrazložitev bomo skušali dovolj nazorno predstaviti prednosti in omejitve omenjenega sistema. Na praktičnem primeru želimo vrednostno predstaviti učinke optimizacije sistema ter v sklopu celotne naloge povabiti bralca k razmisleku o dodatnih možnostih izboljšav na tem področju. Sistem daljinskega ogrevanja bomo skušali predstavili popolnoma objektivno.

1.3 ZGODOVINA DALJINSKEGA OGREVANJA

Najstarejši še delujoči sistem daljinskega ogrevanja danes najdemo v majhnem francoskem mestu Chaudes-Aigues. Deluje od štirinajstega stoletja naprej na podlagi geotermalnega vira energije s temperaturo 82 °C. Sprva se je za distribucijo tople vode uporabljal sistem kanalov, prevzet še od Rimljanov. Pozneje se je sistem distribucije optimiziral in so za distribucijo vroče vode uporabljali izdolbena debela (Frederiksen in Werner, 2013, str. 541).

Za prvega izumitelja komercialnega sistema daljinskega ogrevanja štejemo hidravličnega inženirja Birdsilla Hollyja. Na svojem vrtu v Lockportu v ZDA je leta 1876 v zemljo postavil sistem cevi, po katerih se je pretakala para. Oktobra leta 1877 je

začel lokalno dobavljati paro še drugim gospodinjstvom. Druga mesta v severni Ameriki so ga začela posnemati in tako so v Denverju leta 1880 zgradili najstarejši še danes obratujoči sistem daljinskega ogrevanja (Frederiksen in Werner, 2013, str. 542).

Danes je pokritost daljinskega ogrevanja v mestih v ZDA majhna. Ta sistem uporablja večina izobraževalnih kampusov in trgovskih središč. V Evropo je sistem daljinskega ogrevanja prišel nekoliko pozneje. V poznem devetnajstem stoletju, leta 1884, so ga uvedli na tehnični univerzi v Berlinu v Nemčiji. Nekoliko večji sistem je bil zgrajen leta 1900 v Dresdnu, da bi zmanjšali nevarnost požara v enajstih stavbah, ki so umetniška dela neprecenljive vrednosti. Nekoliko večji komercialni projekt so izvedli leta 1921 predvsem zaradi visoke cene premoga v Nemčiji, ki je bila posledica prve svetovne vojne (Frederiksen in Werner, 2013, str. 542).

Zunaj Nemčije so s sistemom daljinskega ogrevanja začeli v Kopenhagnu na Danskem leta 1925, v Utrechtu na Nizozemskem leta 1927, v Parizu v Franciji leta 1930, v Zürichu v Švici leta 1933 ter v Stockholmu in Helsinkih na Švedskem leta 1953. Vsi ti sistemi so predstavljali osnovo za vse druge obstoječe sisteme v zahodni in severni Evropi. Leta 1970 je sistem daljinskega ogrevanja v določenih državah že postal del nacionalnih strategij za oskrbo z energijo. Delež teh držav se je še povečal v času naftne krize v letih 1973 in 1979 (Frederiksen in Werner, 2013, str. 542).

V bivši Sovjetski zvezi (ZSSR) se je splošna uporaba sistema daljinskega ogrevanja in sistema daljinskega ogrevanja s soproizvodnjo elektrike že predvidela v GOELRO leta 1920. Glavni namen je bil zmanjševanje prihodnjih potreb po nafti. Prva dobava toplote je bila izvedena leta 1924 v mestu St. Petersburg. Leta 1931 je bilo ustanovljeno podjetje Teploset Mosenegro, ki je dobavljalo toploto mestu Moskva. Danes toploto ruski prestolnici dobavljata dve podjetji, in sicer Mosteploseti (MTK), naslednik Mosenegra, in MOEK. Podjetje Mosenegro je bilo sposobno dobaviti 276 PJ in MOEK približno 100 PJ toplote v sistem daljinskega ogrevanja mesta. To predstavlja 95 % vseh potreb; gre za največji sistem daljinskega ogrevanja na svetu. Sovjetski projekti so pozneje predstavljali osnovo za podobne projekte v vzhodni in osrednji Evropi.

Sistem daljinskega ogrevanja se je tako razvijal bolj kot posledica določenih planskih uredb in ne skozi tržno konkurenco glede na preostale opcije. Ti sistemi daljinskega ogrevanja so običajno zelo veliki, imajo visok tržni delež in so zelo osredotočeni na količino. Mnogokrat se je iz tega razloga pozabilo na kvaliteto, kar danes povzroča ogromne težave pri zanesljivosti in vzdrževanju sistemov. Pojavljajo se ogromne potrebe po prenovitvi sistemov predvsem z vidika merjenja, nadzora potreb, zanesljivosti distribucije, zanesljivosti in obremenitev (Frederiksen in Werner, 2013, str. 544).

Znotraj Evropske unije (EU) danes obratuje več kot 5.000 sistemov daljinskega ogrevanja. Največji nacionalni deleži tega sistema z več kot 40 % so na Danskem, Švedskem, Finskem, Poljskem, v Estoniji, Latviji, Litvi. Delež med 10 in 40 % je v Nemčiji, Avstriji, Sloveniji, Madžarski, Bolgariji, Romuniji, na Slovaškem in Češkem. Manjši, vendar pomembni deleži so še na Nizozemskem, v Luksemburgu, Franciji in Italiji. Zelo malo ali skoraj nič teh sistemov je v Belgiji, Veliki Britaniji, na Irskem, Portugalskem, v Španiji in Grčiji. Celotna dobava toplote v EU je leta 2008 znašala 2 EJ (Frederiksen in Werner, 2013, str. 544).

Največji nacionalni delež daljinskega ogrevanja ima Islandija. Skoraj 90-odstotni tržni delež je predvsem posledica izkoriščanja geotermalnih virov. Na Hrvaškem je delež nekje v sredini, na Norveškem in v Švici je delež majhen, ampak pomemben. Večina večjih mest v jugovzhodni Evropi uporablja sistem daljinskega ogrevanja (Frederiksen in Werner, 2013, str. 544).

Rusija in ostale države bivše ZSSR imajo mnogo sistemov daljinskega ogrevanja predvsem zaradi planske ekonomije pred letom 1990. Njihova učinkovitost je na nižjem kvalitetnem nivoju kot v preostalih državah. Celotna dobava toplote je v letu 2008 znašala okoli 5 EJ. Več kot 3.000 mest se ogreva s sistemom daljinskega ogrevanja. Okoli 17.000 podjetij skrbi za dobavo toplote preko sistema cevi v dolžini 170.000 km. Približno četrtno teh cevi bo treba v prihodnje zamenjati (Frederiksen in Werner, 2013, str. 545).

Kitajska ima trenutno najhitreje rastoči nacionalni delež daljinskega ogrevanja na svetu. V zadnjih desetih letih je bila povprečna letna rast 20-odstotna. V letu 2008 je bilo dobavljene toplote 2.2 EJ. Dve tretjini te toplote je bilo dobavljene industriji. V Pekingju je danes drugi največji sistem daljinskega ogrevanja na svetu (Frederiksen in Werner, 2013, str. 545).

V Aziji lahko sisteme daljinskega ogrevanja najdemo na Japonskem, v Koreji in Mongoliji (Frederiksen in Werner, 2013, str. 545).

V ZDA obstaja malo komercialno usmerjenih sistemov daljinskega ogrevanja. Uporabljajo se predvsem za kampuse, univerze, bolnišnice, vojaške baze in industrijske cone. Ocenjuje se, da obstaja približno 6.000 institucionalnih in komercialnih sistemov, ki proizvedejo približno 1 EJ toplote na leto preko cevi v dolžini 32.000 km (Frederiksen in Werner, 2013, str. 546).

V Kanadi je bilo leta 2008 118 sistemov daljinskega ogrevanja, ki so skupaj proizvedli približno 14 PJ toplote (Frederiksen in Werner, 2013, str. 546).

2 DALJINSKO OGREVANJE

Daljinsko ogrevanje je način ogrevanja stavb, pri katerem toploto prenašamo od večjega vira toplote k porabnikom po cevnem omrežju. Snov, s katero prenašamo toploto, je najpogosteje voda ali vodna para. Vir toplote je centralna kotlovnica ali toplarna. Z daljinskim ogrevanjem nadomestimo manjše ogrevalne naprave po stavbah.

Daljinsko ogrevanje je v prednosti pred individualnim, če uporabljamo goriva, ki v manjših kuriščih slabo izgorevajo. Daljinsko ogrevanje omogoča obratovanje večjega toplotnega vira s sproizvodnjo ali izrabo odpadne toplote iz termoelektrarn ali industrijskih obratov. Slaba stran daljinskega ogrevanja je visok začetni strošek izgradnje cevnega omrežja ter izgube v omrežju.

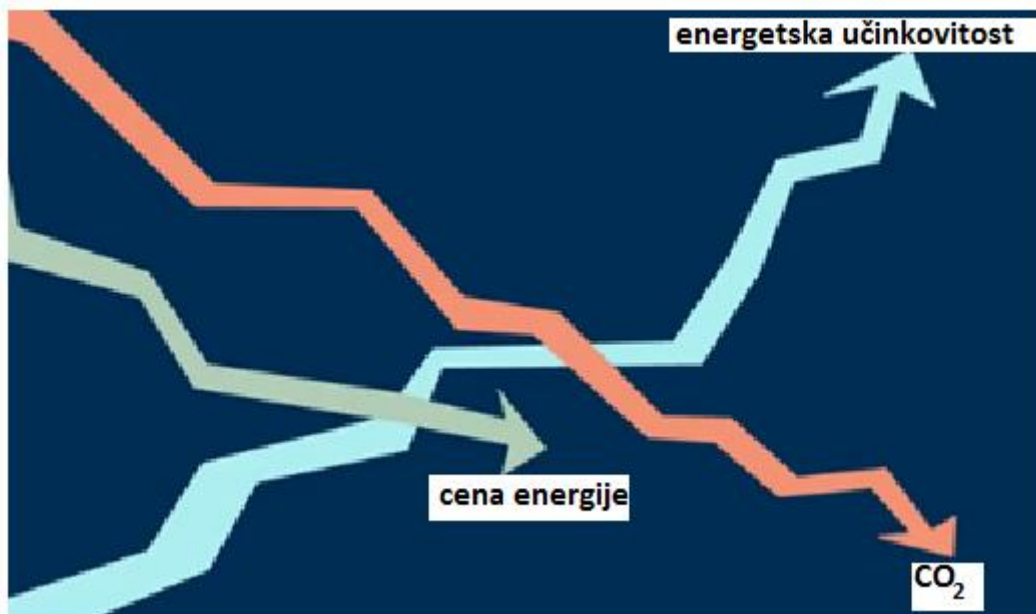
Parni sistemi daljinskega ogrevanja se večinoma opuščajo zaradi obratovalnih problemov. Novejši sistemi temeljijo na obtoku vroče (nad 100 °C) ali tople vode. Gospodarnost vira toplote in zmanjšanje izgub narekujejo čim nižjo temperaturo vode v obtoku, vendar morajo biti nižji temperaturi vode prilagojene tudi naprave za ogrevanje v stavbah. Nizko temperaturno ogrevanje mora biti načrtovano pred izgradnjo (Wikipedija, 2017).

Daljinsko ogrevanje se je pojavilo zaradi vse večjih globalnih zahtev po energiji, toploti in udobju. Z vse večjim zavedanjem o podnebnih spremembah in zmanjševanju vplivov se potreba po daljinskem ogrevanju konstantno povečuje. Daljinsko ogrevanje postaja aktualna politična tema. Podnebni sporazumi, kot je Kjotski protokol, postajajo vodilo pri sprejemanju vladnih odločitev. Iskanje obnovljivih virov energije je stalnica tehnoloških raziskav in dobra novica je, da se daljinsko ogrevanje lahko priključi na te nove obnovljive vire. Zato postaja daljinsko ogrevanje zelo zanimivo in pridobiva interes deležnikov povsod po svetu (Danfoss, 2018a).



Slika 1: Viri primarne energije daljinskega ogrevanja
(Vir: Danfoss, 2018a)

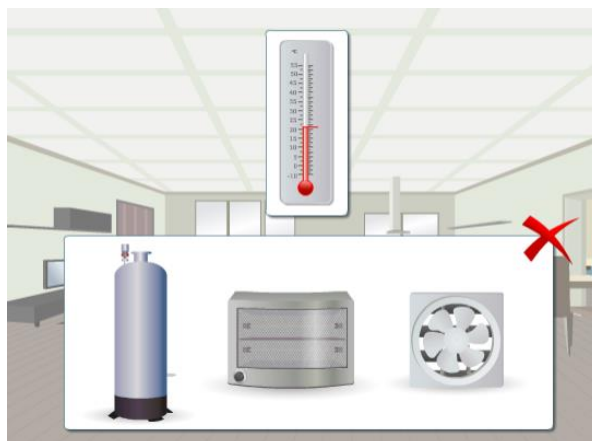
Z daljinskim ogrevanjem se dviguje energijska učinkovitost, zmanjšuje onesnaževanje okolja in znižuje strošek energije.



Slika 2: Smernice razvoja proizvodnje energije
(Vir: Danfoss, 2018a)

Daljinsko ogrevanje je sistem, ki ustvarja ugodno delovno okolje v stavbah, kjer ljudje delajo ali živijo. Posamezne stavbe ne potrebujejo kotlovnice in peči, kajti za to poskrbi sistem daljinskega ogrevanja, ki preko omrežja dovede toplo vodo do podpostaje. Podpostaja poskrbi, da se toplota oziroma energija prenese do končnih porabnikov.

V mestnih okoljih in v njihovi soseščini, kjer se stavbe lahko povežejo na omrežje daljinskega ogrevanja, je to najenostavnejši, najvarnejši in najcenejši način dovajanja toplote končnim uporabnikom.



Slika 3: Končni porabnik daljinskega ogrevanja
(Vir: Danfoss, 2018a)

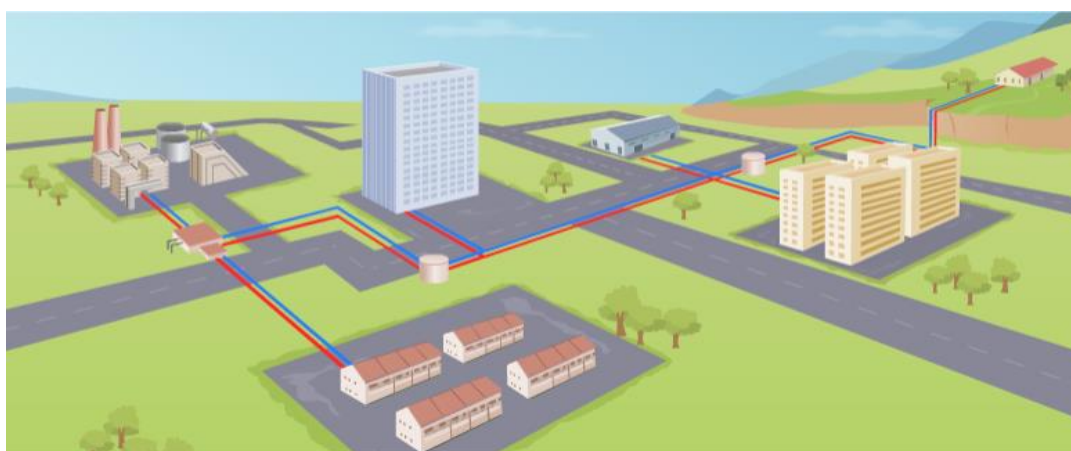
Daljinsko ogrevanje je unikatni sistem, kjer se lahko uporabi različne vire goriv za proizvodnjo toplote. To dejstvo je zelo pomembno zaradi možnosti uporabe obnovljivih virov in potencialno novih še ne odkritih goriv. Možnost uporabe različnih goriv za obratovanje toplarne daje daljinskemu ogrevanju večjo fleksibilnost in manjšo odvisnost od posameznega goriva, na primer zemeljskega plina (Danfoss, 2018a).



Slika 4: Viri primarne energije daljinskega ogrevanja
(Vir: Danfoss, 2018a)

2.1 DISTRIBUCIJSKO OMREŽJE DALJINSKEGA OGREVANJA

Za transport toplote sistem daljinskega ogrevanja uporablja cevno omrežje, po katerem se transportira vroča voda iz toplarne preko cevi do stavb, ki so priključene na ta sistem. Toplarna s pomočjo črpalk ustvarja tlak v cevnem sistemu in poganja vročo vodo od vira do končnih porabnikov ter nazaj. Dobavljena vroča voda dodatno zagreje preko toplotnega izmenjevalca pri prejemniku in ta toplota se prenese na vodo, ki jo porabnik pridobi preko pipe. Vročna voda s tem izgubi toploto in se vrne ohlajena nazaj do toplarne, kjer se vodo ponovno segreje. Ta proces se v zaprtem sistemu neskončno ponavlja (Danfoss, 2018a).

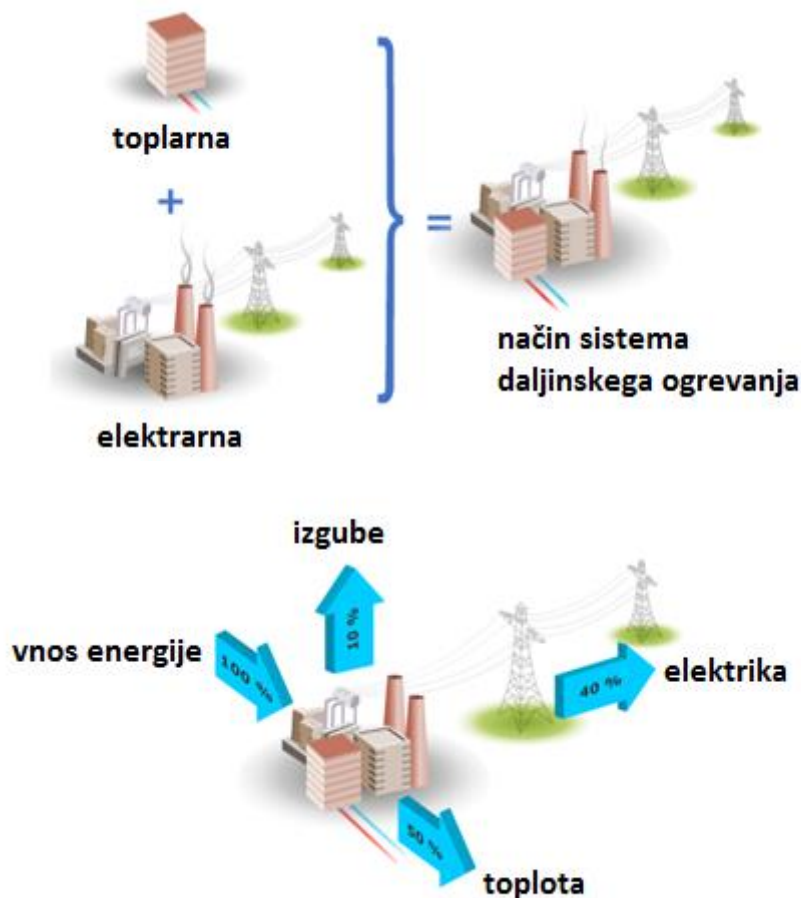


Slika 5: Mreža daljinskega ogrevanja
(Vir: Danfoss, 2018a)

2.2 KOMBINIRANO DALJINSKO OGREVANJE S SOPROIZVODNJO ELEKTRIČNE ENERGIJE

Optimalna proizvodnja energije je kombinacija proizvodnje toplote s proizvodnjo elektrike. Gre za način kogeneracije toplote in elektrike znotraj istega sistema z uporabo odvečne toplote, ki bi bila v nasprotnem primeru zavržena. Uporabi se pri proizvodnji elektrike. Energijski prihranki so veliki, tudi do 50-odstotni (Danfoss, 2018a).

Klasična elektrarna je tipično sposobna proizvesti iz celotne energije 40 do 50 % električne energije. Preostanek predstavlja odpadno, neizkoriščeno energijo.



Slika 6: Soproizvodnja toplote in električne energije
(Vir: Danfoss, 2018a)

2.3 ZMANJŠEVANJE OBREMENITVE OKOLJA

Z zmanjševanjem odpadne neizkoriščene energije in uporabo obnovljivih virov je za končni učinek potrebne manj energije in s tem je manj CO₂ sproščenega v zrak. S pomočjo daljinskega ogrevanja zmanjšujemo onesnaževanje okolja s CO₂, kajti pri prejemniku toplote ne prihaja do nobenega zgorevanja. Na samem viru, se pravi v toplarni, pa se danes uporabljajo moderni sistemi čiščenja in filtriranja izpušnih plinov in s tem se zmanjšuje onesnaževanje zraka (Danfoss, 2018a).

2.4 IZZIVI SISTEMA DALJINSKEGA OGREVANJA

Čeprav se delovanje sistema daljinskega ogrevanja lahko zdi preprosto, gre za izjemno dinamičen proces, ki zahteva stalno kontrolo, obvladovanje in nadziranje sistema za doseganje najboljših možnih rezultatov in ugodja za končnega porabnika.

Izziv sistema je dostaviti ravno pravšnjo količino toplote do vseh enot, priključenih na mrežo daljinskega ogrevanja.

Na hidravlično neravnovesje in slabo kontroliranje temperature v sistemu daljinskega ogrevanja med drugim vplivajo:

- spremenljive potrebe po energiji po dnevih, tednih in letih,
- variiranje pretoka in tlaka,
- dobavljanje energije iz različnih virov.

Za primer stavbe bližje viru daljinskega ogrevanja imajo na voljo višji diferencialni tlak, kot ga potrebujejo, in stavbe, ki so bolj oddaljene od toplarne, ga ne dobijo dovolj, kar povzroči manjše ugodje.

Najpreprostejša ali tipična rešitev zgornjih težav za bolj oddaljene porabnike je uporaba več energije, črpanje več vode v sistem. Tak način za seboj potegne višje operativne stroške za toplarno, posledično je račun za končnega porabnika višji, tudi onesnaženost zraka je večja. Rešitev težave leži v balansiranju mreže daljinskega ogrevanja.

Na voljo sta dve možnosti balansiranja mreže daljinskega ogrevanja:

- statična in
- avtomatična.

Statični način balansiranja je zelo preprost, vendar pa ga je v primeru novih porabnikov, priključenih v sistem daljinskega ogrevanja oziroma spremembe vira energije, mogoče ročno ponastavljati. Ta rešitev je za današnji dinamični svet praktično nemogoča. Edina možna rešitev v sistemu daljinskega ogrevanja je avtomatično reguliranje.

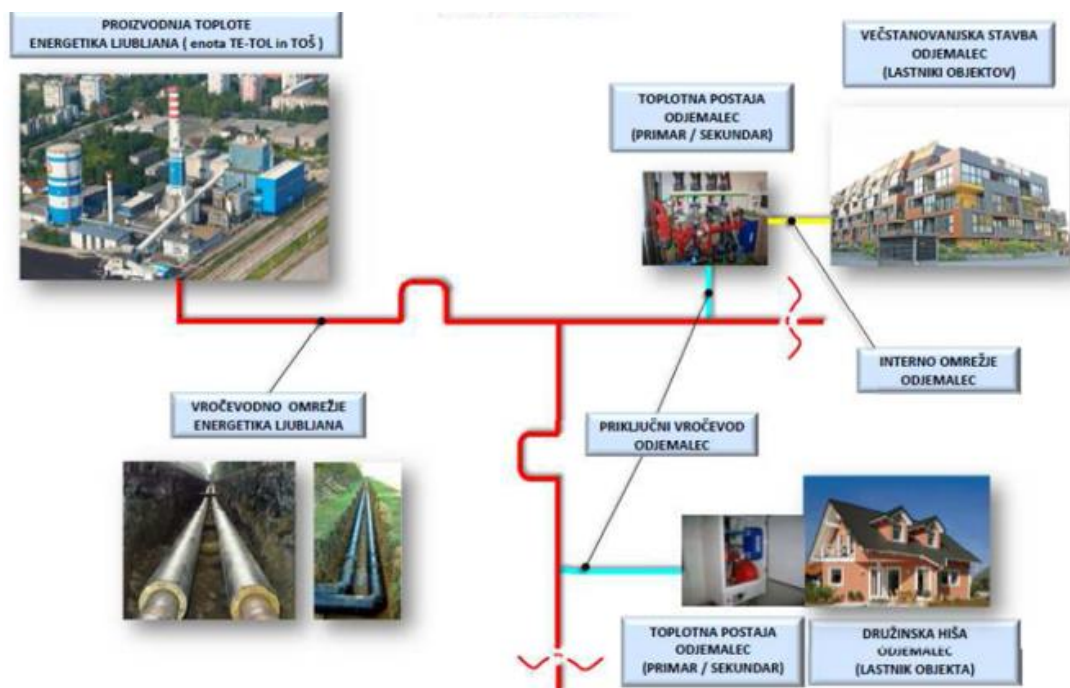
3 SISTEM DALJINSKEGA OGREVANJA

V tem poglavju se bomo začeli podrobneje poglobljati v sistem daljinskega ogrevanja. Predstaviti nameravamo položaj sistema in nadaljnje razvojne težnje.

Pojem daljinskega ogrevanja pokriva nek centraliziran ogrevalni sistem za mesta z njegovo okolico. Porabnikom se dobavi vroča voda, s katero se lahko ogreje prostor, pitna voda ali pa se uporabi za industrijske procese.

Voda se ogreje v eni ali več toplarnah in se transportira preko cevnega omrežja do končnih porabnikov. Temperatura vode se giblje med 70 in 120 °C, odvisno od vremenskih pogojev. Vsak uporabnik, priklopljen na sistem daljinskega ogrevanja,

potrebuje za to ustrezno toplotno postajo s toplotnim izmenjevalcem, preko katere se toplota prenaša naprej do ustreznih lokacij v stavbi. Ohlajena voda se nato po drugi cevi vrne v toplarno, kjer se ponovno segreje. Vroča voda se iz toplarne dobavi preko primarnega in se vrača v toplarno preko sekundarnega vezja. Cilj primarnega vezja je dobaviti toploto do podpostaje z minimalnimi izgubami te toplote. Cevi v primaru morajo biti zelo dobro izolirane (Cuadrado, 2009).



Slika 7: Shema sistema daljinskega ogrevanja

(Vir: Energetika Ljubljana, 2015)

Podjetje, ki upravlja cevno omrežje, lahko odloča o tem, koliko energije se dobavi posamezni podpostaji in na podlagi te količine se izda račun za opravljeno storitev. Poleg opravljene storitve pa to podjetje stranki zaračuna še nekatere zakonsko določene dodatke. Podajamo primer slovenskega upravitelja vročevodnega omrežja v Ljubljani podjetja Energetika Ljubljana (2015):

- Postavka dobavljena toplota je postavka za stroške za dobavo in odjem toplotne energije. Dobavljena toplota predstavlja razliko števnih stanj na začetku in na koncu obračunskega obdobja. Količina dobavljene toplote se meri v MWh oziroma kWh in se ugotavlja neposredno s toplotnim števcem, vgrajenim v toplotni postaji. Postavka se obračunava kupcem v EUR/MWh.
- Postavka dodatek za PEU je postavka za stroške za povečanje energetske učinkovitosti. Zbrana sredstva iz tega naslova se nato nakazujejo Eko skladu in predstavljajo finančni vir za izvajanje programa Eko sklada za nepovratne

finančne spodbude v ukrepe učinkovite rabe energije (kot so npr. ovoji stavb ipd.).

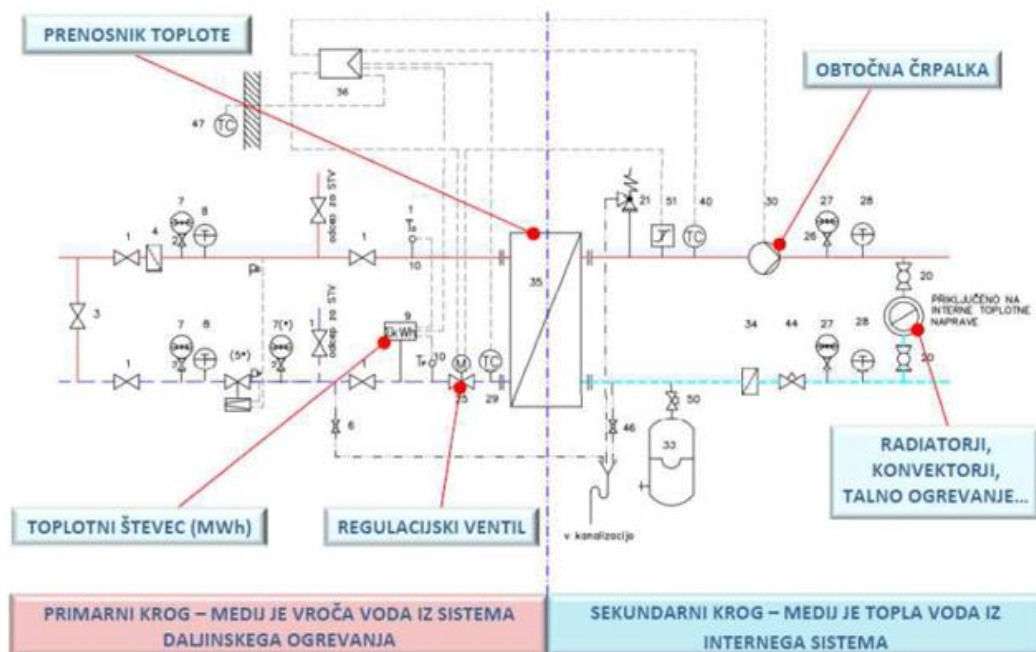
- Postavka prispevek SPTE in OVE je postavka strošek za zagotavljanje podpor proizvodnje električne energije v soprodukciji z visokim izkoristkom in iz obnovljivih virov energije. Zbrana sredstva iz tega naslova se nakazuje organizatorju trga z električno energijo, družbi Borzen d.o.o. Sredstva so namenjena zagotavljanju podpor za proizvodnjo električne energije v soprodukciji z visokim izkoristkom in iz obnovljivih virov energije.
- Postavka priključna moč je postavka za strošek za priključno moč. Stroški priključne moči so tisti del stroškov oskrbe s toploto, ki so neodvisni od uporabe. To so fiksni stroški sistema daljinskega ogrevanja in se plačujejo celo koledarsko leto. Stroški priključne moči so namenjeni za stroške delovanja vročevodnega sistema. Osnova za obračun priključne moči je nazivna moč internih toplotnih naprav odjemalca toplote, določena s projektno dokumentacijo. Odjemalcem se zaračunava v EUR/kW/mesec.
- Postavka vzdrževanje merilnika toplote je postavka za strošek vzdrževanja merilne naprave in se obračunava mesečno. Znesek je namenjen za izvajanje rednih overitev ter pokritje stroškov zamenjav merilnika v primerih okvar. Rok za redno overitev vseh izvedb merilnikov in njihovih sestavnih delov je pet let. V okviru overitve se v laboratoriju na kontrolnih napravah s pomočjo referenčnih etalonov izmeri merilni pogrešek. Če merilnik ustreza meroslovnim predpisom, se nanj namesti overitvena oznaka v obliki nalepke ali žiga.

Prejemnik storitve:


Odjemno mesto	Vrsta porabe	Datum od	Datum do	Star odčitek	Nov odčitek	Poraba	Faktor	Delitev %	Obr. kol.
01600	(Moč=6,543 KW, gospodinjaki odjem)								
Redni odčitek 9810931		26.08.2015	30.09.2015	145,400	145,400	0,000		1,89842476	0,0000
Opis	Od datuma	Do datuma	Količina	Enota mere	Delitev %	Cena	DDV%	Znesek brez DDV	
Dobavljena toplota	26.08.2015	30.09.2015	0,000	MWh		45,5850	22,00	0,00	
Dodatek za PEU	26.08.2015	30.09.2015	0,000	MWh		0,5000	22,00	0,00	
Prispevek SPTE in OVE	26.08.2015	30.09.2015	0,000	MWh		0,99045	22,00	0,00	
Priključna moč			6,543	KW/mes		1,0210	22,00	6,68	
Vzdrževanje merilnika toplote [ETTS-DN40]			1,000	mes	0,93911471	15,0938	22,00	0,14	
DDV - osnovna stopnja 22 %	Osnova:		6,82	DDV:	1,50	Skupaj:		8,32	
Skupni znesek računa EUR	Osnova:		6,82	DDV:	1,50	Skupaj:		8,32	
Skupaj EUR:								8,32	

Aktivacijska koda za dostop do portala MOJ RAČUN: 

Slika 8: Stroškovnik prejemnika storitve v Ljubljani
(Vir: Energetika Ljubljana, 2015)



Slika 9: Shema toplotne postaje za ogrevanje
(Vir: Energetika Ljubljana, 2015)

Kot je bilo omenjeno, ima daljinsko ogrevanje veliko prednosti. Zgorevanje za ogrevanje vode se izvaja na enem mestu, zato je lažje izvajati študije in analize za izboljševanje učinkovitosti. Obstoječe samo enega dimnika omogoča boljše upravljanje in nadzor izpušnih plinov, posledica tega je izboljševanje kakovosti in omogočanje čistejšega zraka. Toplarne lahko uporabljajo različne vire goriv, med drugim se jih lahko priključi tudi na obnovljive vire energije in uporabo odpadne energije, ki bi bila v nasprotnem primeru neizkoriščena. Nekatere toplarne poleg toplote sproizvajajo tudi električno energijo, kar močno dvigne njeno učinkovitost. Vse to so nekatere prednosti daljinskega ogrevanja. Poleg tega končnim uporabnikom niso potrebne dodatne investicije v posamezne kotlovnike in peči. Nekateri sistemi poleg daljinskega ogrevanja omogočajo tudi daljinsko hlajenje, predvsem zanimivo za področja s toplejšim podnebjem (Cuadrado, 2009).

3.1 DALJINSKO OGREVANJE S SOPROIZVODNJO ELEKTRIČNE ENERGIJE

V teh sistemih toplarna hkrati proizvaja toploto in elektriko. Tak tip toplarn ima izredno atraktivno zmogljivost. Učinkovitost teh podjetij je višja v primerjavi s posamezno proizvodnjo toplote ali elektrike, so okolju prijaznejša in porabijo manj goriva za posamezno proizvedeno MWh.

V konvencionalnih parnih elektrarnah se v enem kotlu proizvede para pod visokim tlakom, ki bo nato potovala skozi turbino. Kotlovnik prenese energijsko vsebnost v gorivu na vodo, kar dvigne njen tlak in temperaturo do stanja pare. Termična energija pare se v parni turbini spreminja v mehansko delo, rotirajoče gibanje izhodne gredi se v generatorju uporabi za generiranje elektrike. Po tej pretvorbi se para kondenzira v hladilnem stolpu oziroma s pomočjo hladilne naprave in nato se voda ponovno črpa v kotel. Daleč največ električne energije se v svetu proizvaja s parnimi turbinami z uporabo Rankinovega cikla. Približno 80 % elektrike se v ZDA generira s parno turbino.

Predstavljen sistem parnih elektrarn ima kakor vsi ostali termični stroji, ki uporabljajo toploto v svojih procesih, svoje termodinamične omejitve. Energijska pretvornost iz toplote v mehansko delo je zelo neučinkovit proces in se uporablja v vseh konvencionalnih elektrarnah, temelječih na fosilnih gorivih ali cepitvi v primeru nuklearnih elektrarn. Učinkovitost teh procesov je omejena s Carnotovo enačbo učinkovitosti. Glede na drugi zakon termodinamike je maksimalna učinkovitost dosegljiva po spodnjem izračunu.

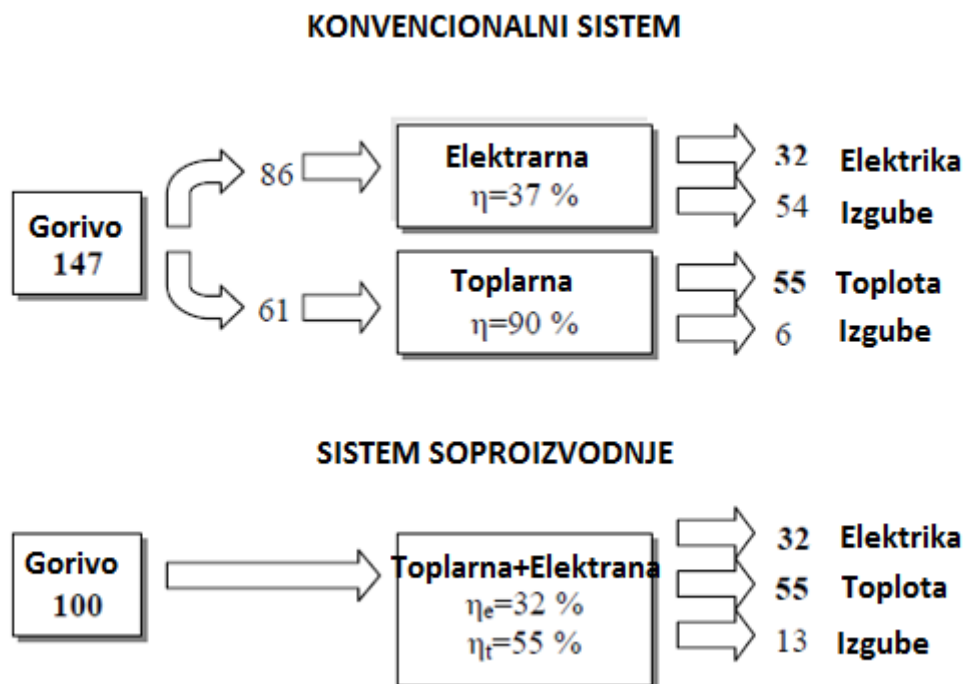
$$\eta_c = 1 - \frac{T_c}{T_h}$$

Enačba 1: Maksimalna učinkovitost – Carnotova enačba

T_c predstavlja hladnejšo in T_h toplejšo temperaturo.

V konvencionalnih parnih elektrarnah je T_c temperatura kondenzacije pare in je zelo nizka, lahko pride celo do sobne temperature, okoli 30 °C. Na drugi strani pa je T_h maksimalna temperatura, pri kateri se generira para. Ta temperatura s časom in tehnologijo narašča. V novejših elektrarnah doseže okoli 580 °C. Pri teh dveh temperaturnih vrednostih je izračunana učinkovitost po Carnotovi enačbi 64,5-odstotna. Ta vrednost predstavlja optimalno možno teoretično učinkovitost. V realnem svetu novejše elektrarne dosegajo vrednosti okoli 40–42 %, kar pomeni, da je za okoli 60 % energije izgubljene.

Toplarnne s soproizvodnjo električne energije se soočajo s to pomanjkljivostjo in jo skušajo rešiti, tako da preostalo energijo pri proizvodnji elektrike uporabijo pri proizvodnji toplote. Take toplarne zmanjšajo količino uporabljenega goriva in posledično je manj odpadne energije in manj onesnaževanja s CO₂.



Slika 10: Konvencionalni sistem in sistem soproizvodnje energije
(Vir: Cuadrado, 2009)

V današnjih časih energetski strokovnjaki opravljajo številne analize in študije o povečanju učinkovitosti sistema daljinskega ogrevanja. Večina se osredotoča na zniževanje temperaturnih nivojev, kar pa se lahko doseže le z izboljšavo oblikovanja toplotnih postaj pri končnih uporabnikih.

3.2 NASTAVITEV TEMPERATURNEGA REŽIMA V SISTEMU DALJINSKEGA OGREVANJA

V tem delu diplomske naloge bomo skušali opisati temperaturne režime v sistemu daljinskega ogrevanja. Temperature bodo izbrane po vplivu in posledicah. Pozneje bomo opisali, kakšen vpliv ima potrošnik na te temperature znotraj sistema.

3.2.1 Izbira temperaturnega režima

Izbira temperaturnega režima je zelo kompleksna in pomembna aktivnost pri oblikovanju sistema daljinskega ogrevanja. Obratovalne temperature vplivajo na dosegljivo kapaciteto dobavljive toplote, toplotne izgube, količino dela, potrebnega za črpanje za transport vode, in vplivajo na neto proizvedeno količino električne energije v primeru toplarne s soproizvodnjo električne energije in na toploto, proizvedeno s

toplotnimi črpalkami. Tako je razumljivo prizadevanje za optimizacijo temperatur v sistemu daljinskega ogrevanja, odkar ta sistem obstaja.

Obstajata dve temperaturi: temperatura primara in sekundara. Prva predstavlja temperaturo vroče vode, ki potuje iz toplarne v toplotno postajo porabnika. Ta temperatura je oblikovana in določena s strani proizvajalca, torej toplarne. Druga temperatura je nižja in predstavlja temperaturo, ki pride od toplotne postaje. Na to temperaturo vplivata končni uporabnik in topologija omrežja.

3.2.1.1 Vpliv na kapaciteto dobavljene toplote

V sistemu daljinskega ogrevanja obstajata dva parametra, ki vplivata na količino dobavljene toplote do končnega kupca. Spodnja enačba prikazuje moč, ki jo stranka prejme (P) do svoje toplotne postaje in je odvisna od temperaturne razlike med dobavljeno vročo vodo in hladnejšo povratno vodo, pretoka (m) in na koncu specifične toplote (C_p).

$$P = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Enačba 2: Izračun moči, ki jo prejme stranka

$$\Delta T = T_{\text{dobavljena}} - T_{\text{povratna}}$$

Enačba 3: Temperaturna razlika

Specifična toplota vode je konstantna in znaša $C_p = 4,18 \text{ kJ / kg} \cdot \text{K}$ pod standardnimi pogoji. Zato je ne obravnavamo kot parameter, s katerim bi lahko vplivali na dobavljeno količino toplote. Glede na to, da ima na povratno temperaturo vpliv končni uporabnik, preostaneta samo dve spremenljivki, na kateri ima vpliv toplarna: dobavljena temperatura in pretok.

Enačba 2 prikazuje, da je celotna dobavljena moč proporcionalna glede na temperaturno razliko medija. Učinkovit sistem daljinskega ogrevanja ima dve karakteristiki: nizko temperaturo dobavljene vroče vode in visoko temperaturno razliko med temperaturo dobavljene in povratne vode. Nizka temperatura dobavljene vode povečuje učinkovitost proizvodnje toplote in zmanjšuje toplotne izgube med transportom. Na drugi strani visoka temperaturna razlika (ΔT) povzroči zmanjšanje pretoka in s tem prihranke pri poganjalnih črpalkah.

Današnji cilj je zmanjševati temperaturo dobavljene vode in povečevati temperaturno razliko ΔT , kajti transportirana energija je proporcionalna ΔT , učinkovit sistem bi tako moral imeti tudi nizko povratno temperaturo vode. Povratna temperatura je odvisna od potrošnika, priključenega v omrežje, oziroma njegove toplotne podpostaje. Kar

nekaj projektov trenutno teče v smeri proučevanja različnih povezav toplotnih izmenjevalcev v sistemu toplotne podpostaje, s katerimi bi se znižala povratna temperatura in s tem tudi potreben pretok vode.

Večji sistemi daljinskega ogrevanja na Švedskem danes za osnovno projektirano temperaturo uporabljajo 120 °C. V Nemčiji je ta temperatura okoli 130 °C in v vzhodni Evropi lahko doseže celo 150 °C. V nekaterih mestih na Švedskem danes delajo z maksimalno temperaturo med 100 in 110 °C v najhladnejših dneh. Ponekod v Skandinaviji pa se že poizkuša uporabljati sistem nizke temperature in tlaka z maksimalno temperaturo okoli 90 °C.

Povratne temperature vode so odvisne v največji meri od sistema ogrevanja posamezne stavbe. Starejši sistemi so projektirani na delovanje s temperaturo dobavljene vode okoli 80 °C in povratno temperaturo okoli 60 °C, medtem ko so modernejšie enote sposobne obratovati z režimom 60/45 °C. Kombinacija teh dveh tehnologij bi lahko vodila v učinkovitejši ogrevalni sistem temperatur 70/50 °C (Cuardado, 2009).

3.2.1.2 Vpliv ΔT na delovanje toplotnih črpalk

Delo toplotnih črpalk je v bistvu energija, potrebna za transport vroče vode od toplarne do končnega porabnika in za transport od končnega porabnika nazaj do toplarne. V ta namen so določene črpalke zaradi padca tlaka nameščene vzdolž toplovoda. Naloga črpalk je ustvarjati tlak v toplovodnem omrežju, ki se izgublja zaradi trenja med vodo in cevmi. To trenje ni v linearni povezavi s pretokom vode. Zmanjšanje pretoka vode ima velik vpliv na količino energije, potrebno za črpanje.

Če ponovno pogledamo enačbo 2, vidimo, da je dostavljena moč odvisna od povečanja ΔT , kar povzroči zmanjšanje pretoka. To močno vpliva na potrebno količino energije za črpanje in s tem manjši račun za elektriko.

3.2.1.3 Vplivi na toplotne izgube toplovodnega omrežja

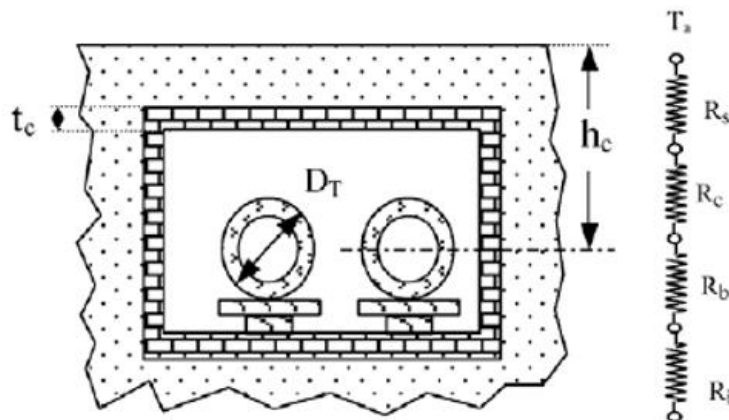
Toplotne izgube znotraj omrežja daljinskega ogrevanja so proporcionalne temperaturni razliki med okolico in temperaturi vode v ceveh. Glede na to, da na temperaturo okolice nimamo vpliva, so toplotne izgube odvisne od temperature dobavljene vode, povratne temperature vode, pretoka in izolacije cevi.

Naslednja enačba prikazuje energijo, dobavljeno končnemu porabniku.

$$Q_{toplarna} + W_{črpalka} = Q_{izguba} + Q_{potrošnik}$$

Enačba 4: Izračun dobavljene energije končnemu porabniku

$Q_{toplarna}$ predstavlja toploto, proizvedeno v toplarni. $W_{črpalka}$ predstavlja delo črpalke za transport vode. Q_{izguba} predstavlja izgubo toplote vzdolž toplovodnega omrežja. $Q_{potrošnik}$ predstavlja toploto, ki je dostavljena končnemu potrošniku do njegove toplotne podpostaje.



Slika 11: Prerez kanala, kjer so cevi sistema daljinskega ogrevanja
(Vir: Cuadrado, 2009)

Glede na tipičen sistem, kjer imamo dve cevi (primar in sekundar) nameščeni v kanalu pod zemljo, se toplotne izgube na enoto dolžine (Q_{izguba}) lahko izrazijo s spodnjo enačbo.

$$Q_{izguba} = 2 \cdot \left[\frac{(T_{cevi} - T_{okolja})}{(R_{izol.cevi} + R_{luknja} + R_{kanal} + R_{material})} \right]$$

Enačba 5: Toplotne izgube na enoto dolžine

T_{cevi} predstavlja povprečno temperaturo obeh cevi.

$$T_{cevi} = \frac{T_{dobavljena} - T_{povratna}}{2}$$

Enačba 6: Povprečna temperatura cevi

Toplotne izgube so pomnožene z 2 zaradi dveh cevi (primar in sekundar).

$R_{izol.cevi}$ predstavlja termično odpornost izolacije cevi. R_{luknja} predstavlja luknjo kanala. R_{kanal} in $R_{material}$ sta izračunana glede na obliko in materiale z upoštevanjem pretoka.

Zato je zelo pomembno, da se toplotne izgube dajo pri projektiranju optimalnega temperaturnega režima v sistemu daljinskega ogrevanja upoštevajo. V omrežju daljinskega ogrevanja so običajno večje od 10 % dobavljene energije (Cuadrado, 2009).

3.3 TOPLOTNE PODPOSTAJE – VPLIV KONČNEGA POTROŠNIKA NA OMREŽJE DALJINSKEGA OGREVANJA

Končni porabnik ima pomembno vlogo pri optimizaciji sistema daljinskega ogrevanja. Da bi lahko minimizirali porabo električne energije toplotnih črpalk v omrežju, je treba maksimizirati ΔT med primarom in sekundarom. Povratna temperatura vode je odvisna od končnega potrošnika in jo je možno optimizirati samo z ustreznim projektiranjem in delovanjem toplotne podpostaje.

Temperatura v primaru je projektirana glede na pogodbene vrednosti, določene med strankami. Če eden od končnih uporabnikov ne vzdržuje visoke temperaturne razlike v sekundaru, je potrebnega več pretoka za transfer iste količine toplote. V primerih, ko končni porabnik v sekundaru vrne višjo povratno temperaturo, se mora v toplotni podpostaji povečati pretok, kar posledično bolj obremeni črpalke in poveča se tveganje, da naslednji porabnik ne dobi pogodbeno določene količine energije (Cuadrado, 2009).

Čeprav gredo trendi in generalna usmeritev v standardizacijo tehnologije toplotnih podpostaj, se v mnogih primerih še vedno srečujemo s specifikami lokalnih praks posameznih narodov. Glavni elementi toplotne podpostaje v sistemu daljinskega ogrevanja so: toplotni izmenjevalci, mešalna oprema, ki zmanjšuje temperaturo in tlak, in regulacijski ventili. Včasih je zmogljivost posamezne podpostaje glede proizvodnje toplote in obvladovanje pretoka omejena z regulacijsko opremo podpostaje in električnimi inštalacijami, ki so na voljo tej enoti. Tak način komunikacije se lahko uporabi za optimiziranje porabe energije in s tem za njeno zmanjševanje. Projektanti opreme znotraj stavb in v toplotnih podpostajah lahko močno vplivajo na temperaturni režim v sistemu daljinskega ogrevanja (Frederiksen in Werner, 2013, str. 359).

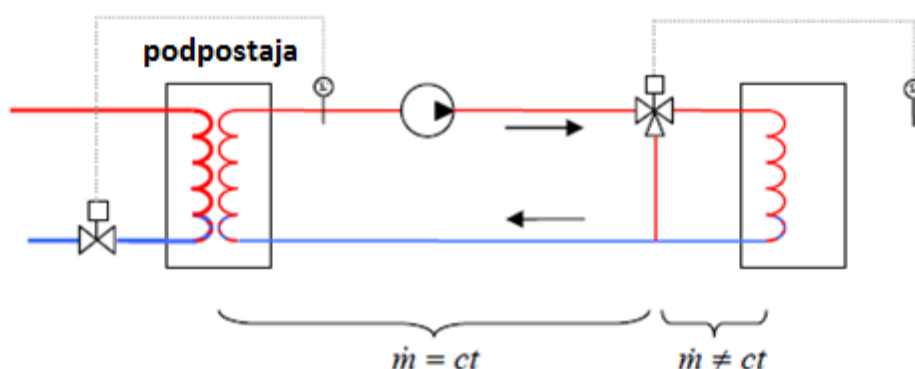
Značilnost toplotnih podpostaj v nasprotju s podpostajami, ki se uporabljajo za dobavo električne energije, je, da so pozicionirane v stavbah in so običajno specifično projektirane glede na stavbo. Zelo moderne toplotne podpostaje so danes sposobne komunicirati preko interneta ali na podoben način s centralno enoto, ki lahko na podlagi sprejetih informacij takoj odreagira na določene situacije, ki se lahko pojavijo pri operativnosti podpostaje (Frederiksen in Werner, 2013, str. 360).

ΔT se mora maksimizirati, če želimo, da sistem operira z minimalnim potrebnim pretokom. Ta opomba se mora upoštevati na obeh straneh omrežja v primaru in

sekundaru. Na strani primara je pretok reguliran glede na potrebo po toploti. V zimskem času je potreba po toploti večja, zato je pretok višji kot poleti. Podobno je treba upoštevati na strani sekundara. Opisali bomo tri možne načine vezave in njihov vpliv na omrežje (Cuadrado, 2009).

3.3.1 Sekundar s 3-potnim ventilom

Tak sistem deluje s konstantnim pretokom vode v toplotni podpostaji in tripotni ventil regulira količino vroče vode, ki bo na voljo končnemu porabniku.



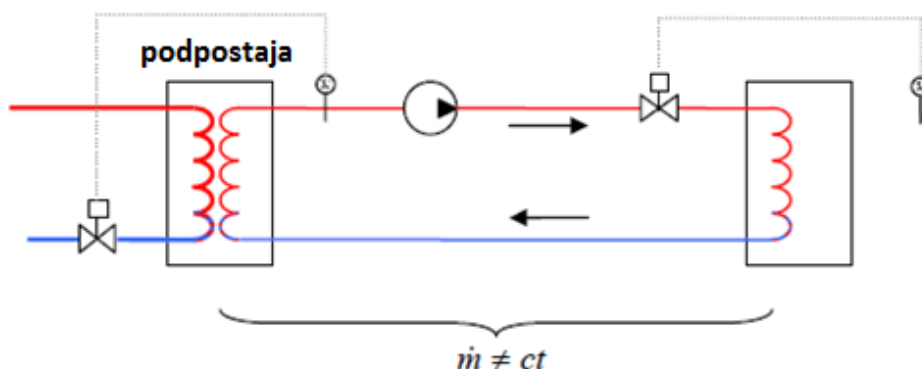
Slika 12: Shema sekundarne vezave s tripotnim ventilom
(Vir: Cuadrado, 2009)

Vročna voda pride preko primara do toplotne podpostaje. Pretok v podpostaji je odvisen od potrebe končnega porabnika. Kadar stranka potrebuje več toplote, temperatura na sekundaru začne padati zaradi večje porabe toplote. Dvopotni ventil na primaru zazna padec temperature na sekundaru in dovoli večji pretok. S tem omogoči večji transfer toplote iz primara v sekundar.

V tem sistemu tripotni ventil v vsakem trenutku odloči, koliko pretoka potrebuje končni porabnik glede na toplotno obremenitev. Preostanek vode se vrne po povratni cevi brez ohlajanja. Posledično povratna temperatura naraste, kar predstavlja težavo za toplarno, ker mora povečati pretok za dostavo enake moči. Posledično se dviga povratna temperatura do toplarne. Nekatere toplarne v takih primerih to dodatno zaračunajo. Za končnega porabnika to ni optimalna rešitev, poleg tega je v takem sistemu črpalka na sekundaru stalno polno obremenjena ne glede na potrebo po toploti. Posledično se življenjska doba črpalke skrajša in poveča se račun za elektriko.

3.3.2 Sekundar z 2-potnim ventilom

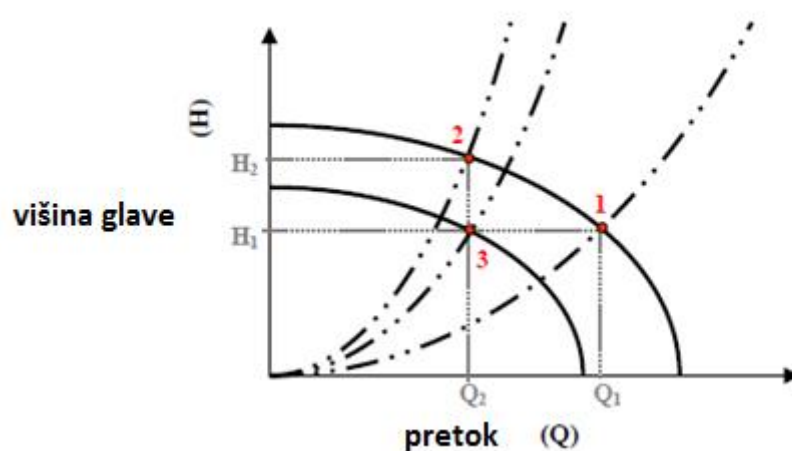
V teh sistemih pretok vode ni konstanten in je odvisen od potrebe končnega potrošnika po toploti. Dvopotni ventil regulira potrebo po pretoku glede na toplotno obremenitev. Črpalka je obremenjena glede na potreben pretok. Poraba električne energije je proporcionalna potrebi po toploti. Ta sistem je zelo pogosto uporabljen v sistemih daljinskega ogrevanja. Inženirji ga pogosto izberejo, saj potrebuje zelo malo vzdrževanja, zmanjšuje potrebo po elektriki in zagotavlja nizko povratno temperaturo.



Slika 13: Shema sekundarne vezave z dvopotnim ventilom
(Vir: Cuadrado, 2009)

3.3.3 Sekundar z diferenčno tlačno črpalko

Tudi ta sistem uporablja dvopotni ventil, ampak v tem primeru se hitrost delovanja črpalke uravnava glede na padec tlaka in s tem se maksimalno minimizira električna poraba črpalke.



Slika 14: Karakteristična krivulja diferenčne črpalke
(Vir: Cuadrado, 2009)

Točka 1 predstavlja visoko potrebo po toploti, zato je pretok visok. Če se potreba po toploti zmanjša, dvopotni ventil višino na merilcu točka dela obratovanja črpalke pomakne v točko 2. Tak način delovanja je opisan v prejšnjem načinu delovanja. Z uporabo diferenčne tlačne črpalke na sekundaru se bomo v takem primeru iz točke 1 pomaknili v točko 3 namesto v točko 2. Hitrost delovanja črpalke se zmanjša. Tak način je najboljša rešitev tako za končnega potrošnika kot za toplarno (Cuadrado, 2009, str. 15).

3.4 GLAVNI ELEMENTI TOPLOTNIH PODPOSTAJ

V tem delu bomo opisali dva ključna elementa toplotnih podpostaj, in sicer toplotne izmenjevalce in regulacijske ventile, ki v največji meri vplivajo na delovanje toplotne podpostaje.



Slika 15: Toplotna postaja
(Vir: Danfoss AG, 2018d)

3.4.1 Toplotni izmenjevalci

V današnjih časih so toplotni izmenjevalci vgrajeni v toplotne podpostaje pretežno v vseh primerih. Poznamo različne tipe toplotnih izmenjevalcev. Trendi gredo v smeri vedno večje kompaktnosti, da se toplotni izmenjevalci lahko vse več uporabljajo na vedno več področjih, kot so prehrabna industrija in sistemi hlajenja motorjev (Frederiksen in Werner, 2013, str. 379).

V preteklosti so se zelo pogosto uporabljali cevni toplotni izmenjevalci. Cevi so bile pogosto izdelane iz bakra ali nerjavečega jekla. Značilnost teh izmenjevalcev je bila, da so volumensko zasedli veliko prostora in pogosto se je po določenih letih pri tistih, narejenih iz bakrenih cevi, pojavljalo puščanje. Značilnost je bilo tudi, da so bile cevi po mnogo letih močno erodirane ali korodirane. Lahko se je tudi zgodilo, da je potrošnik, ko je odprl pipo in želel hladno vodo, dobil nasprotno – vročo vodo (Frederiksen in Werner, 2013, str. 379).



Slika 16: Cevni toplotni izmenjevalec
(Vir: Strgar Inženiring, 2018)

Današnji razvoj izmenjevalcev gre v smeri toplotnih izmenjevalcev plošča in spajkanih toplotnih izmenjevalcev plošča. Toplotni izmenjevalec plošča je sestavljen iz tankih kovinskih plošč, ki so stisnjene, valovite oblike, nato zložene in nato privijačene v okvir. Za vmesnik med ploščami se običajno uporabljajo tesnila EPDM. Zelo preprosto je tudi menjati plošče in jih vzdrževati. Značilnost spajkanih toplotnih izmenjevalcev plošča je, da so izdelani iz valovitih plošč iz nerjavečega jekla in čistega bakra (99,9 %) s postopkom vakumiranja v pečeh. Po tem procesu se plošče ne morejo več ločiti.



Slika 17: Toplotni izmenjevalec iz spajkanih plošč
(Vir: JIEMA, 2018)

Moderni toplotni izmenjevalci plošča se lahko prilagajajo različnim nivojem pretoka in različnim potrebam v padcu tlaka sistema. Uporaba teh dveh tipov toplotnih izmenjevalcev se predvsem razlikuje od razvitosti sistema daljinskega ogrevanja. V državah z manj razvitim sistemom se v večini predlaga uporaba toplotnih izmenjevalcev plošča.

3.4.2 Regulacijski ventili

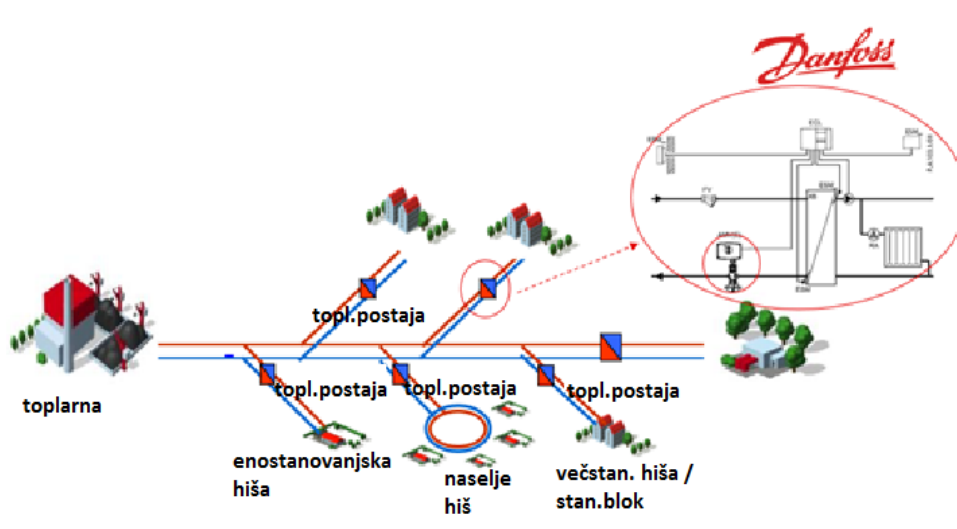
Regulacijski ventili se lahko regulirajo ročno ali pa z uporabo motornih pogonov na električno energijo. Ročni oziroma mehanski ventili omogočajo preprosto regulacijo. Motorizirani regulativni ventili pa končnemu uporabniku dodajajo vrednost. Ta tip ventilov je običajno opremljen z dodatnimi senzorji in nato električni pogon z odpiranjem in zapiranjem ventila optimizira delovanje toplotne podpostaje in s tem večje udobje za končnega uporabnika pri zadovoljevanju njegovih potreb. Nadaljnji razvoj motoriziranih pogonov gre v smeri brezžičnih povezav in posredovanja podatkov v oddaljene centralne nadzorne sobe, kjer na podlagi pridobljenih podatkov lahko dodatno optimizirajo delovanje posameznih toplotnih podpostaj v sistemu (Frederiksen in Werner, 2013, str. 382).



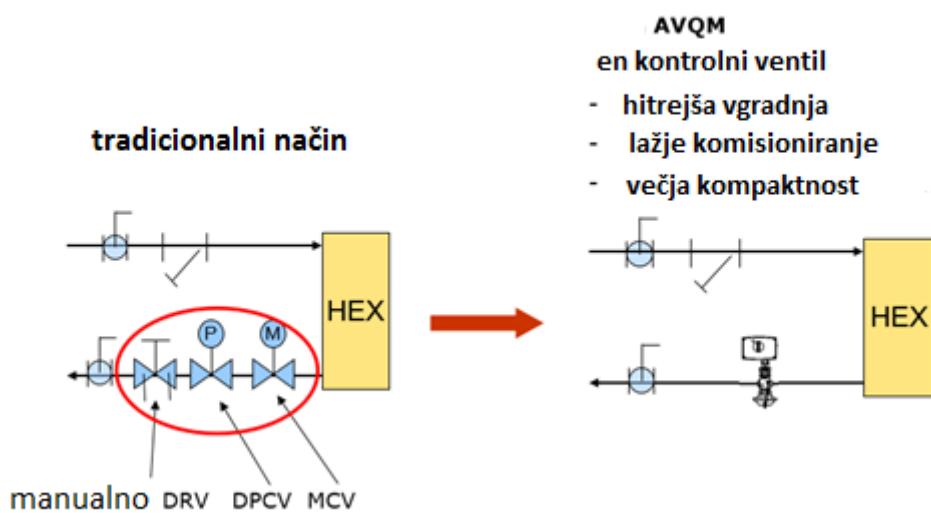
*Slika 18: Regulacijski ventil s pametnim pogonom Danfoss
(Vir: Kunšek, b. l.)*

Slika 18 prikazuje primer multifunkcijskega regulacijskega ventila z integriranim nadzorom diferencialnega tlaka in pretoka. Vgradnja takih ventilov v toplotno podpostajo znatno izboljša regulacijo tlaka in pretoka v podpostaji kot tudi hidravlično uravnoteži mrežo sistema daljinskega ogrevanja. Z uporabo teh ventilov pri toplotnih podpostajah sistem daljinskega ogrevanja dejansko lažje diha. Značilnosti teh ventilov so tudi preprosta vgradnja, nizki stroški kalibriranja in komisioniranja ter majhna dimenzija. Omenjeni ventili so tudi izredno prilagodljivi in omogočajo poznejše prilagoditve novim pogojem (Kunšek, b. l.).

Predstavljeni ventil združuje funkcijo treh ventilov v enem. Je regulacijski ventil z integriranim nadzorom diferencialnega tlaka in omejevalcem pretoka.



Slika 19: Prikaz daljinskega ogrevanja s toplotnimi podpostajami
(Vir: Kunšek, b. l.)



Slika 20: Tradicionalna vezava in vezava z regulacijskim ventilom v toplotni postaji
(Vir: Kunšek, b. l.)

4 VAROVANJE OKOLJA

Za ogrevanje in hlajenje porabimo polovico energije v EU in velik delež te energije je odpadne in neizkoriščene. Ena od prioritet Evropskega parlamenta je razviti energetska strategijo, ki bo za Unijo učinkovitejša in bolj vzdržna. Cilj je zmanjšati uvoz energije in s tem njeno energetska odvisnost, zmanjšati stroške za porabnike in zmanjšati onesnaževanje zraka glede na dogovorjen podnebni sporazum, sprejet na podnebni konferenci COP21 v Parizu.

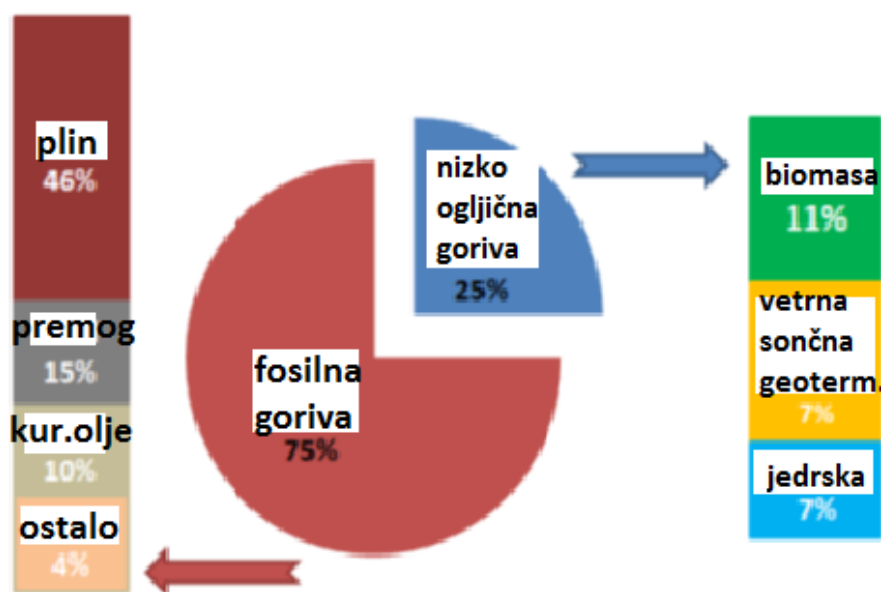
Čeprav se industrija ogrevanja in hlajenja pomika proti čistejšim virom energije, se še vedno v 75 % kot gorivo uporabljajo fosilna goriva (skoraj polovica zemeljski plin). Dobavitelji toplote, hlajenja in elektrane bi lahko sodelovali med seboj, iskali sinergije in s tem pripomogli k učinkovitejšemu in čistejšemu energetska sistemu.

4.1 VIZIJA IN CILJI ENERGETSKE STRATEGIJE EU

Vizija in cilji energetska strategije EU so:

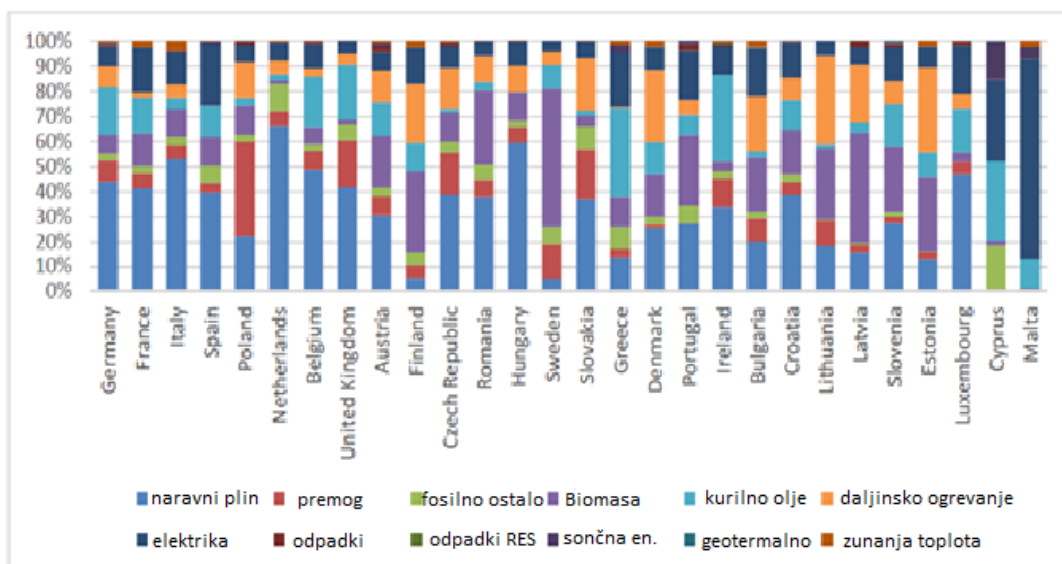
- stavbe, priključene na sisteme ogrevanja, začnejo uporabljati avtomatiko in kontrolnike regulacije;
- industrijski obrati bi lahko odvečno toploto ali hlad uporabili za ogrevanje ali hlajenje bližnjih stavb.

Nekatere aktivnosti bi se lahko vpeljale že zelo hitro, ostale pa v daljšem časovnem obdobju.



Slika 21: Primarna energija za ogrevanje in hlajenje v EU, 2012
(Vir: Tull, 2018)

Delež obnovljivih virov energije v EU raste in podane so ciljne vrednosti do leta 2020. Večina članic EU dosega ali presega planirane cilje. Na tem področju prednjačijo Baltske in nordijske članice (43 % Estonija in 67 % Švedska). Trenutno je biomasa najbolj razširjen obnovljivi vir za ogrevanje.



Slika 22: Končna poraba energije za ogrevanje in hlajenje I. 2012, EU
(Vir: Primarna energija za ogrevanje in hlajenje v EU, 2012)

4.2 IZZIVI PRI IMPLEMENTACIJI ENERGETSKE STRATEGIJE

Stavbe, v katerih živijo prvi uporabniki ogrevanja in hlajenja, predstavljajo 80 % potreb po ogrevanju in hlajenju. Starejše stavbe zaradi slabe kvalitete gradnje stalno izgubljajo večji delež te energije. Dve tretjini stavb v EU je bilo zgrajenih v času, ko so bile zahteve po energetske učinkovitosti nizke oziroma niso obstajale. Večina teh stavb bo obstajala v letu 2050. Veliki prihranki energije bi bili mogoči že z zelo preprostimi renoviranjem stavb, kot so:

- izolacija podstrešij,
- izolacija sten,
- izolacija temeljev,
- inštalacija dvojnih ali trojnih zasteklitev.

To so nekatere najcenejše možnosti. Najbolje bi bilo, da se izvedejo v postopku večjih gradbenih posegov v renoviranje stavb. Bolj naravne možnosti izboljšav bi bile lahko:

- planiranje vegetacije v ulicah in med stavbami,
- zelene strehe.

Izziv pri optimizaciji energetske učinkovite strategije je tudi tip lastništva stavb in stanovanj. Približno 70 % evropske populacije živi v lastniških stanovanjih ali hišah. Lastniki se pogosto premalo zavedajo koristi prenove, nimajo dovolj informacij o možnih tehničnih posodobitvah ali pa so finančno omejeni. V primerih stavb ali stanovanj, ki se oddajajo, lastniki niso zainteresirani za posodobitve, ker je to zanje strošek in sami ne plačujejo računov za potrošeno energijo.

Stavbe, ki so v državni lasti, kot so bolnišnice, šole, univerze, so zelo energetske potrošne. V teh primerih je najpogostejši izziv pridobiti potrebna sredstva za prenovo.

Stavbe v storitvenem sektorju, kot so banke, pisarne, trgovine, potrošijo v povprečju 40 % več energije na kvadratni meter kot gospodinjstva.

V povprečju Evropejci potrošijo 6 % svojih sredstev za ogrevanje in hlajenje. 11 % Evropejcev si ne more privoščiti zelenega ogrevanje za zimo.

4.3 FINANCIRANJE EVROPSKE ENERGETSKE STRATEGIJE

Kljub prepričljivim ekonomskim utemeljitvam je na voljo le nekaj finančnih produktov za prenovo stavb.

Sklad EU za obdobje 2014–2020 se je znatno povečal. Evropski strukturni in investicijski sklad (ESIF) bo razdelil za okoli 19 milijard € sredstev za energijsko učinkovitost. 6 milijard € bo namenjenih za obnovljive vire energije, predvsem za

daljinsko ogrevanje in hlajenje. Približno 1 milijarda € bo namenjena za optimizacijo distribucijskih mrež ter za financiranje raziskav in inovacij glede na nacionalne in regionalne prioritetne strategije. Raziskava in inovacijski program Horizon 2020 bo razdelil 2,5 milijarde € v energijsko učinkovitost in 1,85 milijard € v obnovljive vire energije. Dodatno bo iz sklada ESIF namenjenih za 315 milijonov € sredstev za investicijske projekte energetske učinkovitosti. Dvigovanje investicij v projekte energetske vzdržnosti je strateška prioriteta sklada ESIF.

Pri teh projektih nikakor ne sme izostati javni finančni sektor in mora imeti glavno vlogo. Trg energetske učinkovitosti mora dozoreti in postati investabilen. Taki projekti morajo voditi v zmanjševanje stroškov za energijo, dodatne proste denarne tokove, boljšo energetske učinkovitost in s tem v višjo vrednost sredstev.

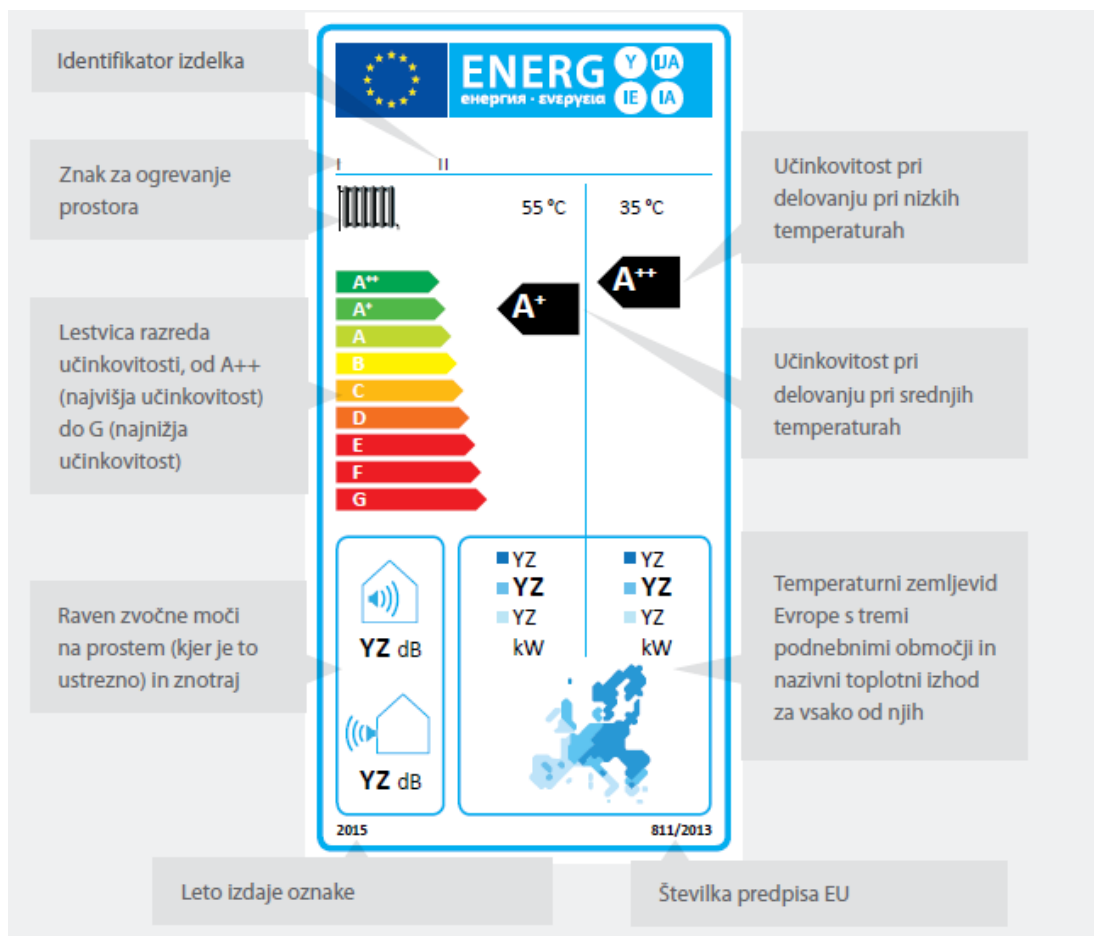
4.4 STANJE OPREME ZA OGREVANJE

Skoraj polovica stavb v državah EU uporablja posamezne kotlovnike, ki so bili vgrajeni pred letom 1992 in so učinkoviti 60-odstotno ali manj. 22 % posameznih kotlovnikov na zemeljski plin, 34 % električnih grelcev, 47 % kotlovnikov na kurilno olje in 58 % kotlovnikov na premog je starejših od tehnološko določene življenjske dobe.

Odločitve o menjavi opreme so tipično sprejete pod pritiski, predvsem ko pride do okvare opreme. Predvsem zaradi finančnih razlogov uporabniki koristijo starejšo opremo, zavedajoč se glede njene slabše učinkovitosti.

V določenih delih Evrope tri četrtine onesnaževanja povzroči ogrevanje gospodinjstev zaradi uporabe trdih goriv.

Evropska komisija stalno opozarja na negativne učinke uporabe dotrajane opreme in neustreznih goriv za ogrevanje na kvaliteto zraka, ki ga vdihujemo. Stalno se promovira uporaba novejših, učinkovitejših sistemov. V letu 2015 se je na evropskem sodišču doseglo, da se morajo izdelki za ogrevanje zraka in vode označevati glede na energijsko učinkovitost. Prepovedala se je prodaja neučinkovitih kotlov. Na podlagi teh ukrepov je ocenjeno, da se bo na leto prihranilo za 600 TWh energije in zmanjšalo emisije CO₂ za 135 milijonov ton do leta 2030.



Slika 23: Tablica energijske učinkovitosti
(Vir: Daikin, 2015)

Industrija EU je v l. 2012 potrošila eno četrtno celotno potrebne energije. 73 % je bilo porabljenega za ogrevanje in hlajenje. Evropska industrija je v primerjavi z ZDA znižala svojo energetske intenziteto dvakrat več od leta 2000. Razlog za to je jasan: energija je pomemben del stroška. Kot zanimivost lahko omenimo, da je kemična industrija v EU prepolovila energetske intenziteto v zadnjih dvajsetih letih. S postavitvijo cene na onesnaževanje s CO₂ se je vzpostavila spodbuda za večjo uporabo goriv z nizko vsebnostjo ogljika in energijsko učinkovitost.

4.6 DALJINSKO OGREVANJE V EVROPSKI SKUPNOSTI

Energetska prihodnost v EU je usmerjena v vključevanje obnovljivih virov, kot sta vetrna in sončna energija. Povpraševanje in ponudba po energiji naj bi postali bolj fleksibilni na podlagi zmanjševanja potreb po energiji, vpeljave mehanizmov za uravnavanje potreb in možnosti shranjevanja energije.

Sistem daljinskega ogrevanja priskrbi v EU 9 % potreb po toploti. V letu 2012 je bilo glavno gorivo, uporabljeno v tem sistemu, zemeljski plin (40 %), sledita premog (29 %) in biomasa (16 %). V daljinsko ogrevanje se lahko vpelje obnovljivo električno energijo skozi uporabo toplotnih črpalk, geotermalno in solarno energijo in energijo odpadne toplote. Prav tako je zelo zanimiva in poceni rešitev hranjenje odvečne toplotne energije v posebnih kotlovnih.

Pametne stavbe, povezane v pametna omrežja, omogočajo nadzor na daljavo oziroma samodejni nadzor potrebe po toploti, hlajenju, osvetljavi glede na uro, datum, vlažnost, zunanjo temperaturo in vremenske pogoje, ki vplivajo na potrebo po energiji. Samodejno upravljanje s potrebo po energiji omogoča končnim porabnikom aktivno odzivanje na potrebo po določeni energiji.

4.6.1 Orodja in rešitve znotraj EU

Za učinkovitejšo in bolj vzdržno ogrevanje in hlajenje bodo potrebne aktivnosti na lokalnem, regionalnem in državnem nivoju posamezne članice EU s podporo evropskih smernic.

V sklopu direktive za energetske učinkovitost (EED) so države članice že razvile nacionalne plane za energetske učinkovitost. V teh planih so zapisane aktivnosti za zmanjševanje potreb po ogrevanju in hlajenju.

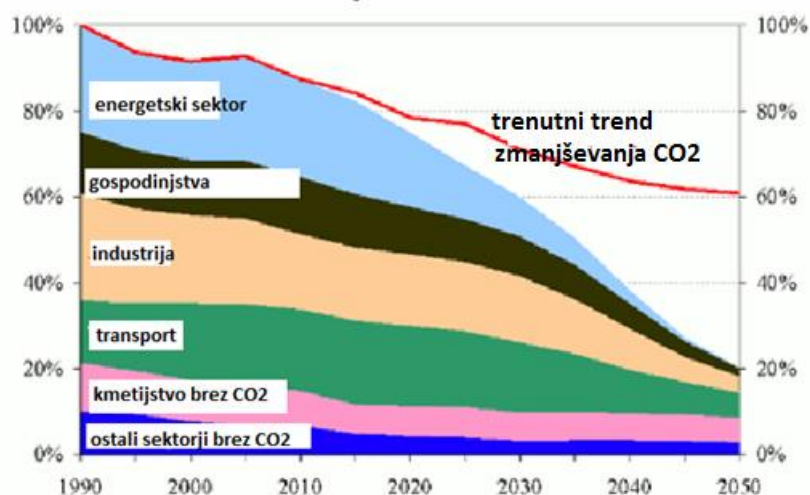
Komisija za energetske učinkovitost je povabila vse članice, naj:

- pregledajo zakone o lastništvu in predlagajo, kako bi se lahko koristi in stroški v energetskih izboljšavah delili med lastniki nepremičnin, stavb ter njihovimi podnajemniki;
- predlagajo, kako bi se lahko delno financiralo energetske izboljšave v gospodinjstvih v najbolj onesnaženih predelih;
- predlagajo načine za dvig zavesti in zavedanja o energetske učinkovitosti in omogočanje svetovanja porabnikom o učinkovitih in vzdržnih načinih ogrevanja, hlajenja in izoliranja;
- stimulirajo začetek priporočilnih pregledov podjetij za energetske učinkovitost;
- podprejo lokalne in regionalne akterje na trgu, ki lahko vplivajo na energetske učinkovitost, s tem da združujejo manjše projekte v večje, bolj celovite investicije.

Direkcija za energetske učinkovitost stavb (EPBD) je v svojem okviru navedla izboljšave za boljšo energetske učinkovitost v stavbah. Smernice nakazujejo postopno zmanjševanje potrebe po energiji in povečanje dobav iz obnovljivih virov. Kakorkoli, stopnja obnavljanja stavb je nizka (0,4 do 1,2 % na leto).

V izdelanih poročilih EPBD, EED in direktive za obnovljive vire bo Komisija preverila možnosti:

- promoviranja obnovljivih virov skozi celovit pristop, s katerim bo pospešila zamenjavo zastarelih kotlovnikov na fosilna goriva z učinkovitejšimi, novejšimi kotlovniki;
- podpore lokalnih avtoritet in priprave strategij za promocijo obnovljivih virov ogrevanja in hlajenja;
- postavitve spletne strani s cenovno primerjalnim kalkulatorjem, ki bo izračunal finančne koristi posodobitve sistema ogrevanja in hlajenja na življenjski rok trajanja opreme in vložene investicije.



Slika 24: Horizon 2015: Evropa brez CO₂
(Vir: Voss, 2015)

4.7 POVZETEK STRATEGIJE EVROPSKE KOMISIJE

Končni potrošnik je v središču strategije. Z uporabo modernih tehnologij ter inovativnih rešitev je mogoč premik k pametnim, učinkovitim in vzdržnim sistemom ogrevanja in hlajenja, ki lahko omogočijo prihranke za podjetja in gospodinjstva, izboljšajo kvaliteto zraka, povečajo dobrobit za posameznika in koristijo celotni družbi.

Strategija je zgrajena in temelji na zakonodaji EU. Identificira področja, kjer so potrebne posodobitve ali reforme, da se dosežejo cilji EU. Evropska komisija bo analizirala različne možnosti za pomoč stavbam in industriji, premik k učinkovitim, dekarboniziranim energetskim sistemom, ki bodo temeljili na uporabi obnovljivih virov energije in uporabljali odpadno toploto. Omenjene analize bodo vključevale daljinsko ogrevanje, hlajenje, elektrifikacijo ogrevanja prek uporabe toplotnih črpalk. Opravila

se bo študija o razširitvi odzivnosti povpraševanja, o zmanjšanju povpraševanja, o uporabi termičnega skladiščenja, ustreznih spodbudah za uporabo pametnih tehnologij in povečanju učinkovitosti javnih sredstev, zagonu zasebnih investitorjev. Evropska komisija poziva Evropski parlament in Evropski svet k potrditvi te strategije. Sistem daljinskega ogrevanja je zaradi svoje učinkovitosti in možnosti med prioritetami nadaljnjega energetskega razvoja v EU.

5 OPTIMIZACIJA SISTEMA DALJINSKEGA OGREVANJA V SRBIJI – BEOGRADSKE ELEKTRANE

V praktičnem delu diplomskega dela bomo analizirali projekt optimizacije sistema daljinskega ogrevanja v Srbiji, ki se je izvajal med leti 2012 in 2015. Predstavljeni podatki so dokaj sveži in pridobljeni iz poročila, objavljenega decembra leta 2015. Omenjeni sistem spada med največje v Evropi.

5.1 POSTAVLJENI CILJI IN ZASNOVA PROJEKTA OPTIMIZACIJE

Projekt se je v procesu optimizacije osredotočil na tri področja:

- proizvodne zmogljivosti,
- toplovodna mreža,
- toplotne podpostaje.

Postavljeni cilji projekta na začetku:

- prenova sistema daljinskega ogrevanja v tehničnem smislu,
- institucionalna in finančna krepitev toplarn,
- zmanjševanje okoljskega onesnaževanja.

Institucionalni kazalniki prenove:

- ocena prihodnjih potreb po toploti,
- hidravlična analiza sistema,
- izdelava investicijskega plana.

Tehnični kazalniki prenove:

- prenova kotlarnic, mreže in podpostaj,
- zmanjševanje toplotnih izgub v sistemu,
- zmanjševanje emisij.

Projekt je zajel 20 mest, ki jih ogreva 18 toplarn. Skupno število vseh priključenih v obravnavani sistem je znašalo 520.000 porabnikov. Od tega je 12,000.000 m² gospodinjstev in 3,480.000 m² poslovnih prostorov. Skupno gledano se v Srbiji 34,000.000 m² gospodinjstev in 8,000.000 m² poslovnih površin ogreva s sistemom daljinskega ogrevanja.

	CELOTNA KAPACITETA V SRBLJI	ZAJETA OPTIMIZIRANA PROJEKTNA KOLIČINA	%PROJEKTNE KOLIČINE GLEDE NA CELOTNO KOLIČINO	CELOTNA INVESTICIJA (EUR)	%OBNOVE GLEDE NA CELOTNO KAPACITETO V SRBLJI BREZ BEOGRADA	%OBNOVE GLEDE NA CELOTNO KAPACITETO V SRBLJI
TOPLOTNI VIRI	2.381 MW	248,5 MW	10,44%	6.395.247	7,10%	3,82%
TOPLOVODNA MREŽA	829 km	44 km	5,31%	16.450.000	3,14%	2,10%
PODPOSTAJE	2.581 MW	216 MW	8,37%	5.227.443	5,61%	3,25%
CHP	0	10 MW	x	6.238.000	x	x

Tabela 1: Obseg projekta v Srbiji
(Vir: interni vir podjetja Konjarnik)

zap.št	CILJI PRVA SKUPINA (OPTIMIZACIJA SISTEMA)	DEFINICIJA
1	Zmanjšanje izgub toplotne energije v toplotodni mreži pod 10% (vsaj v obnovljenih delih)	Skupno dobavljena toplota podpostajam / Skupna dobavljena toplota toplotodni mreži
2	Zmanjšanje specifične porabe toplote, ki se dobavi toplotnim podpostajam	Skupno dobavljena toplota podpostajam / Skupna grelna površina sistema
3	Zmanjšanje specifične porabe goriva po dobavljeni toplotni energiji (skupna učinkovitost sistema)	Poraba goriva / Toplotna energija dobavljena podpostajam
4	Zmanjševanje števila dopolnitev sistema z vodo pod število 10 na letni osnovi (vsaj v obnovljenih delih sistema)	Skupna poraba vode / Skupna količina vode v toplotodu
5	Povišanje učinkovitosti obnovljenih ali zamenjanih kotlov za najmanj 3% glede na skupno minimalno 90% učinkovitost	Število kotlov z učinkovitostjo >90% ali povečanje učinkovitosti za 3%
6	Izboljšanje merjenja toplotne energije v podpostajah na 100% (prenovljeni del)	Skupno merjena toplota s kalorimetri / Skupna dobavljena toplota podpostajam
6a	Vzpostavljanje navade odčitavanja količine odjema energije	Skupno merjena toplota s kalorimetri / Skupna dobavljena energija podpostajam
7	Povečati prihranek potrebnega goriva na MWh po grelni površini	% zmanjšanja glede na skupno porabo goriva v sistemu
8	Povečanje prihranka goriva na MWh	Absolutni prihranki
zap.št	CILJI DRUGA SKUPINA (INSTITUCIONALNO JAČANJE TOPLARN)	DEFINICIJA
9	Zvišanje zaračunavanja glede na porabo z uvedbo 100% porabe v vseh toplarnah	Skupna toplotna energija / Skupna dobavljena toplota energija podpostajam
10	Toplarne objavljajo podatke alokacije stroškov	Število sistemov, ki objavljajo podatke
11	Toplarne objavljajo srednjeročne (5 letne) poslovne plane	Število sistemov, ki objavljajo poslovne plane
zap.št	CILJI TRETJA SKUPINA (ZMANJŠEVANJE EMISIJ)	DEFINICIJA
12	Zmanjšanje skupnih CO ₂ emisij v tonah	t CO ₂
13	Zmanjšanje CO ₂ emisij glede na enoto površine	% delež zmanjšanja emisij v kgCO ₂ /m ²
14	Zmanjšanje CO ₂ emisij glede na enoto izkoriščene primarne energije (energija goriva)	delež zmanjšanja (Skupne CO ₂ emisije / Skupna potrošnja goriva
15	Toplotna energija kurilnega olja, ki je nadomeščena z naravnim plinom	MWh nadomeščenega kurilnega olja (skupno)
zap.št	CILJI ČETRTA SKUPINA (FINANČNO JAČANJE TOPLARN)	DEFINICIJA
16	Stopnja pokritosti operativnih stroškov minimalno 90%	Število toplarn s pokritostjo >90%
17	Dobiček (tarife pokrivajo vse stroške dela toplarne)	Število toplarn z dobičkom (EBIT)

Tabela 2: Postavljeni cilji in zasnova projekta optimizacije v Srbiji
(Vir: interni vir podjetja Konjarnik)

5.2 VGRADNJA KALORIMETROV – MERJENJE TOPLOTE

V projektu se je vgradilo 1.056 kalorimetrov v skupni vrednosti približno 400.000 €. Z uporabo kalorimetrov se je delež izmerjene toplotne energije povečal s 66 na 88 %. Vzpostavila se je kultura in navada odčitavanja kalorimetrov z 82 na 97 %. Uvedba zaračunavanja na podlagi porabe se je povečala z 19 na 38 %. Specifična poraba v podpostajah se je zmanjšala s 137,4 kWh/m² na 115,5 kWh/m².



Slika 25: Kalorimeter

(Vir: Beogradske Elektrane, predstavitev učinkov projekta optimizacije Sistema daljinskega ogrevanja)



Slika 26: Proces merjenja odjema toplote v projektu optimizacije

(Vir: Beogradske Elektrane, predstavitev učinkov projekta optimizacije Sistema daljinskega ogrevanja)

Kapaciteta kompaktnih podpostaj (MW)	216
Obnovitveni del (MW)	100
Celotno število ur (h/leto)	1.000
Predviden minimalni prihranek energije (%)	10
Finančni prihranek za energijo (E/leto)	31.600
Cena končne energije – povprečje (€/MWh)	71
Finančni prihranek za energijo (€/leto)	2,243.600
PPI (leto)	2

Tabela 3: Optimizacija dela na podpostajah

(Vir: Beogradske Elektrane, predstavitev učinkov projekta optimizacije Sistema daljinskega ogrevanja)

5.3 OBNOVA TOPLOVODA

V projekt obnove toplovodne mreže je bilo vključenih 18 mest, kjer se je zamenjalo 44 km vročevodnih cevi. Vrednost investicije je znašala 16,45 M €.

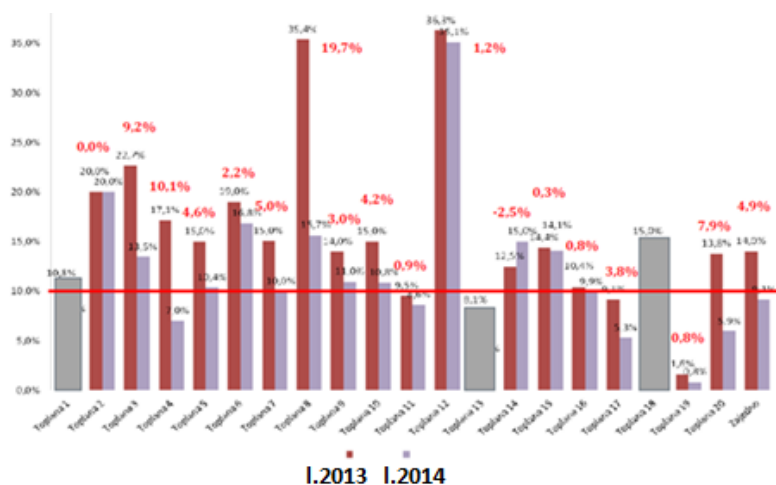


Slika 27: Nove cevi za optimizacijo toplovoda sistema daljinskega ogrevanja
(Vir: Beogradske Elektrane, predstavitev učinkov projekta optimizacije Sistema daljinskega ogrevanja)



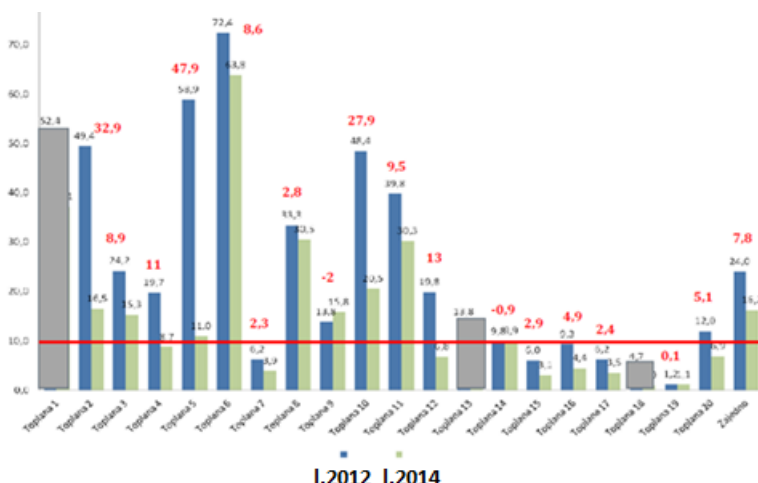
Slika 28: Izkop kanalov za cevi daljinskega ogrevanja

(Vir: Beogradske Elektrane, predstavitev učinkov projekta optimizacije Sistema daljinskega ogrevanja)



Slika 29: Izgube vode na toplovodnem omrežju

(Vir: Beogradske Elektrane, predstavitev učinkov projekta optimizacije Sistema daljinskega ogrevanja)



Slika 30: Število polnitev Sistema daljinskega ogrevanja z vodo

(Vir: Beogradske Elektrane, predstavitev učinkov projekta optimizacije Sistema daljinskega ogrevanja)

Iz podatkov na slikah 18 in 19 je razvidno, da se je količina izgub vode znotraj sistema in število polnitev sistema z vodo po optimizaciji cevi konkretno zmanjšala.

Obdobje	Tsr (C)	Qg (MWh)	deltaQ (MWh)	U1 (eur)	Vg (m3)	delta V (m3)	U2 (eur)	Uuk (eur)	PPI (leto/obdobje)
Q4 2012	6	99.767			249.228				3,87
Q4 2014	6,4	76.899	22.869	1.212.033	230.542	118.686	415.402	1.627.435	
Q1 2013	4,4	146.826			317.809				
Q1 2015	4,3	99.500	47.327	2.508.313	286.317	31.492	110.221	2.618.534	

Tabela 4: Prikaz prihrankov posledica optimizacije toplovoda

(Vir: Beogradske Elektrane, predstavitev učinkov projekta optimizacije Sistema daljinskega ogrevanja)

Opomba: Prikazani prihranki ne zajemajo toplarn, ki niso obnovile toplovoda v okviru obravnavanega projekta.

Q_g – absolutna vrednost izgube toplote energije

ΔQ – absolutna vrednost zmanjšanja izgube toplotne energije

U_1 – finančni prihranek toplotne energije (cena primarne energije naravnega plina 53€/MWh)

U_2 – finančni prihranek za mehkejšo vodo za dopolnitev sistema (cena 3,5 €/m³)

U_{uk} – Skupni finančni prihranki glede na obdobje pred pričetkom obnove toplovoda

V_g – izgube vode v sistemu

ΔV_g – Zmanjšanje izgube vode v sistemu

PPI – Čas povrnitve investicije v toplovod (16,45 M €)

5.4 OBNOVA KOTLOVNIC

V sklopu projekta je bila tudi obnova kotlovnice v posameznih toplarnah. Cilj obnove ali zamenjave kotlov je bil povečati njihovo učinkovitost.



Slika 31: Novi kotel 2 × 3,5MW za Bačko Palanko
(Vir: Beogradske Elektrane, predstavitev učinkov projekta optimizacije Sistema daljinskega ogrevanja)



Slika 32: Obnova kotlov – Niš – 2 × 30 MW

(Vir: Beogradske Elektrane, predstavitev učinkov projekta optimizacije Sistema daljinskega ogrevanja)

Kazalnik	Toplarna 13	Toplarna 1	Toplarna 16	Toplarna 10	Toplarna 8	Toplarna 14	Mali kotli	SKUPAJ
Kapaciteta novega kotla (MW)	58	7	42	3,5	58	60	23,5	248,5
Povprečna učinkovitost starega postroja (%)	88	74	91	85	80	94	80	84,57
Povprečna učinkovitost novega postroja (%)	98	93	92	91	83	97	95	92,68
Celotno število ur (h/leto)	1.413	1.000	1.200	800	800	1.000	1.000	1.000
Prihranek energije (MWh/leto)	8.195	1.330	494	835	1.392	1.800	3.525	17.571
Finančni prihranki (€/leto)	434.356	70.490	26.178	44.266	73.776	95.400	186.825	931.291
PPI (leta)	4,6	4,3	6,3	1,7	5,6	2,4	7,1	6,9

Tabela 5: Učinki optimizacije kotlov v projektu

(Vir: Beogradske Elektrane, predstavitev učinkov projekta optimizacije Sistema daljinskega ogrevanja)

Tabela 5 prikazuje učinke novih ali obnovljenih kotlov. Učinkovitost kotlov se je po optimizaciji na vseh primerih povečala in s tem doprinesla k boljšemu poslovanju posameznih toplarn.

5.5 UČINKI OPTIMIZACIJE

zap.št	KAZALNIKI	REFERENČNO LETO 12/13	2015 Q1
1	Zmanjšanje izgub toplotne energije v toplovodni mreži pod 10% (vsaj v obnovljenih delih)	14,4%	9,1%
2	Zmanjševanje števila dopolnitev sistema z vodo pod število 10 na letni osnovi (vsaj v obnovljenih delih sistema)	22	20
3	Povišanje učinkovitosti obnovljenih ali zamenjanih kotlov za najmanj 3% glede na skupno minimalno 90% učinkovitost	86,37%	89,24%
4	Izboljšanje merjenja toplotne energije v podpostajah na 100% (prenovljeni del)	66%	88%
5	Vzpostavljanje navade odčitavanja količine odjema energije	825%	97%
6	Povečati prihranek potrebnega goriva na MWh po gredni površini		6%
7	Povečanje prihranka goriva na MWh		108.500
8	Zmanjšanje skupnih CO ₂ emisij v tonah		49.712
9	Zmanjšanje CO ₂ emisij glede na enoto površine		6,80%

Tabela 6: Merjenje zastavljenih ciljev

(Vir: Beogradske Elektrane, predstavitev učinkov projekta optimizacije Sistema daljinskega ogrevanja)

	OBNOVLJENO	SKUPNA INVESTICIJA (EUR)	PRIHRANKI (EUR/LETO)	PPI, leta
TOPLOVODNI IZVORI, MW	248,5	6.395.247	1.551.724	4,12
TOPLOVODNA MREŽA, km	44	16.450.000	4.245.969	3,87
PODPOSTAJE, MW	216	5.227.443	2.243.600	2,33
CHP, MW	10	6.238.000	2.546.388	2,45
SKUPAJ		34.310.690	10.587.681	3,24

Tabela 7: Skupen pregled ekonomskih učinkov projekta optimizacije

(Vir: Beogradske Elektrane, predstavitev učinkov projekta optimizacije Sistema daljinskega ogrevanja)

Investicija v posodobitev sistema daljinskega ogrevanja v obravnavanem projektu v Srbiji se je več kot očitno izplačala. V tabeli 7 povzemamo finančne učinke investicije in njeno obdobje povračila. Kljub temu da so potrebni investicijski zneski sorazmerno visoki, je doba povračila investicije dokaj kratka. Poudariti je treba, da cilji takih projektov niso samo ekonomski, temveč tudi okoljevarstveni. S tem projektom se je, kot je prikazano v tabeli 6, zmanjšalo obremenitev okolja s CO₂ za skoraj 7 %.

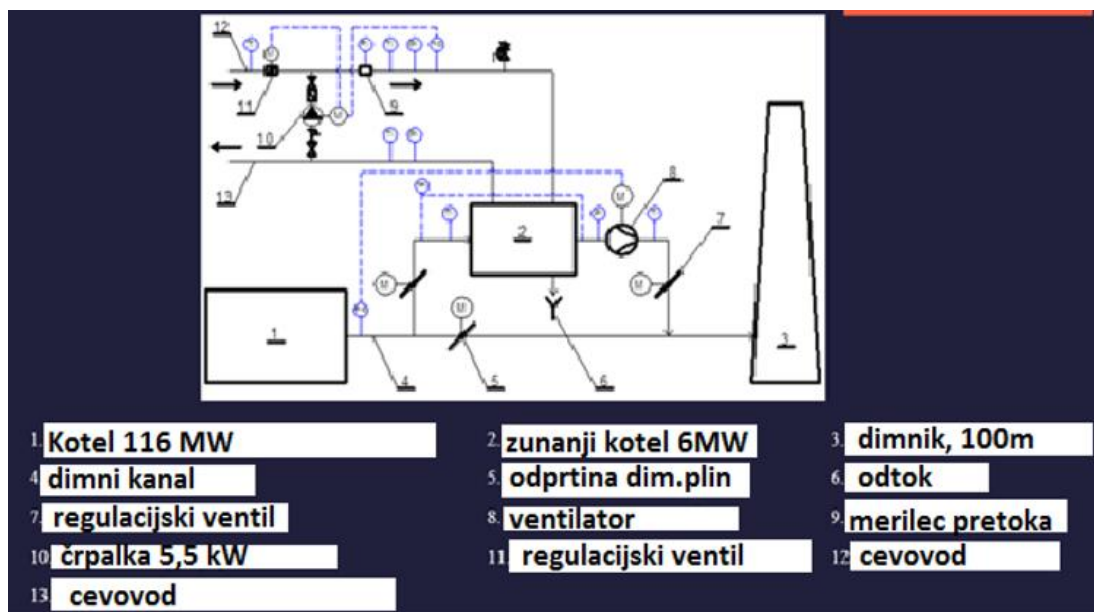
5.6 OPTIMIZACIJA KOTLOVNICE V TOPLARNI KONJARNIK – BEOGRADSKE ELEKTRANE

V tem delu bomo predstavili projekt optimizacije delovanja posamezne toplarne v sklopu sistema daljinskega ogrevanja v Srbiji, imenovanega Beogradske Elektrane. Predstavili bomo uspešno izveden projekt v toplarni Konjarnik.

Toplarna Konjarnik je tretja največja toplarna v imenovanem sistemu daljinskega ogrevanja v Srbiji z ogrevalno kapaciteto 238 MW. V letu 2009 so se odločili za investicijo v kotlovnico. Kotel z ogrevalno močjo 116 MW so opremili z zunanjim kotlom s toplotnim izmenjevalcem moči 6 MW. Namen dodatne zunanje enote je bil izkoriščanje dimnih plinov primarnega kotla za ogrevanje vode v ločeni enoti. Temperatura dimnih plinov na vhodu v zunanji kotel je bila 180–186 °C, na izhodu 68–70 °C. V omenjeni zunanji kotel je prihajala vroča voda iz sistema daljinskega ogrevanja. Najmanjša temperatura vode pri vstopu v zunanji kotel je bila omejena na 65 °C, projektirana temperatura vode iz kotla je bila 100 °C.

5.6.1 Tehnološko-ekonomska analiza investicije zunanjega kotla / toplotnega izmenjevalca

V nadaljevanju bomo predstavili tehnološko-ekonomsko analizo dodatnega zunanjega kotla in njegov vpliv na učinkovitost primarnega kotla. Analiza temelji na meritvah termične zmogljivosti v letih 2013/2014 in 2014/2015. Rezultati so pokazali, da je bilo v opazovanem obdobju generirane za približno 1570 MWh uporabne termične energije. Na ta način se je dvignila tako učinkovitost kotla kot tudi prihranki in zmanjšanje porabe naravnega plina, kar je doprineslo k finančnim rezultatom podjetja. Gre za uspešen primer dobre prakse izboljševanja energijske učinkovitosti pri njeni proizvodnji in zmanjševanja emisij CO₂ v okolje.



Slika 33: Procesni diagram toplarne Konjarnik
(Vir: interni vir podjetja Toplarna Konjarnik)



Slika 34: Dodatni zunanji kotel – Konjarnik – 6MW
(Vir: interni vir podjetja Toplarna Konjarnik)

Toplotna kapaciteta zunanjega kotla (MW)	6
Pretok vode skozi kotel (t/h)	148
Površina izmenjave toplote (m ²)	3505
Število cevi v vrsti	50
Število vrst	30
Celotno število cevi	1476
Dolžina cevi (mm)	3800
Koeficient prenosa toplote (W/m ² K)	63,6
Najvišji dovoljen operativni tlak (bar)	25
Testni / operativni tlak (bar)	30 / 16

Tabela 8: Tehnične karakteristike zunanjega kotla Konjarnik
(Vir: Interni vir podjetja Toplarna Konjarnik)

Povprečni letni prihranki pri porabi naravnega plina (B) z uporabo dodatnega zunanjega kotla se lahko izračunajo po spodnji enačbi.

$$B = \frac{Q_{\text{zunanji kotel}}}{H_d \cdot \eta_k} = \frac{7586,5 \cdot 10^6}{34000 \cdot 10^3 \cdot 0,9} \cdot 3600 = 892529 \text{ m}^3$$

Enačba 7: Izračun prihrankov porabe naravnega plina
(Vir: interni vir podjetja Toplarna Konjarnik)

$Q_{\text{zunanji kotel}}$ – 7.586,5 MWh – povprečna letna proizvedena količina toplotne energije v zunanjem kotlu

H_d – 34.000 KJ/m³ – povprečna vrednost zmanjšanja ogrevanja z naravnim plinom

η_k – 0,9 – povprečna učinkovitost kotla

Izračunani prihranki porabe naravnega plina so bili približno 5 % celotne letne porabe naravnega plina kotla, s čimer se lahko zaključi, da je učinkovitost kotla zrasla za enak odstotek. Pri ceni naravnega plina 40 RSD/m³ so bili letni prihranki izračunani po spodnji enačbi.

$$D = C \cdot B = 40 \cdot 892529 = 35.701.160 \text{ RSD}, \quad D = 297.510 \text{ €}$$

Enačba 8: Finančni prihranek zaradi manjše porabe naravnega plina

Investicija v zunanji kotlovnik je znašala 566.500,00 €. Letni stroški vzdrževanja znašajo približno 5.000,00 €. Letno se porabi za približno 11.500,00 € energije za delovanje zunanjega kotlovnika. Glede na te podatke se je investicija v zunanji kotel povrnila v obdobju dveh let. Življenjska doba zunanjega kotla znaša 15 let.

V opazovanem obdobju je zunanji kotlovnik porabil za 15.173 MWh odpadne toplote dimnih plinov, kar je ekvivalentno prihranku porabe naravnega plina v višini 892.529 m³/letno. S tem se je znatno znižalo tudi onesnaževanje okolja s CO₂.

6 ZAKLJUČEK

Pričakovano je, da bo svetovna populacija do leta 2030 narasla za dodatni 1,2 milijardi ljudi in 70 % ljudi naj bi živel v mestih. Globalni mega trendi, ki naj bi najbolj zaznamovali in spremenili naš svet, naj bi bili: digitalizacija, elektrifikacija, urbanizacija, preskrba s hrano in klimatske spremembe. Strokovnjaki po svetu se stalno ukvarjajo z različnimi analizami podatkov o tem, koliko energije bi dejansko potrebovali za nespremenjeno ugodje ljudi po svetu. Najbolj optimistične napovedi pravijo, da bi danes za to potrebovali polovico celotne današnje energije. Vsepovsod po svetu predvsem zaradi vedno bolj opaznih klimatskih sprememb analizirajo trende razvoja, ljudje svojih navad ne bomo spremenili in pri tem začeli razmišljati o vplivu svojega načina življenja na naš planet. Po nekaterih ugotovitvah naj bi bili danes v deficitu 1,7 proti našemu planetu, kar pomeni, da trošimo skoraj dvakrat več, kot je za planet vzdržno in obnovljivo. V Sloveniji naj bi ta številka znašala 3. Sistem daljinskega ogrevanja ponuja mnogo možnosti za izboljšave in glede na svetovne trende postaja vedno pomembnejši. Nekatero možne optimizacije so bile predstavljene na kratko v tem diplomskem delu. Velik potencial daljinskega ogrevanja je v tem, da se ga da povezati na več različnih virov primarne energije, tudi na obnovljive vire, in s tem znatno zmanjšati vpliv na okolje. Predstavljeni so nekateri primeri mest, ki gredo po tej poti in želijo postati popolnoma neodvisna od drugih predvsem v smislu fosilnih goriv. Velik potencial predstavlja kombiniran sistem soproizvodnje toplote in električne energije, ki ima mnogo večjo učinkovitost in izkoristek vhodne energije ter mnogo manj izgub kot konvencionalni sistemi. V nalogi smo predstavili tudi preprostejše rešitve in optimizacije sistema daljinskega ogrevanja, kot so merjenje, regulacija, obnova kotlovnice, obnova cevovodov, vgradnja toplotnih podpostaj ipd. Na drugi strani se je treba zavedati omejitev sistema in rizikov. Nekateri izmed teh rizikov so ekonomski, negotove poteze regulatornih organov, obstoječe stanje tehnologije ipd. Posegi v izboljšave v sistemu daljinskega ogrevanja so ekonomsko zelo obremenilni in zahtevajo visoke vložke. Če bo sistem daljinskega ogrevanja želel igrati pomembno vlogo pri doseganju ciljev klimatskih zahtev, bo potrebno sodelovanje med zasebnim in javnim sektorjem v sodelovanju z lokalno upravo. Za boljšo učinkovitost daljinskega ogrevanja je na drugi strani treba opraviti konkretne korake tudi pri porabnikih. Boljše izoliranje stavb, jasne zahteve pri gradnji novih stanovanj, pametna distribucija ter upravljanje z dejansko potrebno količino energije, obnova obstoječe strojne opreme za distribucijo toplote so nekatera področja, ki bi znatno pripomogla k boljši učinkovitosti celotnega sistema daljinskega ogrevanja.

Omejitve na strani potrošnika so podobne kot na strani toplarn. Skozi projekte EU se ustvarjajo skladi, ki bodo predvsem finančno ublažili potrebne visoke vložke v izboljšave daljinskega ogrevanja in s tem omogočili hitrejše korake k željenim vrednostim manjšanja okoljskega onesnaževanja. To so optimistični, vendar dosegljivi cilji.

VIRI IN LITERATURA

Cuadrado, R. (2009). *Return temperature Influence of a district heating network on the CHP plant production costs*. Magistrsko delo, Gavle: Univerza Gavle, Fakulteta za tehnologijo in okolje.

Daikin (2015). *Energijske oznake*. Pridobljeno 11. 4. 2018 z naslova https://www.daikin.eu/content/dam/document-library/catalogues/heat/air-to-water-heat-pump-low-temperature/egsqh-a9w/Energy%20labelling_ECPSL_15-720_Product%20Catalogues_Slovenian.pdf.

Danfoss AG (2018a). *Basics about district energy*. Pridobljeno 1. 3. 2018 z naslova <https://danfoss.csod.com/phnx/driver.aspx?routename=Social/UniversalProfile/Actions&TargetUser=24748>.

Danfoss AG (2018b). *Communication from from the commission to the European Parliament, an EU strategy on Heating an Cooling*. Pridobljeno 1. 2. 2018 z naslova <https://danfoss.csod.com/GlobalSearch/search.aspx?s=&q=european%20commission>.

Danfoss AG (2018c). *District Energy products*. Pridobljeno 20.1.2018 z naslova <https://danfoss.csod.com/LMS/LoDetails/DetailsLo.aspx?loid=fded7e50-ce49-4f12-b446-6ee2f4c65361&query=%3fq%3dDistrict+Energy+products#t=1>.

Danfoss AG (2018d). *Operating guide DSE FLEX*. Pridobljeno 5. 3. 2018 z naslova <https://assets.danfoss.com/documents/DOC260233914589/DOC260233914589.pdf>.

Demain. The film. Travel the world of solutions. (2015). Režija: Cyril Dion.

Energetika Ljubljana (2015). *Račun za dobavo toplote*. Pridobljeno 4. 4. 2018 z naslova http://www.energetika-lj.si/sites/default/files/upload/energetika/razlaga_postavk_racuna_za_toploto.pdf.

Frederiksen, S., Werner, S. (2013). *District Heating and Cooling*. Lund: Studentlitteratur AB.

JIEMA (b. l.). *Inox odstranljiva plošča toplotni izmenjevalec*. Pridobljeno 4. 3. 2018 z naslova <http://si.jmhcx.com/heat-exchanger/plate-heat-exchanger/stainless-steel-removable-plate-heat.html>.

Jiema. *Plošča toplotni izmenjevalec*. Pridobljeno 4. 4. 2018 z naslova <http://si.jmhcx.com/heat-exchanger/plate-heat-exchanger/>.

Kunšek, I. (b. l.). *AVQM regulacijski ventil – predstavitev*. Ljubljana: Danfoss.

Slovensko združenje za energetiko. *Prispevki s konferenc SDDE*. Pridobljeno 15. 4. 2018 z naslova <https://www.sze.si/>.

Strgar Inženiring d.o.o. (b. l.). *Toplotni izmenjevalci*. Pridobljeno 4. 4. 2018 z naslova <http://www.strgar-inzeniring.si/izmenjevalci-toplote-bojlerji.html>.

Toplarna Konjarnik (b. l.). *Predstavitev*. Interni vir podjetja Konjarnik.

Tull, S. (2018). Osebni intervju o evropski zakonodaji

Voss, P. (2015). HORIZON 2015: CO₂ Free Europe. Konferenca SDDE.

Wikipedija (2017). *Daljinsko ogrevanje*. Pridobljeno 18. 5. 2018 z naslova https://sl.wikipedia.org/wiki/Daljinsko_ogrevanje#Daljinsko_ogrevanje_v_svetu.

WWF (2018). *EU mora doseči ničelne izpuste emisij do leta 2040*. Pridobljeno 4. 8. 2018 z naslova <https://www.energetika.net/novice/energetska-politika/wwf-eu-mora-doseci-nicelne-izpuste-emisij-do-leta-2040>.

You Tube. *Benefits of differential pressure and flow controllers in DH or cooling systems (variable flow)*. Pridobljeno 3. 4. 2018 z naslova <https://danfoss.csod.com/LMS/Video/LaunchVideo.aspx?loid=b7e9fa10-97de-4f34-8522-027632b2291c>.