

Dekarbonizacija centralnih toplinskih sustava

Nađ, Dorotea

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:222864>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij naftnog rudarstva

DEKARBONIZACIJA CENTRALNIH TOPLINSKIH SUSTAVA

Diplomski rad

Dorotea Nađ

N357

Zagreb, 2022.

DEKARBONIZACIJA CENTRALNIH TOPLINSKIH SUSTAVA
DOROTEA NAĐ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Sektor grijanja i hlađenja zaslužan je za oko 40% emisija stakleničkih plinova i predstavlja jedan od najvećih izazova energetske tranzicije prema obnovljivim izvorima energije. Još veći izazov predstavljaju centralizirani toplinski sustavi, budući da su potrebni veliki kapaciteti proizvodnje energije, ali i visoke temperature zbog trenutnih zahtjeva potrošača i distribucijske mreže. Upravo je to razlog malog postotka obnovljivih izvora energije implementiranih u CTS. Budućnost CTS-a predstavljaju nisko-temperaturni sustavi, odnosno sustavi pete generacije. Za njihovo uspješno implementiranje potrebno je stvoriti adekvatnu distribucijsku mrežu, ali i smanjiti temperaturne zahtjeve potrošača kroz renovaciju zgrada i sustava grijanja. U ovom radu prikazana je trenutna situacija CTS-a u Europi i Hrvatskoj, problemi i prednosti implementacije OIE te primjeri dobre prakse dekarbonizacije centralnih toplinskih sustava.

Ključne riječi: centralni toplinski sustavi, centralni rashladni sustavi, dekarbonizacija, obnovljivi izvori energije

Diplomski rad sadrži: 59 stranica, 30 slika, 11 tablica, 58 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Dr. sc. Tomislav Kurevija, redoviti profesor RGNf-a

Suvoditeljica: Dr. sc. Marija Macenić, poslijedoktorand

Ocjenjivači: Dr. sc. Tomislav Kurevija, redoviti profesor RGNf-a

Dr. sc. Darija Karasalihović Sedlar, redovita profesorica RGNf-a

Dr. sc. Luka Perković, izvanredni profesor RGNf-a

Datum obrane: 11.veljače 2022., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

DECARBONIZATION OF DISTRICT HEATING SYSTEMS
DOROTEA NAĐ

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum engineering
Department of Petroleum and Gas Engineering and Energy
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

The heating and cooling sector is responsible for about 40% of greenhouse gas emissions and it represents one of the biggest challenges in the energy transition to renewable energy sources. Even more challenging are district heating systems (DHS), as large energy production capacities are needed, but also high temperatures due to current consumer and distribution network requirements. This is the cause for small percentage of renewable energy sources (RES) implemented in the DHS. The future of DHS is represented by low-temperature systems i.e., fifth-generation systems. For their successful implementation, it is necessary to create an adequate distribution network, but also to reduce the temperature requirements of consumers through the renovation of buildings and heating systems in the buildings. This paper presents the current situation of DHS in Europe and Croatia, problems and advantages of RES implementation, and examples of good practice in the decarbonization of central heating systems.

Keywords: district heating systems, district cooling systems, decarbonization, renewable energy sources

Thesis contains: 59 pages, 30 figures, 11 tables, 58 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Full Professor Tomislav Kurevija, PhD
Co-Supervisor: Assistant Marija Macenić, PhD
Reviewers: Associate Professor Tomislav Kurevija, PhD
Full Professor Darija Karasalihović Sedlar, PhD
Associate Professor Luka Perković, PhD

Date of defense: February 11, 2022, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
University of Zagreb

SADRŽAJ

I	POPIS SLIKA.....	I
II	POPIS TABLICA.....	III
III	POPIS KRATICA	IV
1.	UVOD	1
2.	CENTRALNI TOPLINSKI SUSTAVI	2
3.	CENTRALNI RASHLADNI SUSTAVI	4
4.	REGULATORNI OKVIR EUROPSKE UNIJE ZA CTS.....	5
4.1.	Direktiva o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora energije (2018/2001/EU)	5
4.2.	Direktiva o energetskej učinkovitosti (2012/27/EU) i Direktiva o izmjeni Direktive o energetskej učinkovitosti (2018/2002/EU).....	6
4.3.	Direktiva o energetskej učinkovitosti zgrada (2010/31/EU) i o izmjeni Direktive o energetskej učinkovitosti zgrada i Direktive o energetskej učinkovitosti (2018/844/EU)	6
4.4.	Uredba o upravljanju energetskeg unijom i djelovanjem u području klime (2018/1999/EU)	7
4.5.	Primjeri CTS projekata financirani iz EU fondova.....	7
4.5.1.	<i>KeepWarm</i>	7
4.5.2.	<i>RELaTED</i>	8
4.5.3.	<i>Upgrade DH</i>	9
5.	PODJELA CENTRALNIH TOPLINSKIH SUSTAVA	10
5.1.	Podjela po veličini	10
5.2.	Podjela prema tehničkim karakteristikama.....	10
5.3.	Podjela prema korištenoj tehnologiji i generaciji sustava.....	12
6.	NISKO-TEMPERATURNI CENTRALNI TOPLINSKI SUSTAVI I OIE	15
6.1.	Geotermalna energija.....	17
6.2.	Solarna energija	20
6.3.	Industrijska otpadna toplina.....	20
6.4.	Nisko-temperaturna otpadna toplina.....	22
6.5.	Biomasa	23
6.6.	Power-to-heat (P2H)	24
6.7.	Izazovi korištenja nisko-temperaturnih izvora energije u CTS-u.....	25
6.8.	Financijski smisao implementiranja OIE u CTS	27
7.	INTEGRACIJA POHRANE TOPLINSKE ENERGIJE U CTS	29
8.	FOSILNA GORIVA U CTS-U.....	31
8.1.	Ugljen.....	31

8.2.	Loživo ulje	32
8.3.	Prirodni plin	33
8.4.	Cijene emisija CO ₂	33
9.	CTS U HRVATSKOJ	36
9.1.	Projekti obnove i modernizacije CTS-a.....	43
9.1.1.	<i>CTS Velika Gorica</i>	43
9.1.2.	<i>CTS Samobor</i>	44
9.1.3.	<i>CTS Zaprešić</i>	45
9.1.4.	<i>CTS Zagreb</i>	46
9.1.5.	<i>CTS Osijek</i>	48
9.1.6.	<i>CTS Sisak</i>	49
10.	PRIMJERI DOBRE PRAKSE.....	50
10.1.	Haÿ-Les-Roses, Chevilly-Larue i Villejuif, Francuska.....	50
10.2.	Heerlen, Nizozemska	51
10.3.	Kopenhagen, Danska.....	51
10.4.	Salaspils, Latvija	53
10.5.	Pokupsko, Hrvatska.....	53
11.	ZAKLJUČAK.....	54
12.	POPIS LITERATURE.....	55

I POPIS SLIKA

Slika 2-1. Krajnji potrošači toplinske energije iz CTS-a u Europi	2
Slika 2-2. Prikaz udjela fosilnih goriva i OIE u Kini, Rusiji, EU27 i ostatku svijeta.....	3
Slika 5-1. Decentralizirani toplinski sustav sa raznim izvorima topline, Gram, Danska....	11
Slika 5-2. Prikaz svih generacija CTS-a	14
Slika 6-1. Put prema idealnom CTS-u	15
Slika 6-2. Prednosti nisko-temperaturnih CTS-ova	16
Slika 6-3. Karta geotermalnih CTS-ova u Europi.....	18
Slika 6-4. Broj operativnih geotermalnih CTS-ova i onih u razvoju	18
Slika 6-5. Geotermalni CTS-ovi od 2010. do 2020. godine	19
Slika 6-6. Mapiranje različitih izvora otpadne topline iz industrije u EU28 u sklopu STRATEGO projekta	22
Slika 6-7. Utjecaj temperature na razmnožavanje bakterije Legionelle pneumophile.....	27
Slika 7-1. Različite vrste podzemnih skladišta topline	29
Slika 8-1. Cijena futures ugovora ugljena unazad pet godina na dan 10.12.2021.	32
Slika 8-2. Cijena futures ugovora loživog ulja unazad pet godina u usporedbi sa cijenom nafte Brent na dan 10.12.2021.....	32
Slika 8-3. Cijena futures ugovora prirodnog plina na TTF-u unazad pet godina na dan 10.12.2021.	33
Slika 8-4. Cijena emisijskih dozvola u EU	34
Slika 9-1. Proizvodnja toplinske energije u Hrvatskoj	36
Slika 9-2. Struktura potrošnje toplinske energije u Hrvatskoj	36
Slika 9-3. Udjeli isporučene toplinske energije pojedinih tvrtki u 2018. godini	37
Slika 9-4. Centralni toplinski sustavi u Republici Hrvatskoj.....	38
Slika 9-5. Broj potrošača toplinske energije prema kategoriji potrošača.....	39
Slika 9-6. Udio goriva za proizvodnju toplinske energije u toplinskim sustavima u 2018. godini	39
Slika 9-7. Cijene toplinske energije za kućanstvo u različitim CTS-ovima	40
Slika 9-8. Cijene toplinske energije za industriju i poslovne potrošače u različitim CTS-ovima	40
Slika 9-9. Cijena tehnološke pare u Zagrebu, Osijeku i Sisku.....	41
Slika 9-10. Potencijal OIE i otpadne topline za grijanje u Hrvatskoj u odnosu na opskrbu CTS-a.....	41

Slika 10-1. Pojednostavljeni prikaz CTS u Francuskim pokrajinama Haÿ-Les-Roses, Chevilly-Larue i Villejuif	50
Slika 10-2. CTS Heerlen	51
Slika 10-3. Karta CTS-a u Kopenhagenu.....	52
Slika 10-4. CTS Salaspils.....	53

II POPIS TABLICA

Tablica 4-1. Radovi obavljani u sklopu KeepWarm projekta	8
Tablica 6-1. Glavni izazovi i moguća rješenja pri implementaciji nisko-temperaturnih izvora topline	26
Tablica 6-2. Karakteristike mogućih izvora energije u CTS-u.....	28
Tablica 8-1. Naknada za emisije za postrojenja na fosilna goriva	35
Tablica 9-1. Osnovni podaci o važnijim energetske subjektima u sektoru toplinarstva Republike Hrvatske	38
Tablica 9-2. SWOT analiza CTS-a u Hrvatskoj	42
Tablica 9-3. Potencijali za primjenu visokoučinkovite kogeneracije i učinkovitog centraliziranog grijanja i hlađenja	43
Tablica 9-4. Scenariji izgradnje solarnih kolektora za CTS Velika Gorica	44
Tablica 9-5. Scenariji izgradnje solarnih kolektora za CTS Samobor.....	44
Tablica 9-6. Scenariji izgradnje solarnih kolektora za CTS Zaprešić	45
Tablica 9-7. Informacije o CTS-ovima Velika Gorica, Samobor, Zaprešić i Zagreb	46

III POPIS KORIŠTENIH KRATICA

CRS – centralni rashladni sustavi

CTS – centralni toplinski sustavi

DH – engl. *district heating*

ETS - engl. *Emissions Trading System*

EU – Europska Unija

EUA - engl. *European Union Allowance*

GWP – engl. *global warming potential*

OIE – obnovljivi izvori energije

TES – engl. *thermal energy storage*

1. UVOD

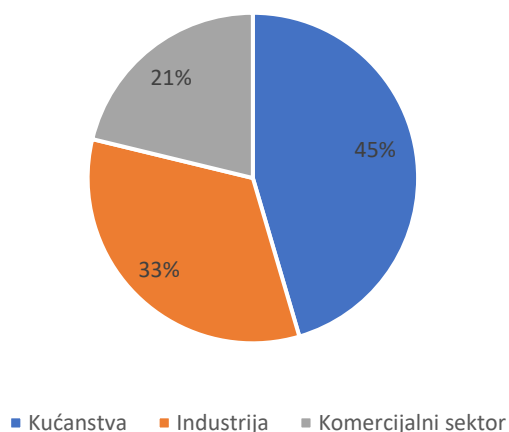
U svijetu 50% proizvedene energije troši se na grijanje i hlađenje. Polovina toga koristi se u industriji, 46% u kućanstvima, dok se ostatak najviše koristi u poljoprivredi, uglavnom za grijanje staklenika (IEA, 2019a). Upravo je proizvodnja toplinske energije zaslužna za oko 40% emisija ugljičnog dioksida te u ovom sektoru postoji velika mogućnost za napredak i smanjenje emisija. Premda sektor grijanja i hlađenja prelazi na čistu energiju s niskim razinama emisija ugljika, 75% goriva koje upotrebljava i dalje dolazi iz fosilnih goriva, od čega gotovo polovina iz plina (Europska komisija, 2016). U zadnjim godinama proizvodnja toplinske energije iz obnovljivih izvora energije (OIE) je u porastu, ali nedovoljno kako bi se zadovoljili energetske i klimatske ciljevi do 2030. i 2050. godine. Upravo zato jedan od prioriteta EU je stvoriti mogućnosti za učinkovito i održivo grijanje i hlađenje.

Najveći problem dekarbonizacije sustava grijanja i hlađenja javlja se kod centralnih toplinskih sustava (CTS). Iako je to najbolji i najefikasniji način grijanja i hlađenja u urbanim sredinama, zbog velike i stalne potražnje za energijom predstavljaju najveći izazov implementiranju obnovljivih izvora energije. Većina toplinske energije u CTS-u proizvodi se iz fosilnih izvora, najviše iz plina i ugljena, a često su vezani za kogeneracijska postrojenja u kojima se generira električna energija dok se otpadna toplinska energija u procesu koristi za grijanje. Osim plina i ugljena, u centralnim toplinskim sustavima koriste se i obnovljivi izvori energije, ali u puno manjem udjelu. Najviše se koriste biogoriva i biootpad, a druge tehnologije koje se koriste u veoma malom udjelu, a koje su perspektivne za implementaciju u centralne toplinske sustave su: geotermalna energija, solarno-toplinska energija, uporaba dizalica toplina te iskorištavanje otpadne topline i energije iz komunalnog otpada. Ovakvi sustavi bi osim proizvodnje energije trebali omogućavati skladištenje energije koje je od iznimne važnosti ukoliko se za proizvodnju energije koriste obnovljivi izvori. Time bi se osigurala veća fleksibilnost i smanjenje cijena.

2. CENTRALNI TOPLINSKI SUSTAVI

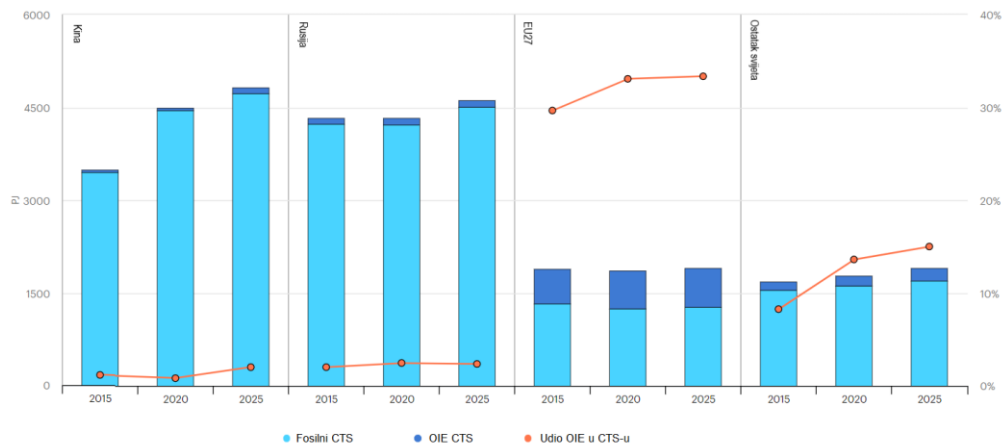
Prema zakonu o tržištu energije (NN 80/13), CTS su toplinski sustavi koje se sastoje od proizvodnog postrojenja toplinske energije i distribucijske mreže. Na proizvodnom postrojenju generira se toplinska ili rashladna energija te se kroz cjevovode distribuira do krajnjih potrošača gdje se koristi za grijanje prostora i pripremu potrošne tople vode. Ovakvi sustavi su najefikasniji u gusto naseljenim područjima te omogućuju uštedu energenata u usporedbi sa decentraliziranim sustavima. Upravo zbog toga imaju važnu ulogu u energetskej tranziciji.

U 2018. godini manje od 6% toplinske energije u svijetu generirano je u CTS-u, od čega je više od trećine proizvedeno u Kini i Rusiji. U Europskoj uniji 12% od ukupne potražnje za toplinskom energijom u 2018. godini proizvedeno je iz CTS-a. (IEA, 2019b). Toplinsku energiju iz CTS-a najviše koriste kućanstva, a manje se koristi u industriji i komercijalnom sektoru (slika 2-1.).



Slika 2-1. Krajnji potrošači toplinske energije iz CTS-a u Europi (prema REN21, 2021)

Većinski udio u proizvodnji energije u CTS-u dolazi iz fosilnih goriva, dok je udio obnovljivih izvora koji se koriste u CTS-u u svijetu 5,6%. Najveći udio OIE u CTS-u ima Europa. U 2015. udio OIE u centralnim toplinskim sustavima u EU27 iznosio je 30%, a najveći udio u tome imaju Finska, Danska, Švedska i Baltičke zemlje. Do 2025. predviđa se porast od 3% (slika 2-2.).



Slika 2-2. Prikaz udjela fosilnih goriva i OIE u Kini, Rusiji, EU27 i ostatku svijeta (IEA, 2020)

Prema scenariju energetske transformacije koji je izradila IRENA, predviđa se da će u 2050. godini udio toplinske energije proizvedene u CTS-u iznositi 5% od ukupne potrošnje energije i 50% ukupne potražnje za toplinskom energijom, te da će udio OIE u CTS-u biti 77%.

Od svih tehnologija proizvodnje toplinske energije u CTS-u, danas su najčešća kogeneracijska postrojenja. Toplina koja nastaje u ovim postrojenjima je nusprodukt proizvodnje električne energije i upravo zbog toga su ovakvi sustavi učinkovitiji od kotlovnica. Danas se kao primarni izvor energije koristi prirodni plin, a sve češće obnovljivi izvori energije (biomasa, sunčeva i geotermalna energija) i kruti otpad. Kotlovnice su i danas poprilično zastupljene u područjima gdje nisu izgrađeni kogeneracijski sustavi, ali se koriste i kao rezervni sustavi te za pokrivanje vršne potrošnje toplinske energije. Najčešće koriste fosilna goriva, ali i biomasu te kruti otpad. Obzirom na energetske tranziciju, obnovljivi izvori energije postaju sve više popularni za korištenje u CTS-u od čega su najčešća postrojenja koja koriste biomasu i otpad, a osim toga postoje centralni toplinski sustavi koji koriste sunčevu i geotermalnu energiju, dizalice topline, a sve češće i otpadnu toplinu iz industrijskih postrojenja.

3. CENTRALNI RASHLADNI SUSTAVI

Potreba za rashladnom energijom u konstantnom je porastu te se od 1990. do 2020. potražnja utrostručila. U ukupnom sastavu hlađenje čini manje od 2% potreba za energijom, a dominira u uslužnom i industrijskom sektoru za razliku od grijanja koji dominira u stambenom sektoru. No, potražnja raste i u stambenom sektoru zbog današnjeg načina života i viših temperatura uzrokovanim klimatskim promjenama. Hlađenje je najbrža rastuća potrošnja energije u zgradama te je hlađenje prostora činilo 8,5% ukupne finalne potražnje za električnom energijom u 2019. godini (IEA, 2020).

Distribucijska mreža CRS-a slična je distribucijskoj mreži CTS-a. Sastoji se od jednog polaznog i jednog povratnog cjevovoda, samo se u ovom slučaju cirkulira hladna umjesto topla/vruća voda. Dovodna temperatura je oko 6°C iako se nekada koristi i smjesa sa ledom za dobivanje još nižih temperatura. Nakon izmjene topline kod krajnjih potrošača, voda se vraća pri temperaturi 12-17°C (Werner, 2004). Generiranje rashladne energija odvija se putem kompresijskih ili apsorpcijskih rashladnih uređaja. Također se za hlađenje može koristiti i duboka hladna jezerska ili morska voda. Obično su CRS-ovi skupi i izgrađeni u pojedinim dijelovima naselja s visokom potrošnjom rashladne energije. No, spajanje CRS-a i CTS-a u jedan centralni sustav može umanjiti velike troškove zasebnog CRS-a. Korištenjem dizalica topline u centralnim sustavima može se proizvesti i rashladna i toplinska energija što će u konačnici dati veći povrat ulaganja u takve sustave. Također se proizvodnja rashladne energije može integrirati u kogeneracijski sustav, čime u konačnici dobijemo trigeneracijski sustav koji proizvodu električnu, toplinsku i rashladnu energiju na jednom postrojenju. Glavna prednost korištenja rashladnih sustava su smanjena potražnja za električnom energijom u ljetnim mjesecima, dok krajnji potrošači ne moraju osiguravati dodatni prostor za rashladne uređaje, imaju manje troškove rada i održavanja te manje troškove električne energije.

4. REGULATORNI OKVIR EUROPSKE UNIJE ZA CTS

Europska energetska politika danas počiva na pet stupova, a to su: solidarnost i sigurna opskrba, integrirano tržište energije, energetska učinkovitost, istraživanje i inovacije te dekarbonizacija. Trenutni ciljevi EU za 2030. godinu su smanjenje emisija stakleničkih plinova za 40% u odnosu na 1990., udio OIE od 32% te povećanje energetske učinkovitosti za 32.5%. Sektor toplinarstva, a samim time i CTS, imaju veliku ulogu u ostvarenju ovih ciljeva. Europske direktive i legislative koje se odnose na CTS navedene su u nastavku.

4.1. Direktiva o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora energije (2018/2001/EU)

Prema članku 23. direktive o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora energije, cilj svake države članice je povisiti udio OIE u sektoru grijanja i hlađenja za 1,3 postotna boda kao godišnji prosjek izračunat za razdoblja od 2021. do 2025. i od 2026. do 2030., polazeći od udjela obnovljive energije u sektoru grijanja i hlađenja u 2020. godini, tj. 1,1 postotni bod ako se u državama članicama ne upotrebljava otpadna toplina i hladnoća.

Članak 24. iste direktive odnosi se na centralizirano grijanje i hlađenje te je definiran cilj za povećanje OIE u CTS-u za najmanje 1 postotni bod kao godišnji prosjek izračunat za razdoblje od 2021. do 2025. i za razdoblje od 2026. do 2030., polazeći od udjela energije iz obnovljivih izvora energije i iz otpadne topline i hladnoće u centraliziranom grijanju i hlađenju u 2020. godini. Iznimka su države u kojima udio OIE i otpadne topline u centralnim toplinskim i rashladnim sustavima prelazi 60% jer se za njih računa da ispunjavaju navedene kriterije. Također, operatori centralnih i rashladnih sustava dužni su priključiti opskrbljivače energijom iz OIE i otpadne topline i hladnoće ili ponuditi priključivanje opskrbljivačima treće strane ukoliko oni zadovoljavaju određene kriterije. Ukoliko se krajnji potrošači CTS-a žele isključiti iz sustava, mogu to napraviti ukoliko će toplinsku i rashladnu energiju proizvoditi samostalno iz OIE ili ako njihovo alternativno rješenje ima puno veću energetska učinkovitost. Ukoliko države članice imaju udio centraliziranog grijanja i hlađenja manji ili jednak 2% ne zahtjeva se primjenjivanje ovih stavki. Potrebne mjere za provedbu ovih planova utvrđuje svaka država za sebe u svojim integriranim nacionalnim energetskim i klimatskim planovima.

4.2. Direktiva o energetskej učinkovitosti (2012/27/EU) i Direktiva o izmjeni Direktive o energetskej učinkovitosti (2018/2002/EU)

Direktiva o energetskej učinkovitosti iz 2012. godine daje smjernice za provedbu potencijala za primjenu visokoučinkovite kogeneracije i učinkovitog centraliziranog grijanja i hlađenja te potiče na što veće korištenje istih. U istoj direktivi učinkovito centralizirano grijanje i hlađenje definirano je kao „sustav centraliziranog grijanja ili hlađenja koji upotrebljava najmanje 50% obnovljive energije, 50% otpadne topline, 75% topline dobivene kogeneracijom ili 50% kombinacije takve energije i topline”.

U Direktivi o izmjeni Direktive o energetskej učinkovitosti iz 2018. godine navodi se da bi sve države članice trebale iskoristiti sva raspoloživa sredstva i tehnologije kako bi se ostvarile uštede energije „među ostalim promicanjem održivih tehnologija u sustavima učinkovitog centraliziranog grijanja i hlađenja, infrastrukture za učinkovito grijanje i hlađenje (...)“. Također se istom definiraju pravila za mjerenje i obračun energije za grijanje, hlađenje i toplu vodu.

Trenutno je u tijeku revidiranje Direktive o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora energije i Direktive o energetskej učinkovitosti kako bi se implementirao novi cilj smanjenja stakleničkih emisija za 55% u odnosu na 1990. do 2030. godine.

4.3. Direktiva o energetskej učinkovitosti zgrada (2010/31/EU) i o izmjeni Direktive o energetskej učinkovitosti zgrada i Direktive o energetskej učinkovitosti (2018/844/EU)

Sektor zgradarstva ključna je stavka u ostvarivanju europskih energetske i klimatske ciljeve. Najveći potrošač energije u Europi predstavlja upravo ovaj sektor na koji otpada 40% potrošnje energije u EU te je zaslužan za ispuštanje 36% emisija stakleničkih plinova. Trenutno je oko 35% zgrada u EU starije od 50 godina i oko 75% zgrada je energetske neučinkovite. Samo 1% zgrada se renovira svake godine što je jedan od razloga zašto su politike u direktivi iz 2018. strože nego u direktivi iz 2010. godine. Renoviranjem postojećih zgrada smanjila bi se ukupna potrošnja energije u EU za 5-6% i smanjile bi se CO₂ emisije za 5% (www.ec.europa.eu). U članku 6. direktive o energetskej učinkovitosti zgrada navedeno je da nove zgrade, ukoliko postoji mogućnost, moraju implementirati jedan od sljedećih četiri sustava: decentralizirani sustavi opskrbe energijom na temelju energije iz obnovljivih izvora, kogeneracija, daljinsko ili blokovsko grijanje ili hlađenje, posebno ako se u cijelosti ili djelomično temelji na energiji iz obnovljivih izvora (gdje se daljinsko

grijanje/hlađenje odnosi na centralne toplinske i rashladne sustave) te toplinske crpke. Također se ovim direktivama potiče korištenje OIE te se uvodi obaveza da sve zgrade izgrađene poslije 31. prosinca 2020. moraju biti zgrade nulte energije. Gore navedene 3 direktive iz 2018. (2018/2001/EU, 2018/2002/EU, 2018/844/EU), sastavni su dio EU paketa Čista energija za sve Europljane.

4.4. Uredba o upravljanju energetsom unijom i djelovanjem u području klime (2018/1999/EU)

Kako bi se dosegli zacrtani ciljevi u 2030. i 2050. godini, Uredba o upravljanju energetsom unijom i djelovanjem u području klime postavlja pravila za planiranje, izvješćivanje i praćenje napretka. Zbog toga je obaveza svake države članice bila izraditi Nacionalni energetska plan do kraja 2019. godine koji mora sadržavati scenarije kako bi energetska situacija u svakoj državi članici mogla izgledati do 2030. godine. Iako su prve verzije Nacionalnih energetskih planova izrađene, druga ažurirana verzija mora se predati do kraja lipnja 2024. Također, svaka država članica mora izvješćivati o napretku svake dvije godine. Centralni toplinski sustavi, kao i drugi mogući izvori proizvodnje toplinske energije, sastavni su sadržaj Nacionalnih energetskih planova.

4.5. Primjeri CTS projekata financirani iz EU fondova

4.5.1. *KeepWarm*

Projekt „Poboljšanje učinkovitosti sustava daljinskog grijanja u istočnoj Europi” ili skraćeno KeepWarm usredotočen je na ubrzavanje ulaganja u modernizaciju CTS-a i smanjenje emisija stakleničkih plinova prelaskom na OIE uz prilagodbu različitim nacionalnim mogućnostima. Glavni cilj je implementacija OIE, točnije solarne energije i biomase u CTS te optimizacija, modernizacija i proširenje distribucijske mreže, obnova kotlovnica i druge mjere energetske učinkovitosti. Projekt koordinira Njemačko društvo za međunarodnu suradnju, a odnosi na sedam zemalja istočne Europe: Latviju, Sloveniju, Srbiju, Austriju, Ukrajinu, Hrvatsku i Češku. Bitna karakteristika ovog projekta je njegov rad na pilot projektima te interakcija sa potencijalnim ulagačima kako bi se povećala vjerojatnost da se projekti ostvare. Radovi obavljeni u sklopu ovog projekta nalaze se u tablici 4-1. Projekt je započeo u travnju 2018. te završio u prosincu 2020. godine. Ukupni proračun projekta iznosio je 2 098 497,50 € te je u cijelosti financiran iz sredstava EU.

Tablica 4-1. Radovi obavljani u sklopu KeepWarm projekta (prema www.cordis.europa.eu, 2022)

Obuka	52 CTS operatera, ukupno 813 sudionika (617 zaposlenika CTS-a i 196 vanjskih dionika)
Tehno-ekonomske studije	23 studije koje uključuju 73 scenarija kako optimizirati pojedine CTS-ove
Poslovni planovi	109 stručnjaka obučeno za izradu poslovnih planova i razvijena su 24 poslovna modela za modernizaciju CTS-ova
Ulaganja	12 CTS-a je ostvarilo ulaganja od oko 111,3 milijuna € (do kraja 2023. očekivana investicija je oko 280,5 milijuna €, a do kraja 2028. oko 617,5 milijuna €)
Ušteda energije	484,24 GWh
Povećanje udjela OIE	223,42 GWh
Smanjenje CO2 emisija	98,201 t

4.5.2. RELaTED

Cilj projekta RELaTED (engl. *REnewable Low TEMperature District*) je ostvariti koncept decentraliziranih nisko-temperaturnih distribucijskih mreža koje će omogućiti korištenje većeg udjela OIE. Također, zbog smanjenja temperature u sustavu smanjit će se operativni troškovi zbog smanjenja gubitaka topline, boljih energetske performansi postrojenja za proizvodnju energije te implementacije OIE. Koncept će biti demonstriran u četiri države: Danskoj, Estoniji, Srbiji i Španjolskoj. Projekt slijedi primjer električnih pametnih mreža u kojoj je proizvodnja energije decentralizirana, a potrošači ujedno postaju i proizvođači. Projekt je započeo u studenom 2017., a završetak je predviđen za lipanj 2022. godine. Ukupni proračun iznosi 4 650 631,53 € od čega je 3 943 251,26 € financirano iz sredstava EU. Očekivani rezultati projekta su:

- proizvodnja energije iz OIE i iskorištavanje otpadne topline,
- isporuka toplinske energije pri 40-45°C,
- koncept podstanice s trostrukom funkcijom: isporuka i primitak toplinske energije te spajanje OIE na distribucijsku mrežu,
- korištenje reverzibilnih dizalica topline (za grijanje i hlađenje), te
- integrirani solarni toplinski fasadni sustavi na zgradama s izravnim priključkom na distribucijsku mrežu.

4.5.3. Upgrade DH

Projekt Upgrade DH (engl. *District heating, DH*) odnosi se na radove vezane uz nadogradnju i modernizaciju CTS sustava kako bi se poboljšale performanse neučinkovitih distribucijskih mreža. Temeljne aktivnosti projekta uključuju pronalazak najboljih rješenja za nadogradnju, financiranje i odabir poslovnih modela, kao i razvoj nacionalnih i regionalnih akcijskih planova. Projekt je započeo u svibnju 2018. i završio u rujnu 2021. godine te se odnosi na sedam država: Bosnu i Hercegovinu, Dansku, Hrvatsku, Belgiju, Njemačku, Italiju i Litvu. U svakoj od ciljanih zemalja proces nadogradnje i modernizacije pokrenut je na konkretnim primjerima distribucijskih mreža. Projekt je u cijelosti financiran iz sredstava EU, a iznosi 1 999 667,50 €. Očekivani rezultati projekta su:

- primarne uštede energije i smanjenje emisija stakleničkih plinova,
- povećani udio otpadne topline i obnovljivih izvora topline, te
- mogućnost replikacije predloženih rješenja na druge CTS-ove.

5. PODJELA CENTRALNIH TOPLINSKIH SUSTAVA

Ne postoji jedinstvena podjela sustava, ali centralni toplinski sustavi mogu se kategorizirati prema parametrima koji ih opisuju.

5.1. Podjela po veličini

Centralni toplinski sustavi mogu opskrbljivati velika područja kao što su gradovi, ali i manja područja kao što su manja naselja ili kvartovi. Veličina sustava može se opisati sljedećim parametrima:

- duljina toplovodnog sustava,
- broj toplinskih podstanica,
- broj spojenih potrošača,
- investicijski trošak,
- razina kompleksnosti sustava (npr. broj proizvodnih lokacija, broj spojeva, razgranatost mreže),
- isporučena energija,
- instalirani kapacitet sustava i
- pokrivena grijana površina (Rutz et al., 2019).

Prema veličini razlikujemo mikro, mali te veliki CTS.

Veliki CTS ima najdužu tradiciju korištenja, a često se veže uz kogeneracijska postrojenja. Potrošači su kućanstva i velike industrije. U novije vrijeme pokušava se sve više integrirati obnovljive izvore energije u ovakve sustave.

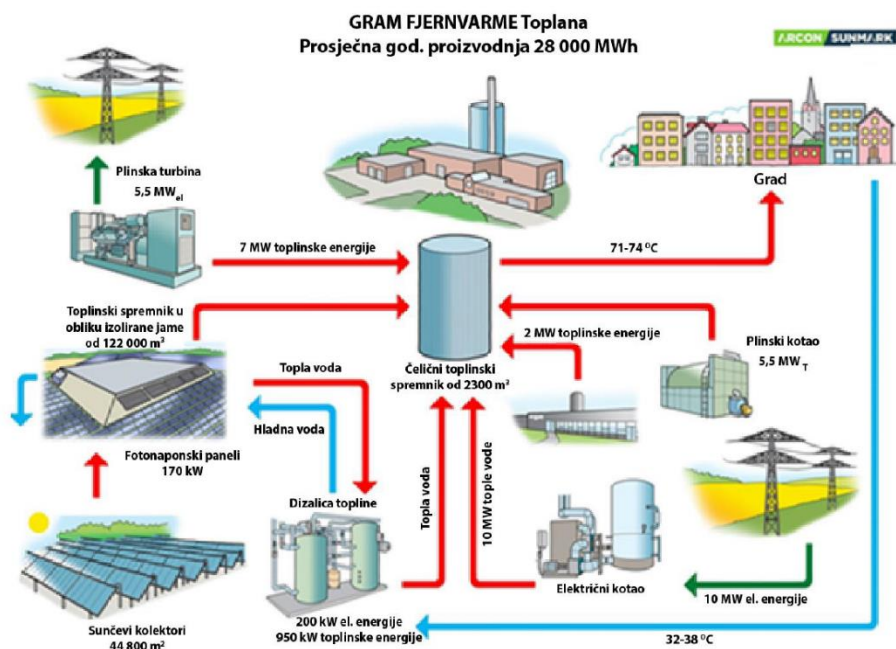
Mali CTS toplinskom energijom opskrbljuje mali broj potrošača, a potrošači su kućanstva i srednje velike industrije. Ovakvi sustavi češće imaju integrirane OIE od velikih CTS-a, a fosilna goriva koriste se kao rezerva ili za pokrivanje vršne potrošnje. Najčešće se koriste u manjim naseljima.

Mikro CTS instaliraju se za još manji broj potrošača, od 2 do 10. Zbog malog broja korisnika jednostavni su za izgradnju i nisu potrebe dugotrajne javne procedure. Korisnici se međusobno dogovaraju o načinu izračuna cijene iskorištene toplinske energije te tko preuzima upravljanje nad sustavom (Doračić et al., 2021).

5.2. Podjela prema tehničkim karakteristikama

Prema tehničkim karakteristikama CTS se može podijeliti prema proizvodnji, distribuciji i potrošnji toplinske energije.

Prema lokaciji proizvodnje topline, CTS se može podijeliti na centralizirane i decentralizirane sustave. Kroz povijest većina sustava su bili centralizirani. Toplinska energija proizvodila se na jednoj lokaciji i distribuirala potrošačima. Najčešće su to kogeneracijska postrojenja sa manjim toplinskim spremnicima koji su služili za uravnoteženje rada sustava i maksimizaciju proizvodnje električne energije. U posljednje vrijeme raste broj decentraliziranih sustava gdje se toplinska energije proizvodi na više lokacija i/ili iz više različitih izvora energije. Ovakvi sustavi česti su u Danskoj, a slika 5-1. prikazuje primjer takvog toplinskog sustava u gradu Gram.



Slika 5-1. Decentralizirani toplinski sustav sa raznim izvorima topline, Gram, Danska (Rutz et al., 2019)

Toplinska energija iz CTS-ova prenosi se distribucijskom mrežom do krajnjih potrošača. Za prijenos topline u prošlosti se najčešće koristila para što se pokazalo neučinkovitim. Danas se kao medij za prijenos topline koristi voda. Razlikuju se sustavi gdje se koristi vruća voda pod tlakom na temperaturama oko 100°C te takvi sustavi mogu biti vrlo učinkoviti, ali su veći rizici od toplinskih gubitaka, posebice u sustavima gdje su cijevi loše izolirane. Veće su prednosti sustava koji koriste temperature manje od 100°C jer se drastično smanjuju mogućnosti toplinskih gubitaka u distribucijskoj mreži, te omogućuju integraciju OIE. Zbog navedenih prednosti trend razvoja je prema nisko-temperaturnom CTS-u s temperaturama

distribucije nižim od 50°C. No, primjenjivost ovih sustava ovisi o mogućnosti priključenja krajnjih korisnika. Distribucijske mreže kojima se toplina prenosi do krajnjeg potrošača mogu biti različitih razina; razlikujemo primarne, sekundarne i tercijarne distribucijske mreže. Primarna mreža je izravno ili putem izmjenjivača topline povezana s generatorima topline, dok je sekundarna odvojena od primarne toplinskom podstanicom. Tercijarna mreža je kućna instalacija krajnjeg korisnika. Ovisno o veličini sustava, nekad postoji samo jedna ili dvije razine mreža.

Druga podjela odnosi se na izravne i neizravne sustave. U izravnim sustavima voda iz distribucijske mreže teče izravno u instalacije potrošača, ali zbog brojnih nedostataka kao što su visoka temperatura u slučaju istjecanja, ovakvi sustavi se postupno ukidaju. Danas su češći neizravni sustavi gdje se toplina iz primarne ili sekundarne mreže do krajnjeg korisnika prenosi putem izmjenjivača topline.

Potrošači toplinsku energiju mogu koristiti samo za grijanje prostora ili zajedno za grijanje i pripremu potrošne tople vode. Razlika je što sustavi koji krajnje korisnike opskrbljuju potrošnom toplom vodom moraju raditi tijekom cijele godine, dok sustavi korišteni samo za grijanje rade sezonski. U sustavima koji koriste solarnu toplinsku energiju i otpadnu toplinu potrebno je da krajnji korisnici osim za grijanje, isporučenu toplinu koriste za pripremu potrošne tople vode kako bi se iskoristili viškovi toplinske energije u ljetnim mjesecima kada grijanje prostora nije potrebno.

5.3. Podjela prema korištenoj tehnologiji i generaciji sustava

Prvi korijeni centralnih toplinskih sustava sežu još u rimsko doba, ali povijest modernih CTS-ova započinje 1877. godine kada je u pogon pušten prvi komercijalni sustav u gradu Lockport u SAD-u. Od tada je tehnologija napredovala te danas razlikujemo pet generacija centralnih toplinskih sustava koji su prikazani na slici 5-2. Ono što je zajedničko svim generacijama CTS-a je da opskrbljivač toplinskom energijom mora odgovoriti na potražnju za istom te osigurati da voda ili para koja dolazi do krajnjeg korisnika bude pri određenom tlaku i temperaturi.

Prva generacija centralnih toplinskih sustava temeljila se na generiranju pare u postrojenjima koja su sagorijevala ugljen. Gotovo svi sustavi izgrađeni između 1880. i 1930. koristili su ovu tehnologiju. Visoke temperature i tlakovi, niska efikasnost i nesreće koje su se događale uslijed eksplozija pare, karakteristične su za ovu generaciju. Također su cijevi za povrat

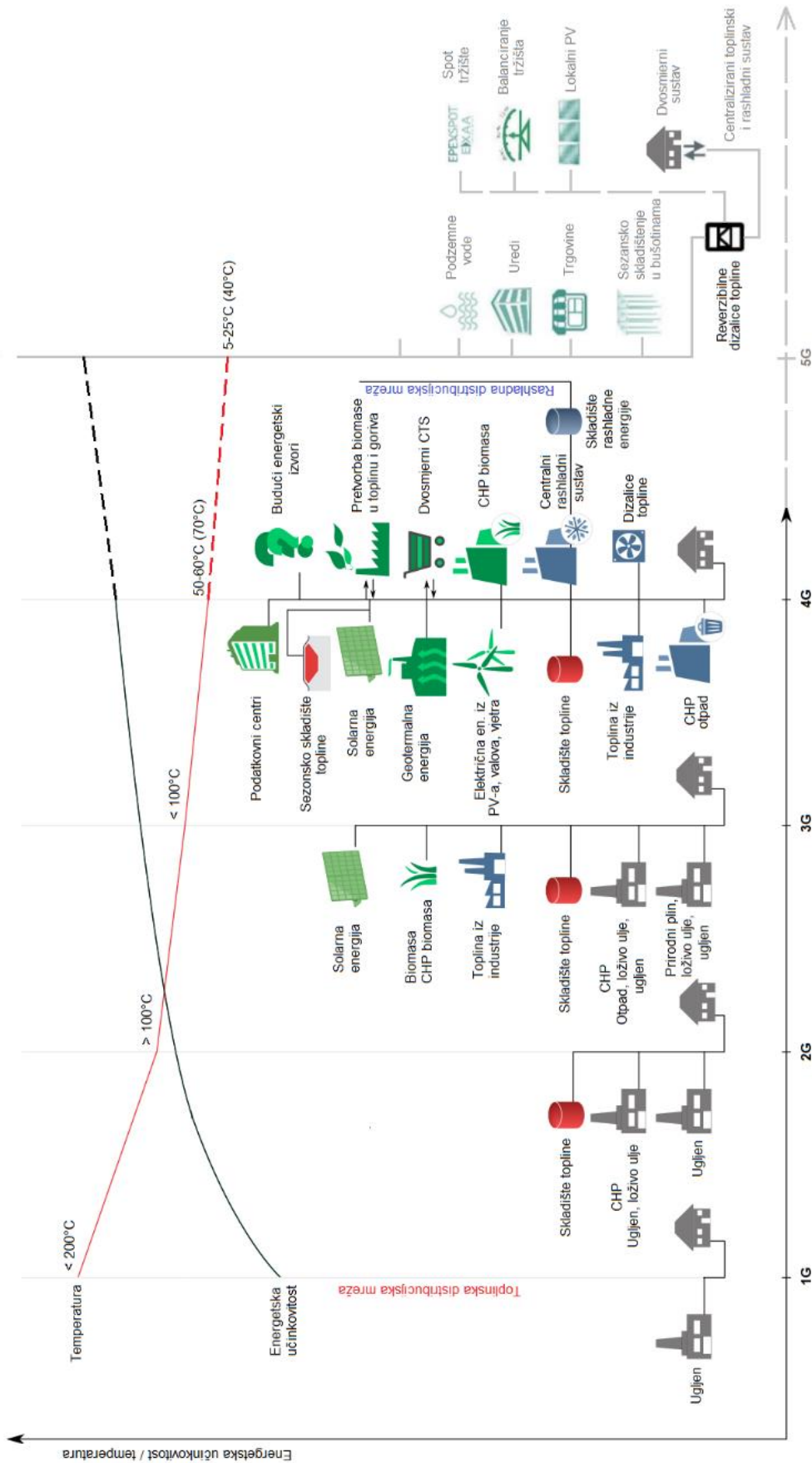
kondenzata često korodirale što je za rezultat imalo manji povrat kondenzata i još nižu energetska učinkovitost. Danas se ovakvi sustavi zamjenjuju novijim tehnologijama, iako postoje neka područja gdje se još koriste kao što su New York i Pariz.

Cilj druge generacije CTS-a bila je ušteda goriva i povećanje energetske efikasnosti. Ovakva postrojenja koristila su loživo ulje, ugljen i prirodni plin, a toplina se distribuirala vodom pod visokim temperaturama, većim od 100°C, pod visokim tlakom. Ova tehnologija koristila se od 1930-ih do 1970-ih, i upravo u tom periodu počinju se koristiti prva kogeneracijska postrojenja.

Primarni motiv za izgradnju sustava treće generacije bila je sigurnost opskrbe na način da se poveća energetska učinkovitost nakon naftnih kriza koje su dovele do prekida opskrbe naftom. Zato su ovakvi sustavi većinski koristili ugljen, biomasu i otpad, a u nekim sustavima također i geotermalnu i solarnu energiju. Kao i kod druge generacije, toplina se distribuirala vodom, ali na nižim temperaturama, obično ispod 100°C. Ovi sustavi su zastupljeni danas, ali se sve više počinju zamjenjivati sustavima četvrte generacije.

Četvrtu generaciju CTS-a karakterizira niža temperatura distribucije, manja od 70°C, što omogućuje efikasniju implementaciju obnovljivih izvora energije u CTS. Napredna tehnologija i sustavi skladištenja omogućuju ovim sustavima veću fleksibilnost i sigurnost. Kao izvori energije koristi se otpadna toplina iz kogeneracijskih postrojena, podatkovnih centara, biomasa, dizalice topline visokog kapaciteta, geotermalna i solarna energija te ostali nisko-temperaturni izvori topline. Osim za grijanje, sustavi četvrte generacije također služe za hlađenje čime se povećava ukupna učinkovitost sustava (Lund et al., 2014).

Trend opadanja temperature distribucije nastavlja se u petoj generaciji CTS-a. Temperatura distribucije približna je okolišnoj temperaturi što smanjuje gubitke i potrebu za teškom izolacijom sustava cjevovoda. Svaki objekt spojen na ovakvu mrežu koristio bi dizalice topline koje bi u zimskoj sezoni toplinu distribucije koristile za grijanje, dok bi u ljetnim mjesecima istu koristile za hlađenje. Ovakvim načinom bi se u razdobljima istovremene potrebe za grijanjem i hlađenjem omogućilo korištenje otpadne topline iz procesa hlađenja u objektima kojima je potrebno grijanje, no potrebno je regulirati temperaturu distribucije kako bi ostala u rasponu 10°C do 25°C. Kao izvori topline mogla bi se koristiti temperatura zraka, vode iz rijeka, jezera ili mora, te otpadna toplina iz industrijskih i komercijalnih izvora. Ovakvi sustavi doprinose boljoj kvaliteti zraka te su CO₂ neutralni.



Slika 5-2. Prikaz svih generacija CTS-a (prema Euroheat & Power, 2020)

6. NISKO-TEMPERATURNI CENTRALNI TOPLINSKI SUSTAVI I OIE

Kako je već navedeno u prethodnom poglavlju, četvrta i peta generacija centralnih toplinskih i rashladnih sustava koristile bi obnovljive izvore energije. Danas se u CTS-u kao izvor energije najviše upotrebljava prirodni plin i biomasa te se njihovim korištenjem distribuira voda temperature do 100°C. Tako visoke temperature ne mogu se postići drugim OIE ili otpadnom toplinom iz komercijalnih i industrijskih postrojenja. Kako bi centralni toplinski i rashladni sustavi bili u skladu s ciljevima EU potrebno je:

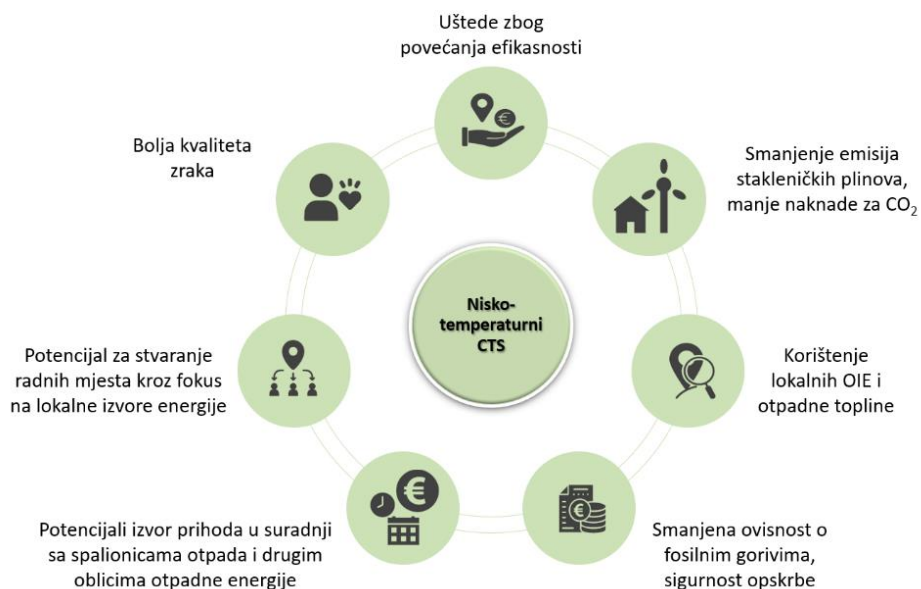
- implementirati nisko-temperaturene izvore topline u već postojeće, renovirane i novoizgrađene objekte,
- imati male gubitke u distribucijskoj mreži,
- koristiti OIE i otpadnu toplinu,
- integrirati CTS u pametne energetske sustave,
- razviti ih uzimajući u obzir lokalne energetske planove, politike i troškove sustava,
- pridonijeti razvoju održivih energetske sustava (Lund et al., 2018).

Razlika između trenutne situacije i one koja se očekuje u budućnosti prikazana je na slici 6-1.



Slika 6-1. Put prema idealnom CTS-u (prema IRENA, 2017)

Za razliku od treće generacije, četvrta i peta bi radile na puno nižim temperaturama, oko 50°C i niže. To ne samo da bi omogućilo implementaciju OIE nego bi se gubitci u mreži koji nastaju zbog visokih temperatura smanjili za oko 75% (Li et al., 2017). Prednosti nisko-temperaturnih CTS-ova prikazane su na slici 6-2.



Slika 6-2. Prednosti nisko-temperaturnih CTS-ova (prema EK & SCIS, 2020)

Kako bi se nisko-temperaturni izvori energije mogli implementirati u CTS, ključne su dvije tehnologije: dizalice topline i skladišta toplinske energije.

Iako se dizalice topline mogu koristiti u CTS-u to nije čest slučaj. Prema IRENA 2021 dizalice topline koristile bi se kod krajnjih korisnika na distribucijskoj mreži gdje bi se nisko-temperaturna energija iz distribucijske mreže koristila kako bi se pomoću dizalice topline generirala toplinska energija dovoljna za grijanje. Iako se dizalice topline smatraju klimatski neutralnom tehnologijom, rashladni fluidi koji se trenutno najviše koriste su hidrofluorouglikovodici (npr. R410a) koji imaju visok potencijal globalnog zagrijavanja (GWP, Global Warming Potential). Trenutno se takvi rashladni fluidi izbacuju iz uporabe, npr. R410a se neće smjeti koristiti u novim sustavima poslije 2023. godine. Zamjenjuju se rashladnim fluidima s manjim GWP-om, a tehnologija napreduje prema korištenju CO₂ koji od svih trenutno poznatih rashladnih fluida ima najniži GWP (GWP od CO₂ je 1).

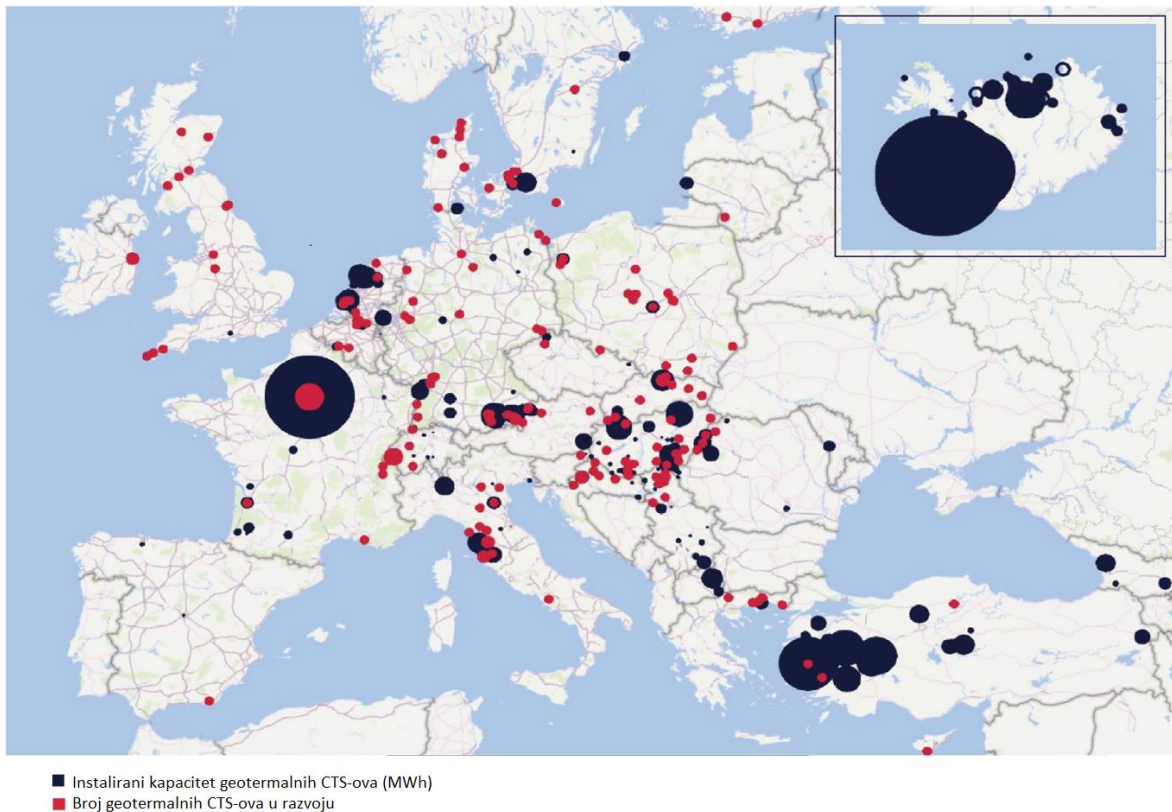
Kako bi se osigurala fleksibilnost sustava i uspješno integrirali OIE, skladišta toplinske energije imaju veliku važnost u sustavu. Ne samo da se koriste za skladištenje topline, već i za skladištenje viška električne energije iz OIE. Kasnije se uskladištena toplina može koristiti za grijanje/hlađenje ili se ponovno pretvoriti u električnu energiju. Ovakva tehnologija jeftinija je u odnosu skladišta za električnu energiju. Skladišta toplinske energije rješenje su za neujednačenost u radu CTS-a koji koristi obnovljive izvore energije.

CTS nije usko vezan ni uz jedan izvor energije. Do 1990. polovina CTS koristila je ugljen, kojega je zatim zamijenio prirodni plin. Od 1990. do 2017. uporaba biomase u CTS porasla je za 20%, a udio OIE za 6% (Mathiesen et al., 2019). U narednim poglavljima opisani su mogući izvori energije koji bi doveli do dekarbonizacije CTS-a.

6.1. Geotermalna energija

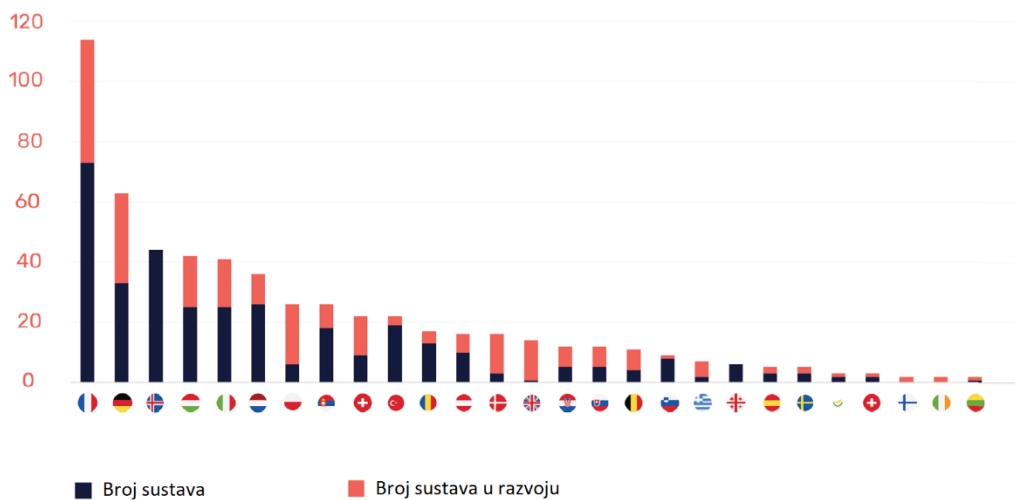
Geotermalna energija obnovljiv je izvor energije sadržan u Zemljinoj unutrašnjosti, a prema temperaturama dijeli se na nisko ($< 90^{\circ}\text{C}$), srednje ($90\text{-}150^{\circ}\text{C}$) i visoko temperaturne fluide ($> 150^{\circ}\text{C}$). Ako je temperatura geotermalne vode na ušću veća od 80°C može se integrirati u postojeće distribucijske sustave bez značajnih preinaka. U suprotnom su potrebne veće modifikacije. Visoko-temperaturna geotermalna energija primarno se koristi za proizvodnju električne energije, ali i u kogeneraciji gdje se toplina koja ostaje nakon generiranja električne energije koristi za grijanje. Ovakvi sustavi najpoznatiji su na Islandu koji više od 90% vlastite potrebe za toplinskom energijom dobiva iz geotermalne energije (IRENA, 2020b).

U 2020. godini 350 CTS-ova koristili su geotermalnu toplinu, a još 232 postrojenja bili su u različitim fazama razvoja, slika 6-3. U prosijeku 12 postrojenja se otvori godišnje, iako se obzirom na europske politike očekuje sve veće povećanje tog broja (EGEC, 2020).

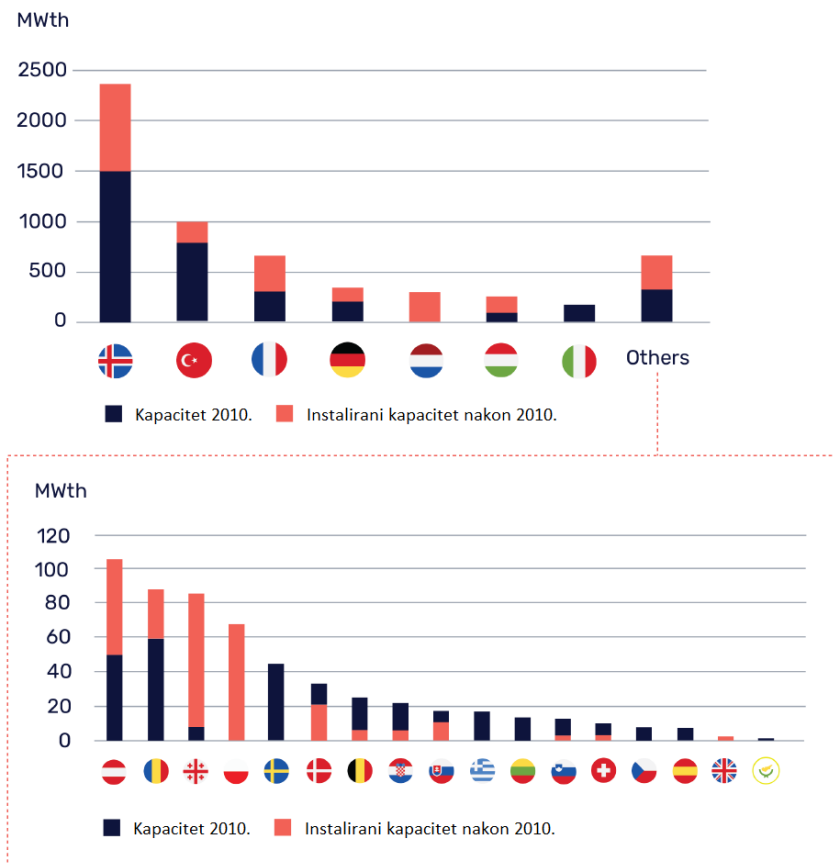


Slika 6-3. Karta geotermalnih CTS-ova u Europi (EGEC, 2020)

Najveći broj CTS-a koji koriste geotermalnu nalazi se u Francuskoj, zatim na Islandu i Njemačkoj iako zajedno sa projektima u razvoju Njemačka prednjači nad Islandom (slika 6-4.). Porast kapaciteta od 2010. do 2020. godini najviše vidi na Islandu, u Francuskoj i Nizozemskoj (slika 6-5.).



Slika 6-4. Broj operativnih geotermalnih CTS-ova i onih u razvoju (EGEC, 2020)



Slika 6-5. Geotermalni CTS-ovi od 2010. do 2020. godine (EGEC, 2020)

Osim područja sa vulkanskom aktivnošću kao što su Island i Italija, ili područja sa visokim geotermalnim gradijentom kao što je Panonski bazen, u većini područja geotermalna energija pridobiva se pri niskim ili srednjim temperaturama. Obično se veće temperature pronalaze na većim dubinama što znači da je rizik ulaganja veći. Kako bi se smanjio rizik i visoki troškovi bušenja, sve više se počinje upotrebljavati plitka geotermalna energija u kombinaciji sa dizalicama topline. Također, geotermalna voda se često proizvodi zajedno s naftom i plinom te se njezinim izdvajanjem može koristiti za grijanje. Još jedan od načina korištenja geotermalne energije su napušteni rudnici u kojima se akumulirala voda te duboki bušotinski izmjenjivači topline. Prednost geotermalne energije nad drugim OIE je njezino korištenje kroz cijelu godinu i zbog toga se predviđa koristiti ove sustave kao bazna postrojenja za proizvodnju toplinske i/ili električne energije.

6.2. Solarna energija

Solarna toplinska energija često je korištena u kućanstvima za grijanje i pripremu potrošne tople vode. Ovakvi sustavi velikog razmjera mogu se koristiti u CTS-u. Postoje dvije vrste solarnih kolektora: ravni solarni kolektori kod kojih je proizvodnja toplinske energije ispod 100°C te koncentrirajući kolektori koji mogu doseći puno veće temperature, $300^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}$. Bez obzira koja od ovih tehnologija se koristila može se integrirati u sustave na dva načina: centralizirano i decentralizirano. Klasičan centralizirani sustav sastoji se od solarnog proizvodnog postrojenja na jednoj lokaciji te se toplinska energija prenosi distribucijskim sustavom. Decentralizirani ili distribuirani način znači da su solarni kolektori postavljeni na nekoliko različitih mjesta te povezani sa distribucijskom mrežom CTS-a. Mogu se postaviti na krovove objekata ili na tlo. Današnji sustavi mogu dosegnuti snagu i do 100 MW_t . Sunčeva energija može se integrirati u CTS do 20%, a uz korištenje sezonskih skladišta topline i do 50% (Rutz et al., 2019).

Geografski gledano, integracija solarnih panela moguća je gotovo svugdje u Europi, iako kretanjem prema južnijim dijelovima raste broj sunčanih sati, a time i proizvedena toplinska energija. Glavni problem je dostupnost slobodne površine. Kao pravilo se može uzeti godišnja proizvodnja od 2 GWh na jednom hektaru. Zato ovi sustavi imaju sve veći trend decentralizirane proizvodnje energije. Dodatni problem solarnih kolektora su dnevni i godišnji ciklusi. Tijekom noći nema proizvodnje toplinske energije, te je smanjena proizvodnja tijekom zimskih mjeseci kada je potražnja za toplinskom energijom najveća. Ukoliko ne postoji potražnja za grijanjem u ljetnim mjesecima, obično ovakav način grijanja nije isplativ. Problem je moguće riješiti korištenjem dovoljno velikih skladišta toplinske energije i korištenjem toplinske energije za pripremu potrošne tople vode. Još jedan način korištenja solarne energije za grijanje je putem fotonaponskih ćelija. FN ćelije proizvode električnu energiju iz solarne, te se ista može koristiti u CTS-u za proizvodnju toplinske energije.

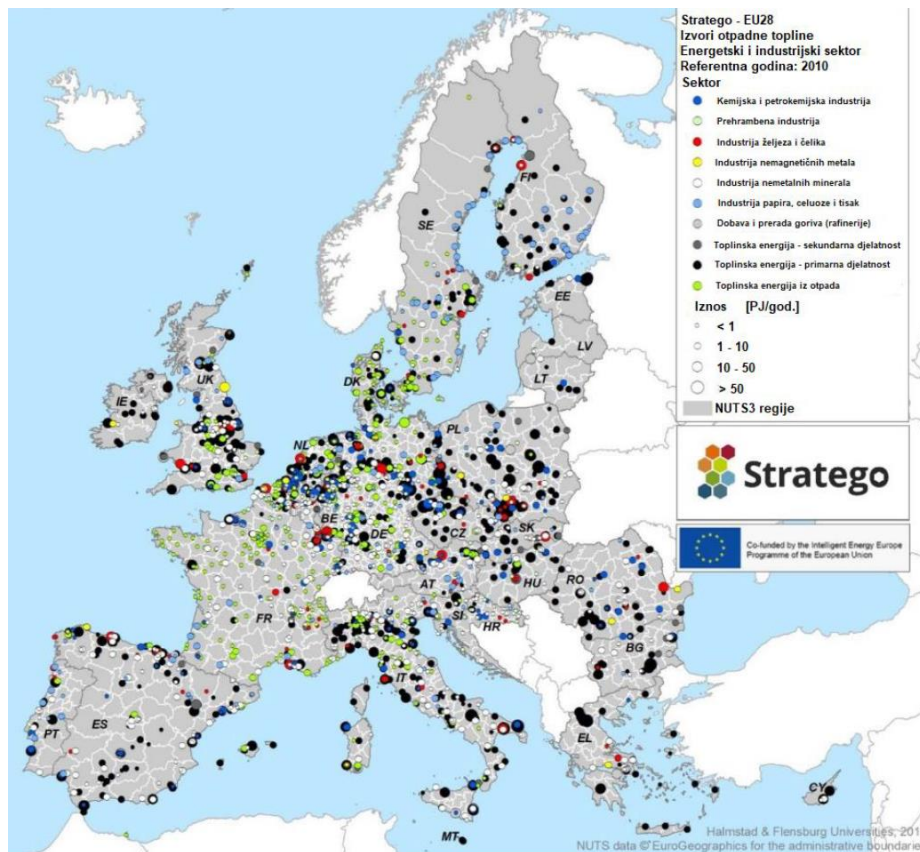
6.3. Industrijska otpadna toplina

Otpadna toplina iz industrijskih procesa perspektivna je za korištenje u centralnim toplinskim sustavima. Može se karakterizirati prema temperaturi, količini energije, vrsti industrije i procesa iz kojeg potječe. Temperatura otpadne topline obično je ispod 70°C te se može iskorištavati u već postojećim sustavima zajedno s visoko-temperaturnim dizalicama

topline ili u nisko-temperaturnim distribucijskim mrežama. Smatra se da će najveći potencijal iskorištavanja otpadne topline biti iz podatkovnih centara obzirom da je internetski promet u stalnom porastu (Jones, 2018). No postoji niz faktora koji se moraju razmotriti prije implementacije otpadne topline u CTS-u (Hirzel et al., 2013):

- Količina energije: ovisi o toplinskom kapacitetu medija koji se može koristiti, o protoku i temperaturnoj razlici između temperature izvora topline i minimalne potrebne temperature u CTS-u.
- Temperaturna razina: što je viša temperatura samog izvora topline to je otpadnu toplinu lakše koristiti u drugim procesima.
- Sastav i vrsta: mora se uzeti u obzir kod izbora komponenata kao što su npr. izmjenjivači topline, ventili i cijevi. Korozivne komponente medija mogu drastično skratiti vijek trajanja komponenti. Kako bi se izbjegla npr. kondenzacija korozivnih tekućina, može biti potrebno ograničiti temperaturu do koje se izvor topline hladi. Također, može doći do taloženja što smanjuje protok, ali i učinkovitost izmjenjivača topline i drugih komponenti.
- Vrsta: otpadna se toplina može bazirati na zračenju ili konvekciji što je zahtjevnije za iskoristiti od topline sadržane u tekućini.
- Istovremenost: u idealnom slučaju otpadna toplina bi se pojavila u istom trenutku kao i potreba za toplinom. Kod pojave u različitim trenutcima se mogu koristiti toplinski spremnici u svrhu balansiranja proizvodnje i potražnje.
- Trajanje: ovisno o svrsi za koju se koristi otpadna toplina, može se preferirati trajna dostupnost tijekom cijele godine jer se na taj način smanjuje vrijeme otplate investicije ili se može kao u slučaju korištenja u CTS-u sklopiti dogovor o osiguranoj količini, vremenu isporuke te o postupcima kod promjene potražnje.
- Udaljenost: investicijski troškovi infrastrukture i toplinski gubitci niži su za slučaj male udaljenosti između lokacije izvora i potrošača.

Industrijska toplina prikladna je za iskorištavanje u CTS-u jer se često pojavljuje u velikim količinama te pri visokim temperaturama. U svrhu procjene dostupne otpadne topline iz industrije izrađen je projekt STRATEGO gdje se analizirala kemijska industrija, petrokemija, industrija prehrane i pića, prerade i dostave goriva, proizvodnje željeza i čelika, ne-magnetičnih materijala, minerala, papira i tiskarska industrija. Slika 6-6. pokazuje izvore otpadne topline u Europi.



Slika 6-6. Mapiranje različitih izvora otpadne topline iz industrije u EU28 u sklopu STRATEGO projekta (STRATEGO, 2015a)

Većina izvora otpadne topline nalazi se u blizini većih gradovima koji imaju i veliku potražnju za toplinskom energijom, a mnoge industrije bi na ovaj način mogle poboljšati svoju energetska učinkovitost. Prema procjenama otpadna toplina iz industrijskih procesa pokrila bi minimalno 25% proizvodnje toplinske energije iz CTS-a bez potrebe za nadogradnjom sustava (Paardekooper et al., 2018).

6.4. Nisko-temperaturna otpadna toplina

Otpadna toplina pri 20 do 40°C predstavlja veliki potencijal u gradovima. Različiti su izvori nisko-temperaturne otpadne topline, a četiri moguća analiziraju se u europskom projektu ReUseHeat: podakovni centri, kanalizacija, bolnice i podzemne željeznice.

U podakovnim centrima toplinska energija se oslobađa iz utrošene električne i rashladne energije. Zagrijani zrak bi se mogao provoditi kroz izmjenjivač topline te se koristio kao izvor u dizalicama topline. Ako se za primjer uzme podakovni centar veličine od 1 MW IT

opterećenja, on godišnje u atmosferu ispušta 3 700 MWh toplinske energije što je oko 40% ukupne energije koja je potrebna za rad podatkovnog centra (www.reuseheat.eu, 2021).

Temperatura kanalizacijskih sustava u prosijeku je 10 – 15°C, a ljeti i do 20°C te bi se mogla koristiti za grijanje u kombinaciji s dizalicama topline. Prema STRATEGO projektu 5% ukupne potražnje za toplinskom energijom u Europi bi se moglo proizvesti na ovakav način u naseljima s više od 10 000 stanovnika. U EU to odgovara povratu otpadne topline iz otpadnih voda od oko 150 TWh/god. Oko 20% zgrada u Njemačkoj bi se moglo grijati korištenjem ove tehnologije.

Otpadna toplina iz bolnica, trgovina i sličnih objekata bi se također mogla koristiti u CTS-u. Prema ReUseHeat oko 3,3 TWh/god otpadne topline dolazi iz bolnica, a potencijal se utrostručuje ako u obzir uzmemo druge slične objekte kao što su trgovine, trgovački centri, klaonice, veliki logistički centri i sl.

Toplinska energija stvara se i u podzemnim željeznicama zbog stalnog ubrzavanja i usporavanja vlakova, te se sustavima ventilacije ta toplinska energija ispušta u atmosferu. U EU, 50 gradova ima podzemnu željeznicu sa oko 2 800 km duljine, dok se taj broj na svjetskoj razini povećava na 148 gradova i oko 11 000 km pruge. Prema ReUseHeat moglo bi se pridobiti 6,7 – 11,2 TWh toplinske energije po godini iz ovih sustava. Osim što bi to bilo značajno za korištenje u CTS-u, riješio bi se problem prevelikih temperatura u podzemnim željeznicama, posebice u ljetnim mjesecima.

6.5. Biomasa

U 2018. godini 9,5% ukupne primarne energije proizvodilo se iz biomase. Prema scenariju energetske transformacije koji je izradila IRENA (IRENA, 2020a) taj udio bi se do 2025. trebao povećati na 23%. U sektoru grijanja nakon fosilnih goriva, najveći udio toplinske energije proizvodi se iz biomase 16,7% (Calderon et al., 2020). Korištenje biomase može biti isključivo za proizvodnju toplinske energije, a često se koristi u kogeneraciji. Od svih obnovljivih izvora, biomasu je najjednostavnije koristiti u CTS-u, budući da se u sustavu postižu visoke temperature i nisu potrebne nikakve modifikacije postojećih sustava. Biomasa se koristi i za proizvodnju biogoriva koja se također mogu koristiti u CTS-ovima. Zamjena prirodnog plina sa bioplinom dovela bi do smanjenja emisija stakleničkih plinova te povećala udio OIE u centralnim toplinskim sustavima.

Različiti su načini stvaranja biomase, a ona je često i nusproizvod različitih procesa. Kod većih CTS-a koristi se: glomazni otpad drvnog podrijetla (namještaj, konstrukcijski elementi...), piljevina, drvena sječka (drveni otpad i/ili sječka iz brzo rastućih nasada), industrijski peleti (drveni ili mješoviti peleti) i tofificirana biomasa. U prosijeku za CTS potrebno je oko 270 kg/MWh peleta ili 380 kg/MWh sječke uz pretpostavljenu efikasnost od 75% (KeepWarm, 2020). Biomasa mora biti proizvedena na održiv način kako bi bila učinkovita u smanjenju emisija stakleničkih plinova. Zato je Europska Komisija usvojila neobvezujuće preporuke za kriterije održivosti biomase koji se odnose na postrojenja od najmanje 1 MW instalirane toplinske ili električne energije:

- Zabrana korištenja biomase uzgojene na područjima prijašnjih šuma i drugih područja s velikim sadržajem pohranjenog ugljika te biomase uzgojene u područjima velike bioraznolikosti.
- Osigurati da biogoriva emitiraju barem 35% manje stakleničkih plinova (uzgoj, obrada, transport, itd.) u usporedbi s fosilnim gorivima. Kod novih se postrojenja ova brojka penje i do 50% u 2017. te 60% u 2018.
- Dati prednost nacionalnim programima potpore biogorivima za visoko učinkovita postrojenja.
- Potaknuti provjeru podrijetla sve biomase korištene u EU kako bi se osigurala njena održivost.

Biomasa predstavlja efikasan načina za postizanje 100% OIE u CTS-u u slučaju dovoljne i održive opskrbe. Također je OIE s najnižim investicijskim ulaganjima i dugoročnim troškovima.

6.6. Power-to-heat (P2H)

U regijama s visokim udjelima proizvodnje električne energije iz OIE, posebice iz vjetroturbina i fotonaponskih ćelija, višak električne energije iz OIE može se integrirati u toplinsku distribucijsku mrežu, pomoću toplinskih pumpi ili električnih kotlova.

Električni kotlovi izravno pretvaraju električnu energiju u toplinsku. Glavne komponente kotlova su elektrode koje su okružene vodom, te ako su elektrode uključene, električni otpor dovodi do zagrijavanja vode. Zatim se toplinska energija prenosi u CTS putem izmjenjivača topline. Druga vrsta električnih kotlova su protočni grijači gdje jedan ili više grijaćih

elemenata predaje toplinsku energiju struji vode. Snage protočnih grijača kreće se između 100 kW i 10 MW, a kotlova sa elektrodama između 5 i 50 MW.

Postoje različite vrste dizalica topline: kompresijske, apsorpcijske i adsorpcijske, ali kompresijske su najprimjerenije i najčešće korištene u CTS-u. Kao izvor topline mogu koristiti zrak, geotermalnu energiju, vodu ili otpadnu toplinu. Za razliku od električnih kotlova koji se najčešće koriste u svrhu balansiranja elektroenergetske mreže, dizalice topline se koriste za pokrivanje baznog opterećenja. Razlog za to su visoki investicijski troškovi i ovisnost o cijeni električne energije, koje su ujedno i glavne prepreke implementaciji toplinskih dizalica u CTS. Vršna potrošnja toplinske energije se onda mora pokriti drugim izvorom topline i zbog toga se dizalice topline rijetko primjenjuju kao jedina tehnologija proizvodnje toplinske energije u CTS-u.

6.7. Izazovi korištenja nisko-temperaturnih izvora energije u CTS-u

Prije nego se krene u bilo kakav projekt, bilo to izgradnja novog ili rekonstrukcija postojećeg CTS-a, potrebno je:

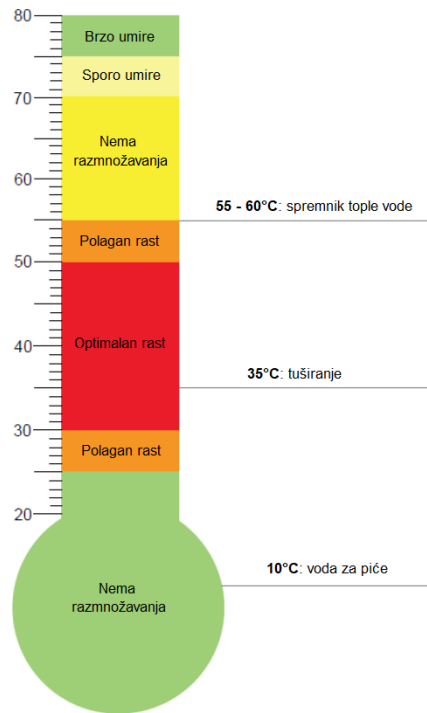
- imati saznanja o ponudi i potražnji za toplinskom energijom, te potencijalnim uštedama energije,
- odrediti koji OIE su najbolji za korištenje za tom području i koliko se toplinske energije može dobiti iz istih, te
- izraditi tehničko-ekonomsku analizu i na osnovu nje odrediti moguće scenarije.

Brojni su izazovi koji se javljaju pri implementaciji nisko-temperaturnih izvora topline. Glavni izazovi i moguća rješenja prikazani su u tablici 6-1.

Tablica 6-1. Glavni izazovi i moguća rješenja pri implementaciji nisko-temperaturnih izvora topline

Nisko-temperaturni izvor energije	Glavni izazovi	Moguća rješenja
Geotermalna energija	<p>Visoka ulaganja</p> <p>Rizik izrade bušotina</p> <p>Smanjenje proizvodnje tijekom vremena / pad temperature tijekom vremena</p> <p>Mogućnost korozije i nakupljanja kamenca</p>	<p>Provođenje opsežnih geoloških studija</p> <p>Izračun produktivnosti bušotina</p> <p>Monitoring proizvodnih karakteristika</p> <p>Obrada i održavanje temperature geotermalne vode iznad temperature zasićenja otopljenih tvari, redovito održavanje opreme</p>
Solarna termalna energija	<p>Sezonska razlika između dostupnosti i potražnje</p> <p>Visoka ulaganja</p> <p>Ograničena temperatura</p> <p>Zauzima velike površine</p>	<p>Korištenje ne samo za grijanje, nego i za pripremu potrošne tople vode</p> <p>Korištenje za hlađenje kada su ponuda i potražnja za grijanjem neusklađeni</p> <p>Korištenje skladišta toplinske energije</p> <p>Instalacija na krovove, spremnike, nekadašnja odlagališta za otpad i sl.</p>
Otpadna toplina	<p>Održivost</p> <p>Promjenjivi uvjeti opskrbe</p>	<p>Ugovori za osiguranje opskrbe</p> <p>Korištenje skladišta toplinske energije</p> <p>Kombiniranje priključaka za isporuku visoke temperature u dovodni vod i niže temperature u povratni vod</p>

Također, izazov nisko-temperaturnih sustava je osigurati minimalnu temperaturu potrošne tople vode u svrhu sprječavanja kontaminacije vode bakterijama *Legionella pneumophila*. Ove bakterije izazivaju bolesti dišnog sustava, najčešće atipične upale pluća i zato je iznimno bitno regulirati temperaturu vode. Na slici 6-7. prikazan je visok rizik od Legionelle pri temperaturi tople vode za kućanstvo 30 – 50°C. Legionella može postojati na temperaturama iznad 50 °C, ali je onemogućeno njihovo razmnožavanje. Postoje različiti načini kako se može spriječiti rizik od bakterije u potrošnoj toploj vodi, a oni uključuju toplinsku, kemijsku obradu ili fizikalnu obradu i druge alternativne metode. Takvi tretmani imaju za cilj ubijanje bakterija prisutnih u vodi ili sprječavanje širenja bakterije ograničavanjem razmnožavanja unutar sigurnosne granice.



Slika 6-7. Utjecaj temperature na razmnožavanje bakterije *Legionelle pneumophile* (IEA HPT, 2020)

6.8. Financijski smisao implementiranja OIE u CTS

Osim što se bave pružanjem vrlo važne usluge za javnost, toplinarstvo ipak čine poduzeća koja posluju na tržištu i teže ostvarenju dobiti. U tom kontekstu treba razgledati koje su financijske prednosti OIE i otpadne topline u odnosu na fosilna goriva:

- Razumni periodi povrata investicije, naročito operativni troškovi i troškovi održavanja;
- Ekonomično prilagođavanje potrebama i mogućnosti unaprjeđenja sustava primjenom modularnih tehnologija;
- Stabilni te pri tom jeftini ili besplatni OIE i otpadna toplina dostupni na lokalnoj razini;
- Cijene fosilnih goriva će se dugoročno povećati uslijed smanjivanja rezervi, povećanja troškova proizvodnje i obrade te uslijed ubrzavanja porasta cijene emisija u EU (KeepWarm, 2020).

Europska Unija, lokalne i državne vlasti također potiču veća ulaganja u OIE, te subvencijama stimuliraju rast korištenja OIE i otpadne topline, dok se subvencije za fosilna goriva ukidaju.

Banke također postavljaju sve strože uvijete za kreditiranje fosilnih goriva čime se financiranje projekata s fosilnim gorivima značajno otežava. Također su fosilna goriva i cijene emisijskih jedina u porastu što znači povećane operativnih troškove u CTS-ovima koji koriste fosilna goriva. Samim time dolazi do poskupljenja energije kod krajnjih kupaca. Implementiranjem OIE u CTS eliminirali bi se troškovi nabave fosilnih izvora i plaćanje emisijskih dozvola. Usporedba tehničkih karakteristika i financijskih podataka za CTS-ove koji koriste fosilna goriva i OIE prikazana je u tablici 6-2.

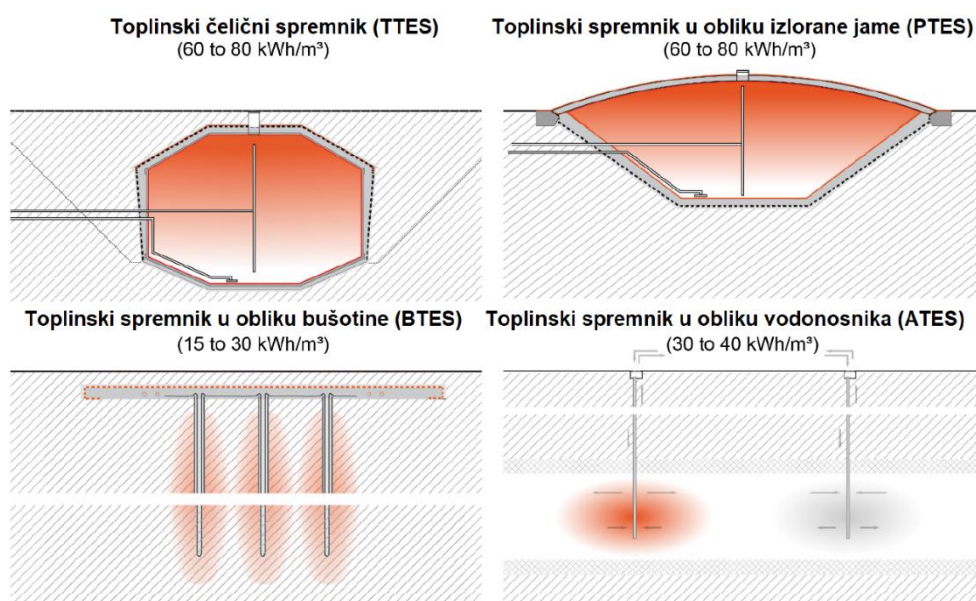
Tablica 6-2. Karakteristike mogućih izvora energije u CTS-u (KeepWarm, 2020)

	Snage postrojenja	Investicijski troškovi	O&M troškovi	Emisije stakleničkih plinova
Ugljen	1-100 MW	1.2- 2.8 M€/MW	1,5% investicije + 3 €/MWh troškovi goriva	320-400 kg/MWh
Loživo ulje	0,5-25 MW	0,5 M€/MW	2-5% investicije + (troškovi goriva)	250 kg/MWh
Prirodni plin	0,5-20 MW	0,5 M€/MW	3% investicije + 40 – 60 €/MWh (troškovi goriva)	180-220 kg/MWh
Biomasa	1-50 MW	0,3-0,7 M€/MW	1,8-3% investicije	/
Solarni kolektori	do 100 MW	200-500 €/m ²	1-3 €/MWh	/
Geotermalna energija	1-50 MW	0,7- 1,9 M€/MW	2,5% investicije	/
Dizalice topline	1-15 MW	0,35-0,85 M€/MW	2-3% investicije	/
Otpadna toplina		0,45-0,85 M€/MW	4% investicije	/

7. INTEGRACIJA POHRANE TOPLINSKE ENERGIJE U CTS

Potražnja za toplinskom energijom varira tijekom dana, a posebice je velika razlika između zimskih i ljetnih mjeseci. Samim time i opterećenje CTS-a konstantno varira, ali i cijena proizvodnje toplinske energije. Moguće rješenje ovog problema je integracija skladišta toplinske energije (TES, engl. *Thermal Energy Storage*) koji mogu biti manjih kapaciteta za pokrivanje vršne potrošnje ili sezonska skladišta većih kapaciteta.

Za pokrivanje vršne potrošnje najčešće se koriste izolirani spremnici pod atmosferskim tlakom, gdje se voda pohranjuje na temperaturi nešto nižoj od 100°C. Za pohranjivanje vode na temperaturama višim od 100°C koriste se spremnici pod tlakom te mogu pohraniti više toplinske energije od atmosferskih. Zbog visokih tlakova ovi spremnici podliježu strožim sigurnosnim propisima što rezultira visokim troškovima investicije i održavanja. Problemi nedovoljne pohrane toplinske energije kod atmosferskih spremnika i visoki troškovi spremnika pod tlakom mogu se smanjiti korištenjem dvozonskih spremnika gdje su gornja i donja zona odvojene fleksibilnim slojem. Zbog težine gornje zone, tlak u donjoj se povećava te je moguće skladištiti vodu na temperaturama većim od 100°C, dok je temperatura u gornjoj zoni niža. Ipak, za bolju i održivu integraciju OIE potrebno je u CTS implementirati sezonska skladišta topline. U posljednjih nekoliko desetljeća razvijena su i puštena u rad četiri glavna koncepta velikih podzemnih toplinskih spremnika koji su prikazani na slici 7.1. (Rutz et al., 2019).



Slika 7-1. Različite vrste podzemnih skladišta topline (Rutz et al., 2019)

Kod čeličnog spremnika konstrukcija se izrađuje od betona i čelika ili vlaknima ojačane plastike. S unutarnje strane se postavlja sloj od polimera ili nehrđajućeg čelika kako bi se spriječilo prodiranje vlage, dok se toplinska izolacija postavlja na vanjsku stijenku spremnika.

Spremnik u obliku izolirane jame izrađuje se tako da se u iskopanu jamu postavlja nepropusna obloga. Najskuplji i najzahtjevniji dio je izrada pokrovnog dijela koji većinom nije poduprt nosivom konstrukcijom nego pluta na vodi. Temperature u ovakvim spremnicima kreću se do 80 – 90°C.

Kod spremnika u obliku bušotina, toplinska energija se pohranjuje u geološke formacije, na dubina između 30 i 100 m. Za pohranu i crpljenje toplinske energije koriste se izmjenjivači topline koji mogu biti u obliku jednostruke ili dvostruke U cijevi, ili koncentričnih cijevi koji mogu biti izrađene od čelika ili sintetičkih materijala.

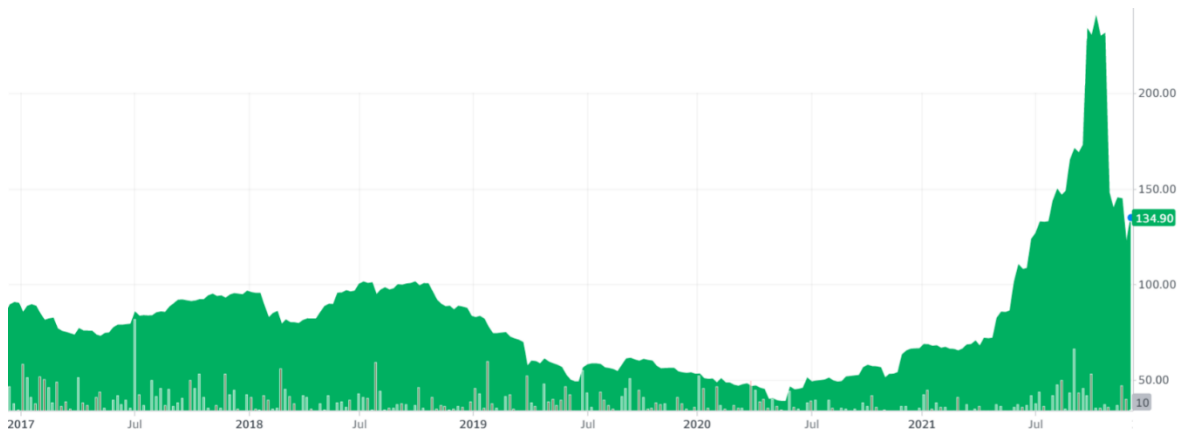
Toplinsku energiju moguće je skladištiti i u podzemne vodonosnike ako postoje nepropusni slojevi koji okružuju vodonosnik. U ovom slučaju potrebne su barem dvije bušotine, jedna proizvodna, a druga utisna. Toplinska energija bi se pohranjivala na način da se iz hladnog vodonosnika proizvodi hladna voda te se zagrijava i ubrizgava u topli vodonosnik te suprotno za pohranu rashladne energije.

8. FOSILNA GORIVA U CTS-U

Cijene toplinske energije iz CTS-a uvelike ovise o cijeni energenta iz kojeg se toplinska energija proizvodi. Kod fosilnih goriva koja se danas najčešće upotrebljavaju cijene su volatilne, s oscilacijama između +200% i -80% u prošlom stoljeću. Promijene cijena fosilnih goriva povezane su sa makroekonomskim uvjetima i geopolitičkim odnosima. Iako cijene fosilnih goriva lako osciliraju, u prosijeku se smatra da će cijene u budućnosti rasti te će sustavi koji koriste fosilna goriva imati puno veće varijabilne troškove, ne samo zbog veće cijene goriva, nego i zbog povećanja cijena emisijskih dozvola.

8.1. Ugljen

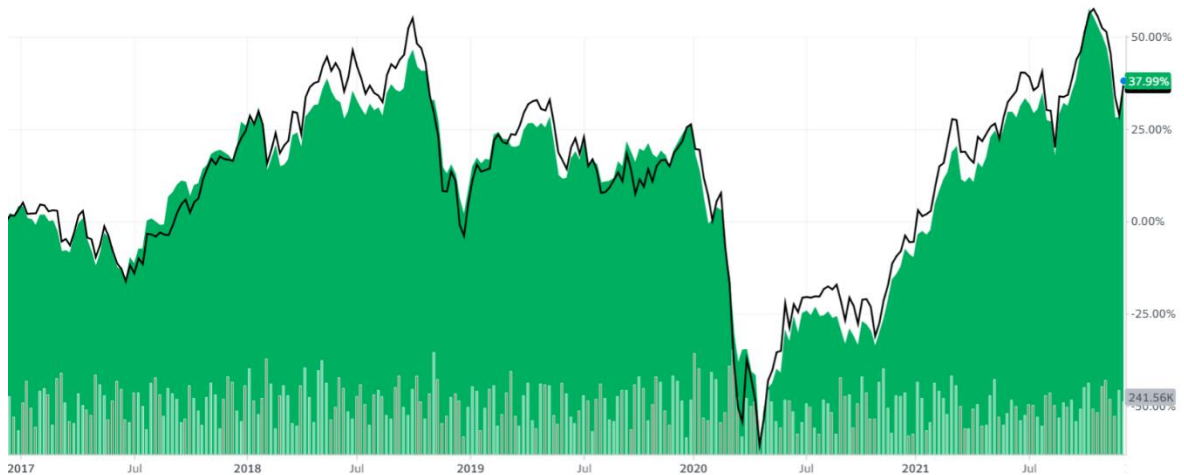
Iako su postrojenja na ugljen najvećih nazivnih snaga, također su i najveći emiteri emisija stakleničkih plinova. Upravo je to razlog zašto se danas u CTS-u rijetko koristi ugljen, te se u preostalim radnim postrojenjima ugljen zamjenjuje prirodnim plinom ili nekim drugim izvorima energije. Cijene ugljena imale su trend porasta do 2019. godine kada je cijena počela padati. Pad cijene pripisuje se smanjenju potražnje za električnom energijom iz ugljena kojeg sve više zamjenjuje prirodni plin, smanjenju proizvodnje čelika za koji se koristi ugljen, te se u EU postrožuju propisi o fosilnim gorivima i sve više koriste OIE. Porast cijena u 2021. godini posljedica je porasta potražnje za ugljenom zbog oporavka industrije od pandemije, posebice na azijskom tržištu. U listopadu 2021. cijena ugljena dosegla je najveću cijenu ikada, 269,50 \$/t. Razlog tomu je situacija u Kini koja je imala visoku potražnju za energijom, a manjak opskrbe ugljenom. Osim toga, Kineska zabrana Australskog ugljena nije pomogla njezinoj situaciji, kao ni plinska kriza u Europi koja je povećala oslanjanje na ugljen. Nakon najviše cijene u povijesti, dogodio se i najveći pad unazad pet godina te se očekuje i daljnji pada cijena ugljena.



Slika 8-1. Cijena futures ugovora ugljena unazad pet godina na dan 10.12.2021. [\$/t] (www.finance.yahoo.com, 2021)

8.2. Loživo ulje

Iako se izgaranjem loživog ulja emitira manje emisija nego izgaranjem ugljena, ono se sve više izbacuje iz uporabe u CTS-ovima. Većinom se upotrebljava kao drugo gorivo u CTS-ovima koji koriste prirodni plin. Cijena loživog ulja prati cijenu nafte što je vidljivo na slici 8-2.



Slika 8-2. Cijena futures ugovora loživog ulja unazad pet godina u usporedbi sa cijenom nafte Brent na dan 10.12.2021. [lož ulje \$/100 l, nafta \$/barrel] (www.finance.yahoo.com, 2021)

8.3. Prirodni plin

Obzirom da emitira najmanje emisija u usporedbi sa drugim fosilnim gorivima, prirodni plin je danas prihvatljivi izvor energije te se smatra tranzicijskim gorivom. Najveći broj CTS-a koristi prirodni plin za proizvodnju energije. Cijene prirodnog plina su izuzetno promjenjive, a postoje i velike razlike ovisno na kojem tržištu se kupuje. Na slici 8-3. prikazane su cijene prirodnog plina na nizozemskom plinskom čvorištu TTF. Cijena plina prati cijenu nafte, ali je također jako podložna izmjenama uslijed geopolitičkih promjena. Povećanje cijene plina u listopadu 2021. godine uzrokovano je brojnim čimbenicima: povećana potražnja, hladnija i duža zima 2020. godine što je smanjilo zalihe u skladištima i ovisnost o uvozu plina iz Rusije koja je 2021. ograničila zalihe za Europu. Također, male brzine vjetera i male količine padalina čime se smanjila proizvodnja energija iz OIE te udaljavanje od korištenja ugljena ostavilo je prirodni plin kao dominantni energent za proizvodnju energije.



Slika 8-3. Cijena futures ugovora prirodnog plina na TTF-u unazad pet godina na dan 10.12.2021. [\$/MMBtu] (www.finance.yahoo.com, 2021)

8.4. Cijene emisija CO₂

Jedan od načina na koji se EU bori protiv klimatskih promjena je EU ETS (engl. *EU Emissions Trading System*). EU ETS je glavni mehanizam Europske unije u njezinim naporima da ispune ciljeve smanjenja emisija sada i u budućnosti. Navedeni sustav uspješno se primjenjuje od 2005. godine, a temelji se na trgovini emisijama po principu „cap and trade“. Trguje se na način da se postavi granica ili ograničenje (engl. *cap*) količine emisija koje će biti regulirane te se svakoj kompaniji ili postrojenju koja je uključena u sustav trgovanja emisijama, dodjeljuje ili prodaje određena količina dozvola za emitiranje. Jedna

dozvola odnosi se za emitiranje jedne tone CO_{2eq}, a izdaju se jednom godišnje. Kompanije mogu međusobno trgovati emisijskim dozvolama, a na kraju godine ne smiju imati emisije veće nego što imaju dozvola. Ukoliko su emisije na kraju godine veće nego što kompanije posjeduju dozvola, moraju platiti kaznu za prekoračenje ili kupiti dozvole od kompanija koje na kraju obračunskog razdoblja imaju višak dozvola. U oba slučaja trošak je veći nego da se na vrijeme trgovalo emisijama. Sva postojanja veća od 20 MW u kojima dolazi do sagorijevanja uključeni su u EU ETS, što znači da CTS-ovi koji odgovaraju ovim karakteristikama su također podložni sustavu trgovanja emisijama. Slika 8-4. prikazuje cijenu rasta emisijskih dozvola (engl. *European Union Allowance, EUA*) kojima se trguje na burzi.



Slika 8-4. Cijena emisijskih dozvola u EU, EUA [€/t] (www.barchart.com, 2021)

U 2021. godini vidi se značajan rast cijena emisijskih dozvola. U prosincu 2020. cijena dozvola prvi put je prešla 31 €/t, krajem kolovoza 2021. prešla je 60 €/t, a u prosincu se popela do 88,97 €/t. Do naglog povećanja cijena emisijskih dozvola došlo je zbog značajnog povećanja cijena prirodnog plina čime je proizvodnja energije iz ugljena postala isplativija. Povećanjem cijena emisijskih jedinica reakcija je na povećanu uporabu ugljena. Cijena emisijskih jedinica uvelike utječe na isplativost rada postrojenja. Zajedno sa troškovima goriva one čine varijabilne troškove postrojenja. U ovisnosti koja goriva postrojenja koriste za proizvodnju energije imaju veće ili manje varijabilne troškove. Obzirom da ugljen od svih fosilnih goriva emitira najviše CO₂ emisija, time će i cijene naknade za emisije biti najveće.

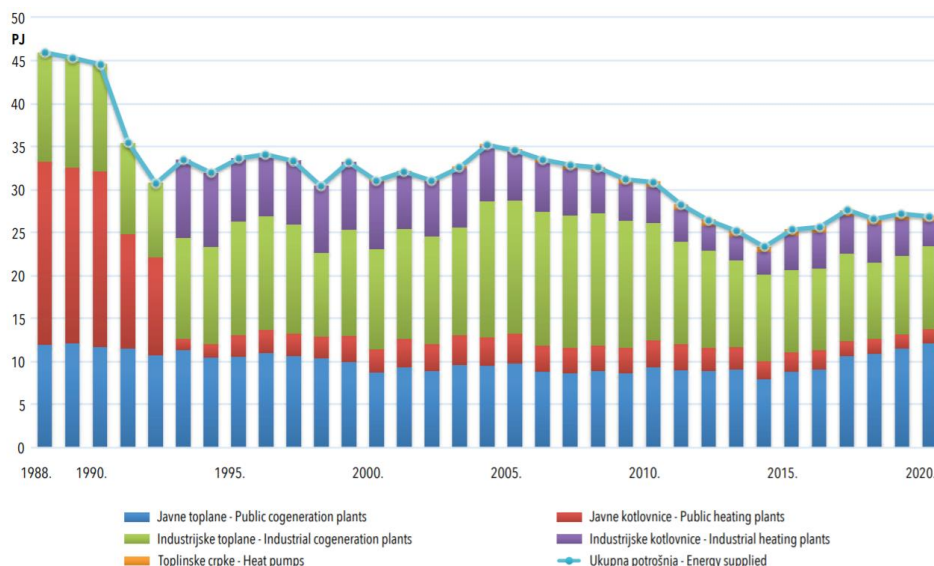
Slijede ga loživo ulje te prirodni plin kao najčišće fosilno gorivo. U tablici 8-1. se nalaze prosječne emisije stakleničkih plinova za postrojenja na ugljen, loživo ulje i prirodni plin te izračunata prosječna naknada za svako postrojenje u ovisnosti o cijeni CO₂ emisijskih dozvola. Također je vidljivo je da je cijena emisijskih dozvola u samo mjesec dana (8.11.2021. – 8.12.2021) porasla za 46,6% što je značajan porast.

Tablica 8-1. Naknada za emisije za postrojenja na fosilna goriva

	Prosječne emisije stakleničkih plinova, kg/MWh	Naknada za postrojenja za cijenu od 60,7 €/t (8.11.2021.), €/MWh	Naknada za postrojenja za cijenu od 88,97 €/t (8.12.2021.), €/MWh
Ugljen	320 – 400	19,4 – 24,28	28,5 – 35,6
Lož ulje	250	15,2	22,2
Prirodni plin	180 – 220	10,9 – 13,4	16,0 – 19,6

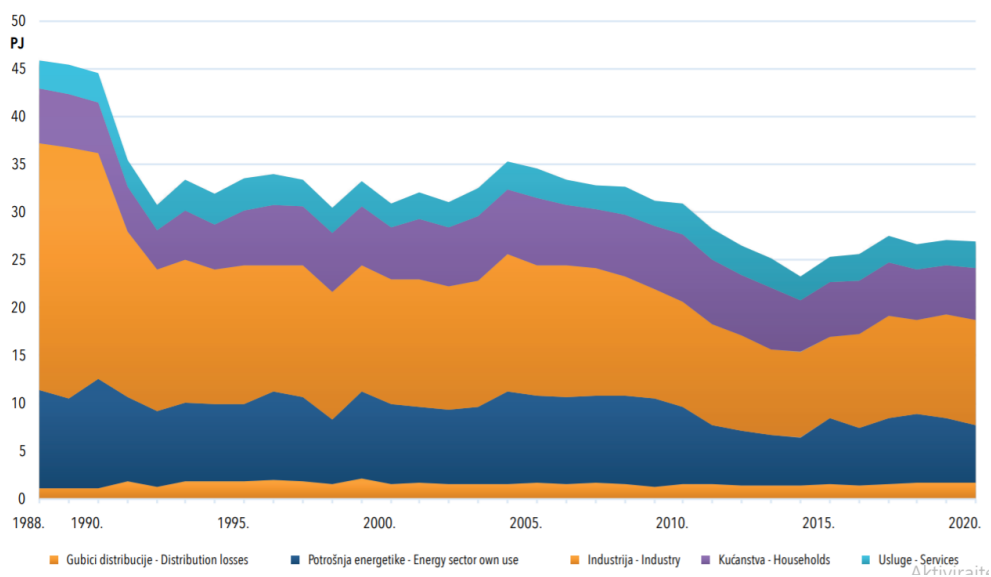
9. CTS U HRVATSKOJ

Ukupna proizvodnja toplinske energije u 2018. godini iznosila je 26 613 PJ, što je pad od 3,5% u odnosu na 2017. godinu, dok se u 2019. godini proizvodnja lagano povećala te u 2020. iznosila 26 905 PJ.



Slika 9-1. Proizvodnja toplinske energije u Hrvatskoj (EIHP, 2020)

Distribucijski gubici u 2018. bili su 1,689 PJ, tj 6,35% ukupno proizvedene toplinske energije dok su u 2020. gubici zanemarivo smanjeni na 1,672 PJ. Najveći udio toplinske energije koristio se u industriji, kućanstvu, javnim uslugama te poljoprivredi (slika 9-2.).

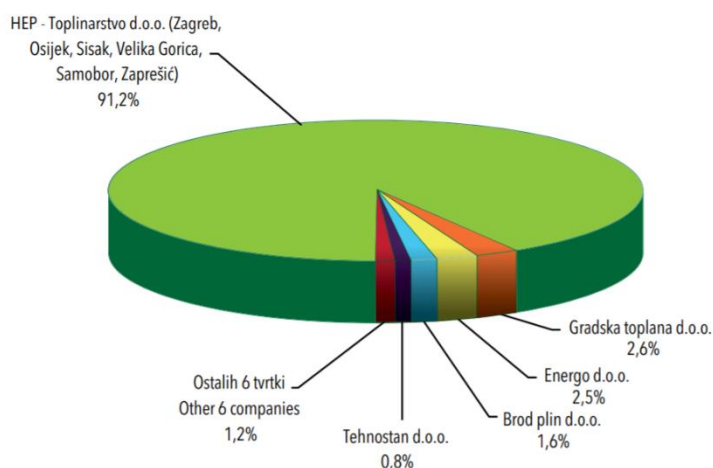


Slika 9-2. Struktura potrošnje toplinske energije u Hrvatskoj (EIHP, 2018)

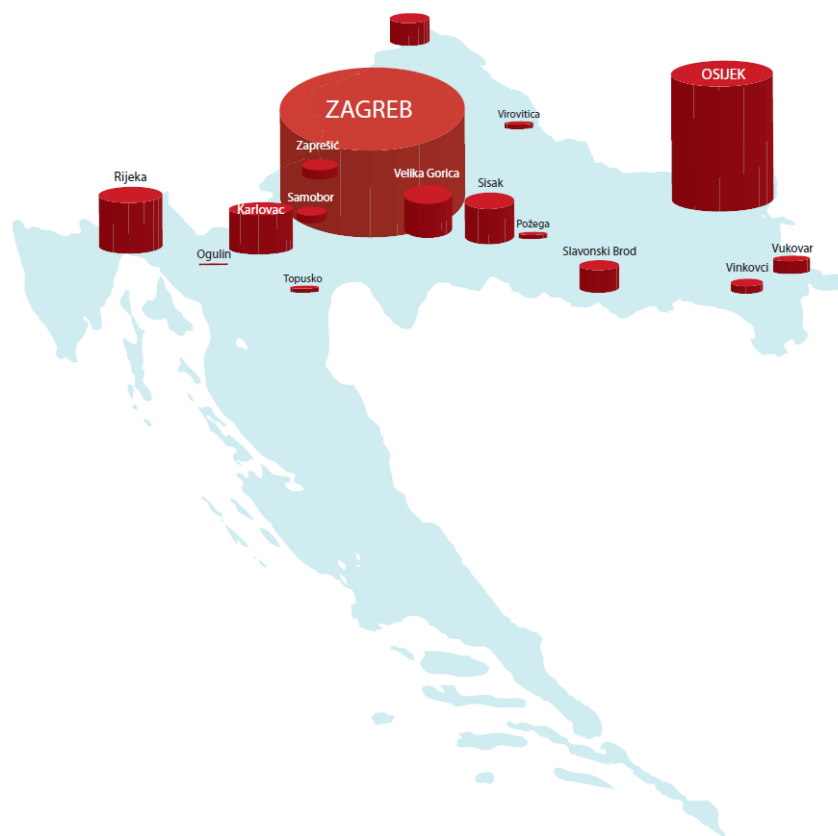
U Hrvatskoj 2018. godine oko 15% toplinske energije proizvedeno je u CTS-u. Ukupni kapacitet CTS-a iznosio je 2 221 MT_t (Euroheat & Power, 2020). Jedanaest tvrtki bavilo se proizvodnjom, distribucijom i opskrbom toplinske energije od čega HEP – Toplinarstvo drži 85% tržišnog udjela u sektoru toplinarstva. Usluge grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode iz CTS-a koristilo je više od 156 000 krajnjih kupaca, pri čemu više od 95% pripada kategoriji kućanstva (EIHP, 2018). Točnije, u 2019. godini 435 870 stanovnika Republike Hrvatske koristilo je grijanje iz CTS-a (Euroheat & Power, 2020). Udio potrošača prema kategoriji prikazan je na slici 9-5.

U Zagrebu, Osijeku i Sisku toplinska energija proizvodi se u kogeneracijskim postrojenjima te se osim toplinske energije za grijanje i pripremu potrošne tople vode u kućanstvima, isporučuje i tehnološka para za potrebe industrije. U drugim područjima postoje mini toplane ili blokovske kotlovnice za pojedina naselja. Toplinska energija se zatim distribuira vrelvodima/toplovodima/parovodima ukupne duljine oko 440 km do toplinskih stanica gdje se predaje potrošačima. U 2020. godini u Hrvatskoj isporučeno je oko 2,05 TWh toplinske energije, od čega je oko 80% iz kogeneracijskih postrojenja. Ukupna toplinska energija iz OIE u 2020. godini iznosila je 49 890,7 TJ, a proizvodila se iz energije sunca, biomase i geotermalne energije (EIHP, 2020).

Osnovi podaci o energetske subjektima u sektoru toplinarstva prikazani su u tablici 9-1., a udjeli isporučene energije pojedinih tvrtki prikazan je na slici 9-4.



Slika 9-3. Udjeli isporučene toplinske energije pojedinih tvrtki u 2018. godini (EIHP, 2018)



Slika 9-4. Centralni toplinski sustavi u Republici Hrvatskoj (EIHP, 2018)

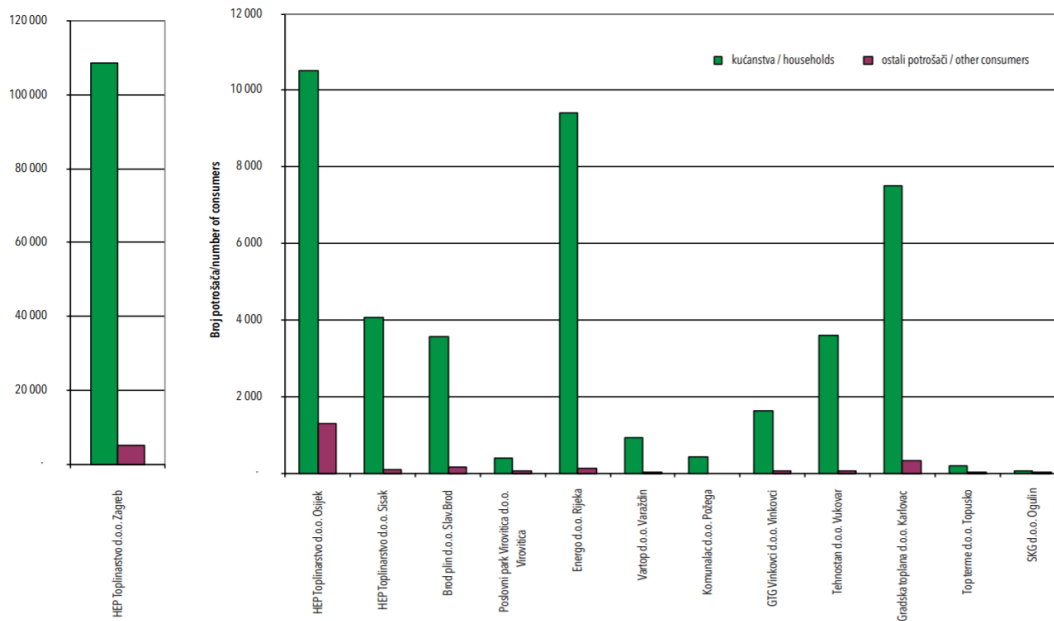
Tablica 9-1. Osnovni podaci o važnijim energetske subjektima u sektoru toplinarstva Republike Hrvatske (EIHP, 2020)

Tvrta, Grad Company, Town		Ukupan broj potrošača	Grijana površina kućanstava	Grijana površina ostalih potrošača	Ukupno isporučena toplinska energija	Ukupna duljina distribucijske mreže	Gorivo**
		Total number of consumers	Heated area - households	Heated area - other consumers	Total heat delivered	Total length of distribution network	Fuel**
		-	m ²	m ²	MWh	km	-
HEP - Toplinarstvo d.o.o.*	Sisak	4 152	n/p	n/p	117 075	30,00	PP; B
	Osijek	11 809	613 763	n/p	214 936	56,99	PP, B, LU, LUEL
	Zagreb***	113 667	5 908 924	n/p	1 539 983	300,16	PP, LU, LUEL
Brod plin d.o.o.	Slavonski Brod	3 711	173 649	15 834	31 016	5,48	PP; S
Poslovni park Virovitica d.o.o.	Virovitica	444	21 988	6 323	4 267	0,90	PP
Energo d.o.o.	Rijeka	9 565	515 219	72 246	50 556	15,77	PP, LU, LUEL
Vartop d.o.o.	Varaždin	945	46 983	2 003	5 550	1,57	PP
Komunalac d.o.o.	Požega	417	19 839	-	1 948	0,61	PP
GTG Vinkovci d.o.o.	Vinkovci	1 675	85 413	2 760	8 121	1,60	PP, LU
Tehno stan d.o.o.	Vukovar	3 653	186 839	17 830	17 659	7,00	PP, LUEL, PEL, S
Gradska toplana d.o.o.	Karlovac	7 835	398 164	105 011	51 000	21,00	PP
Top-terme d.o.o.	Topusko	201	9 056	13 844	3 746	1,50	GEO
SKG d.o.o.	Ogulin	90	3 586	2 897	856	0,58	LUEL
Sveukupno Total		158 164	7 983 423	238 747	2 046 713	443	

* Uključuje i isporuku tehnološke pare | Also included is delivered process steam

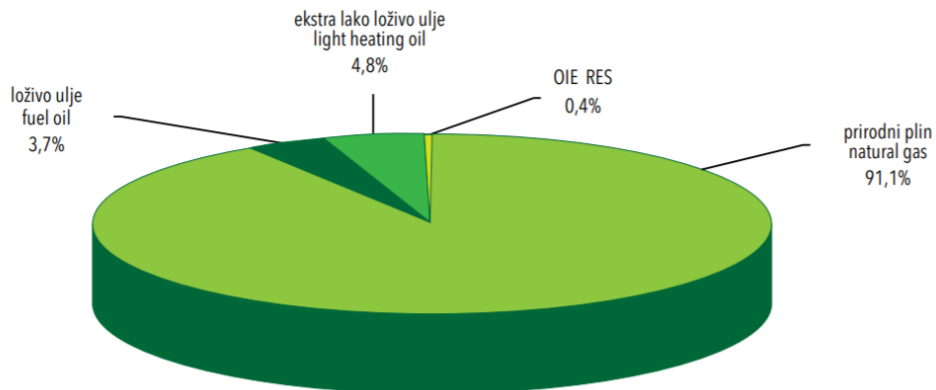
** PP-prirodni plin | natural gas, B-šumska biomasa | forest biomass, LU-loživo ulje | fuel oil, LUEL-ekstralako loživo ulje | light heating oil, PEL-peleti | pellets, GEO-geotermalna | geothermal

*** HEP Toplinarstvo Zagreb uključuje Veliku Goricu, Zaprešić i Samobor | HEP Toplinarstvo Zagreb also includes Velika Gorica, Zaprešić and Samobor



Slika 9-5. Broj potrošača toplinske energije prema kategoriji potrošača (EIHP, 2020)

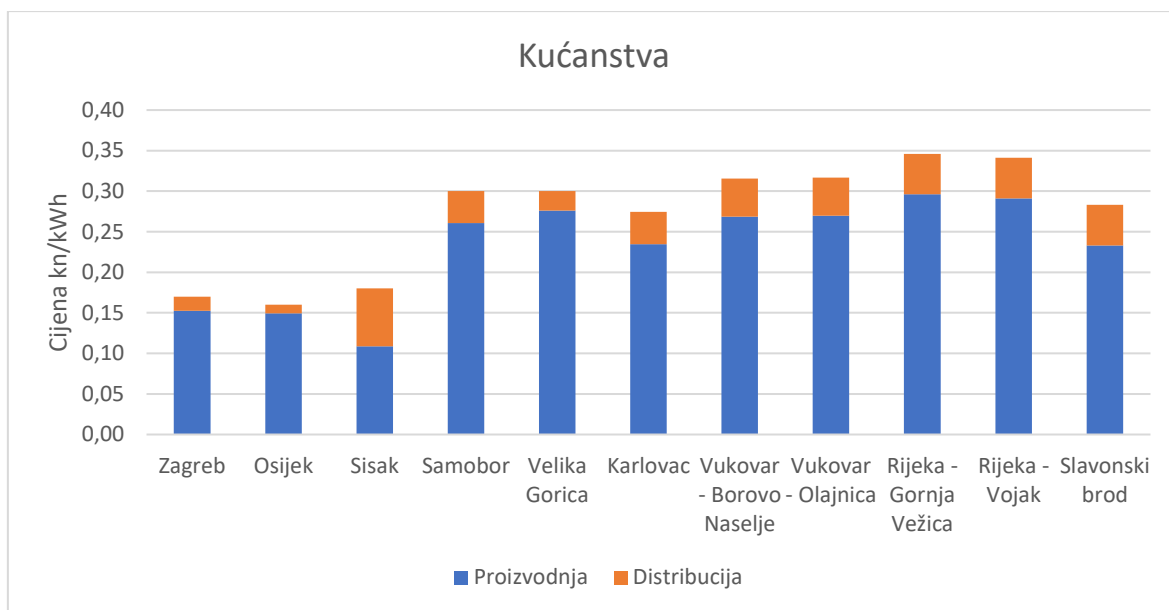
U Hrvatskoj se u centralnim toplinskim sustavima većinom koristi prirodni plin, u manjim postotcima loživo ulje te manje od jedan posto OIE, slika 9-6.



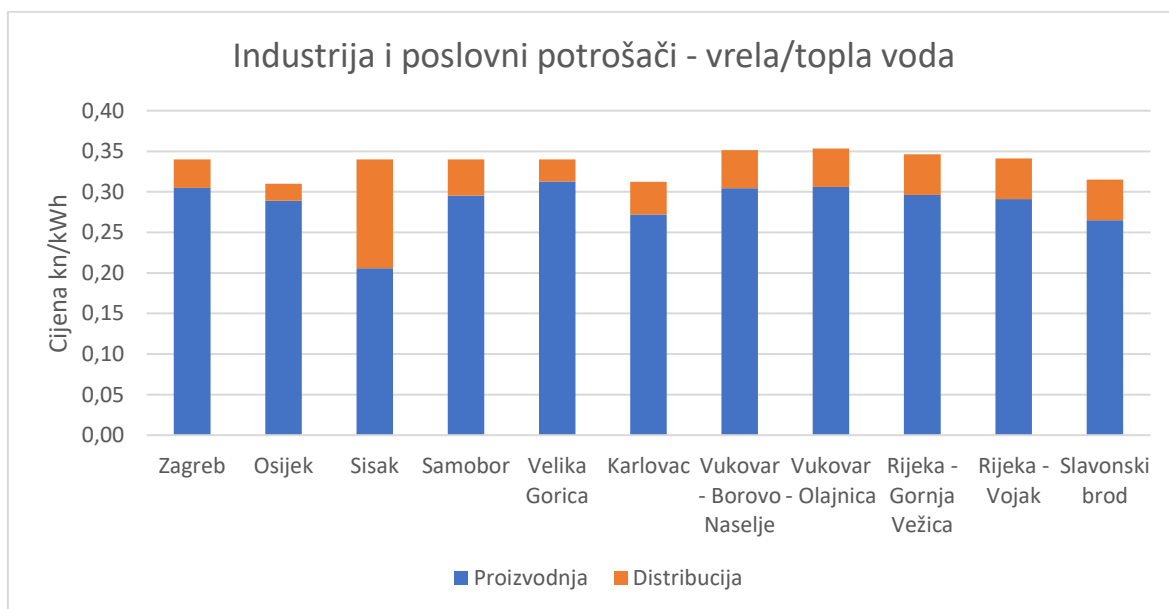
Slika 9-6. Udio goriva za proizvodnju toplinske energije u toplinskim sustavima u 2018. godini (ne uključuje toplinsku energiju proizvedenu u kogeneracijskim postrojenjima) (EIHP, 2020)

Cijene toplinske energije u CTS-ovima u Hrvatskoj se dosta razlikuju. Prvenstveno cijene ovise o kategoriji kupaca. Razlikujemo kategoriju kućanstva, industrija i poslovni potrošači koji se opskrbljuju vrućom vodom te industrija i poslovni potrošači koji se opskrbljuju tehnološkom parom. Cijena toplinske energije sastoji se od cijene za proizvodnju i

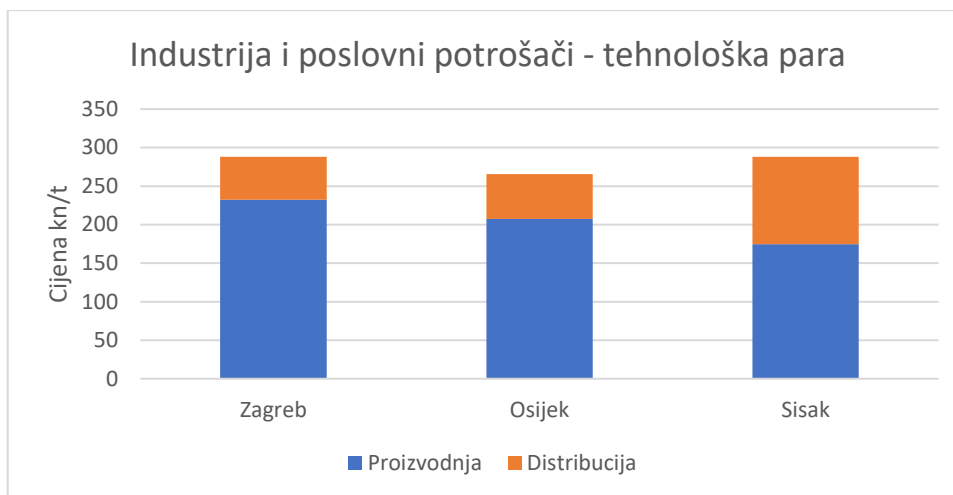
distribuciju energije, a osim potrošene toplinske energije krajnji kupci još plaćaju naknadu za djelatnost opskrbe. Najskuplju toplinsku energiju u kategoriji kućanstvo imaju krajnji korisnici u Rijeci, dok je najjeftinija u Osijeku (slika 9-7.).



Slika 9-7. Cijene toplinske energije za kućanstvo u različitim CTS-ovima (prema www.brod-plin.hr, www.energo.hr, www.gradska-toplana.hr, www.hep.hr/toplinarstvo, www.tehno stan-vukovar.hr, 2021)

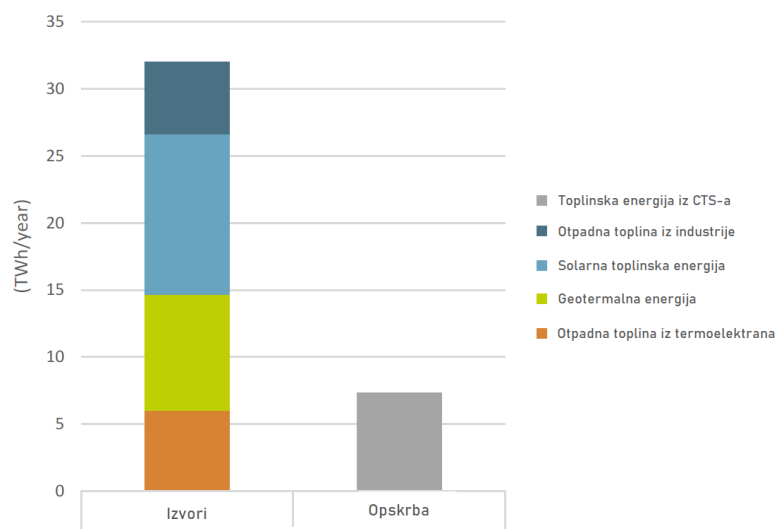


Slika 9-8. Cijene toplinske energije za industriju i poslovne potrošače u različitim CTS-ovima (prema www.brod-plin.hr, www.energo.hr, www.gradska-toplana.hr, www.hep.hr/toplinarstvo, www.tehno stan-vukovar.hr, 2021)



Slika 9-9. Cijena tehnološke pare u Zagrebu, Osijeku i Sisku (prema www.hep.hr/toplinarstvo, 2021)

Hrvatska ima veliki potencijal korištenja OIE za grijanje i CTS. Prema projektu Stratego u Hrvatskoj je dostupno četiri puta više obnovljivih izvora i otpadne topline nego što je potrebno za zadovoljavanje visokih razina opskrbe u CTS-u (slika 9-10.). Međutim, ti resursi mogu se iskoristiti samo ako je uspostavljena distribucijska mreža za povezivanje tih resursa s krajnjim korisnikom.



Slika 9-10. Potencijal OIE i otpadne topline za grijanje u Hrvatskoj u odnosu na opskrbu CTS-a (STRATEGO, 2015b)

Brojni su izazovi kada je u pitanju budućnost i dekarbonizacija CTS-a u Hrvatskoj. Prvi problem je distribucijska mreža koja je zastarjela i neučinkovita. Gubici ogrjevne topline u CTS-ovima iznose približno 14%, dok su gubici tehnološke pare oko 25% (MZOE, 2020).

To je jasan pokazatelj da su potrebne značajne investicije u obnovu i modernizaciju. Također, nedostatak energetske planiranja i legislativnog okvira otežava dekarbonizacija sustava. U tablici 9-2. prikazana je SWOT analiza CTS-a u Hrvatskoj.

Tablica 9-2. SWOT analiza CTS-a u Hrvatskoj (prema Rutz et al., 2019)

<p>Snage</p> <ul style="list-style-type: none"> • Veliki udio CTS-a u proizvodnji toplinske energije • Niske cijene krajnjih korisnika • Dobri primjeri obnove distribucijskih sustava (Sisak, Zagreb, ...) • Dobri primjeri korištenja OIE (Pokupsko, Vukovar, Sisak, Osijek) 	<p>Slabosti</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stara i neučinkovita distribucijska mreža • Stari i nedostatni kapaciteti proizvodnje energije • Veliki udio fosilnih goriva • Visoke temperature • Mali udio korištenja topline za pripremu potrošne tople vode
<p>Mogućnosti</p> <ul style="list-style-type: none"> • Veliki potencijal za OIE (najviše biomasa, solarna i geotermalna energija) • Liberalizirano i deregulirano tržište • Mogućnost dobivanja potpora za visokoučinkovite kogeneracije 	<p>Prijetnje</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stare i energetske neučinkovite zgrade • Vertikalno položene cijevi u zgradama • Loša percepcija CTS-a u javnosti • Nedostatak zakonskih propisa na lokalnoj razini • Neadekvatna mjerenja i kontrola • Nedostatak strategije za razvoj CTS-a

Prema strategiji energetske razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu, preduvjeti za prelazak na nisko-temperaturne centralne toplinske sustave su:

- intenzivna obnova i tehnološko unaprjeđenje postojećih sustava,
- obnovljene i energetske učinkovite zgrade,
- povećanje udjela OIE, prvotno sve oblike biomase i geotermalne energije,
- korištenje otpadne topline,
- distribuirana proizvodnja toplinske energije,
- priključivanje novih potrošača i
- korištenje skladišta toplinske energije.

Također, potrebno je razmotriti procedure i troškove za prelazak na nisko-temperaturni CTS.

Obzirom na relativno nizak stupanj dana hlađenja, u Hrvatskoj se nisu razvijali centralni rashladni sustavi, osim u specifičnom slučaju apsorpcijskog hlađenja tehnološkom parom iz parovoda distribucijskog sustava toplinarstva za jedan kliničko-bolnički centar. Potencijal postoji većinom za javni i uslužni sektor te industriju, posebice za korištenje otpadne topline za hlađenje, a manji potencijal za sektor kućanstva. Dugoročno za grad Zagreb postoji projekt od strane HEP d.o.o. za izgradnju rashladnog sustava zajedno sa implementacijom dizalica topline kako bi se smanjili gubici na dimnjacima i gubici zbog kondenzacije.

Pokazatelji potencijala za primjenu visokoučinkovite kogeneracije i učinkovitih centralnih toplinski sustava prikazani su u tablici 9.3.

Tablica 9-3. Potencijali za primjenu visokoučinkovite kogeneracije i učinkovitog centraliziranog grijanja i hlađenja (MZOE, 2019)

Pokazatelj	Jedinica	Konzervativni scenarij, 2030. god.	Optimistični scenarij, 2030. god.
Ukupni toplinski konzum (teorijske toplinske potrebe u 2030. god.)	GJ	18.312.866	29.982.128
	MWh	5.086.907	8.328.369
Potrebni toplinski kapacitet (teorijski)	MW _t	3.178	5.262
Udio potrošača na CTS-u	%	30,1	55,0
Ekvivalentni toplinski konzum	GJ	5.506.528	16.625.599
	MWh	1.529.591	4.618.222
Ekvivalentni toplinski kapacitet	MW _t	956	2.903
Potencijalno proizvedena električna energija	GJ	8.653.115	26.125.941
	MWh	2.403.643	7.257.206

9.1. Projekti obnove i modernizacije CTS-a

Obzirom na prethodno navedene nedostatke centralnih toplinskih sustava u Hrvatskoj, unaprjeđenje i obnova su ključni za njihov isplativ i održiv rad. KeepWarm jedan je od projekata financiran od strane EU kako bi se ubrzalo ulaganje u modernizaciju CTS-a što bi rezultiralo smanjenjem emisija stakleničkih plinova poboljšanjem rada sustava i zamjena fosilnih goriva sa OIE. Projekti izrađeni za Hrvatsku odnose se na CTS Velika Gorica, Samobor, Zaprešić i Zagreb te su svi pod vlasništvom HEP – Toplinarstva.

9.1.1. CTS Velika Gorica

Centralni toplinski sustav u Velikoj Gorici u pogonu je od 1984. godine, a toplinska energija koja se prenosi vrelom vodom do krajnjih korisnika proizvodi se sagorijevanjem prirodnog plina i ekstra lakog loživog ulja. Više informacija o CTS-u Velika Gorica nalazi se u tablici

9-7. Projekt obnove sastoji se od integracije solarne energije i optimizacije sustava. Studijom isplativosti izrađena su dva scenarija te bi se u oba solarni paneli postavili na krov metalne konstrukcije. Detalji su navedeni u tablici 9-4.

Tablica 9-4. Scenariji izgradnje solarnih kolektora za CTS Velika Gorica (prema KeepWarm, 2020)

	Scenarij 1	Scenarij 2
Površina solarnih kolektora	300 m ²	500 m ²
Godišnja proizvodnja	198 MWh	1009 MWh
Udio u godišnjoj proizvodnji	4.3%	21%
Smanjenje CO ₂ emisije	74 t/god	369 t/god
Smanjenje potrošnje	28 975 l/god	144 304 l/god

Ukoliko bi se implementirao scenarij 2 udio OIE u CTS-u povećao bi se na 3%, tj. omjer energije iz OIE i fosilnih goriva iznosio bi 1:32,3. Potrebna investicija iznosi 26 250 000 kn (3 500 000 €), a period povrata je 10,1 godina. Problem ovog scenarija je što se ne odnosi na smanjenje gubitaka u sustavu, a ukoliko se želi postići još veća solarna frakcija potrebno je implementirati spremnik topline.

9.1.2. CTS Samobor

Kao i kod CTS-a Velika Gorica, i u CTS-u Samobor se toplina vrelom vodom prenosi do krajnjih potrošača. Za proizvodnju toplinske energije koristi se plin, a samo postrojenje sastoji se od 6 kotlova. Više detalja o CTS-u Samobor nalazi se u tablici 9-7. U sustavu CTS-a Samobor nalaze se dvije kotlovnice: Slavonska i Hebrangova. Lokacija Hebrangove kotlovnice izabrana za projekt integracije solarne energije. Informacije o mogućim scenarijima navedene su u tablici 9-5.

Tablica 9-5. Scenariji izgradnje solarnih kolektora za CTS Samobor (prema KeepWarm, 2020)

	Scenarij 1	Scenarij 2
Površina solarnih kolektora	180 m ²	840 m ²
Godišnja proizvodnja	121 MWh	565 MWh
Udio u godišnjoj proizvodnji	3%	15%
Smanjenje CO ₂ emisije	42 t/god	198 t/god
Smanjenje potrošnje	16 522 m ³ /god	77 570 m ³ /god

Solarni kolektori bi se u ovom slučaju postavili na krov sportske dvorane Samobor. Ukoliko se ne bi mogli postaviti na krov sportske dvorane postoji mogućnost integracije na zelenu površinu pokraj dvorane. Također postoji mogućnost povezivanja s drugim projektima HET – Toplinarstva koji bi omogućili integraciju toplinskog spremnika i pametne podstanice te priključivanje srednje škole na toplinsku mrežu.

9.1.3. CTS Zaprešić

CTS Zaprešić sastoji se od četiri kotlovnice: Mokrička – Mihanovićeve, Trg mladosti, Pavla Lončara, Trg žrtava fašizma, a u pogonu je od 1984. godine. Toplinska energija prenosi se vrelom vodom, a proizvodi se iz prirodnog plina i ekstra lakog loživog ulja. Ostali detalji navedeni su u tablici 9-7. Projekt obnove se također odnosi na implementaciju solarnih kolektora u CTS. Solarni kolektori postavili bi se na lokaciji kotlovnice Mokrička – Mihanovićeve, na zelenu površinu pored kotlovnice. Informacije o mogućim scenarijima nalaze se u tablici 9-6.

Tablica 9-6. Scenariji izgradnje solarnih kolektora za CTS Zaprešić (prema KeepWarm, 2020)

	Scenarij 1	Scenarij 2
Površina solarnih kolektora	520 m ²	2 760 m ²
Godišnja proizvodnja	350 MWh	1 850 MWh
Udio u godišnjoj proizvodnji	4,3%	23%
Smanjenje CO ₂ emisije	108 t/god	570 t/god
Smanjenje potrošnje	42 320 m ³ /god	224 088 m ³ /god

Kao u prethodnim slučajevima, integracijom spremnika topline omogućila bi se veća integracija solarnih kolektora u CTS-u Zaprešić.

Tablica 9-7. Informacije o CTS-ovima Velika Gorica, Samobor, Zaprešić i Zagreb

	CTS Velika Gorica	CTS Samobor	CTS Zaprešić	CTS Zagreb
Početak rada	1984.	1986.	1984.	1954.
Izvor energije	Prirodni plin, ekstra lako loživo ulje	Prirodni plin	Prirodni plin, ekstra lako loživo ulje	Prirodni plin
Duljina mreže	9 836 m	3 081	2 368	271 395
Broj korisnika	5 902	1 263	2 372	99 004
Zakupljena snaga	46 275 kW	9 525	15 172 kW	1 186 815 kW
Snaga proizvodnih jedinica	69 612 kW	16 600 kW	20 360 kW	1 378 000 kW
Broj kotlova	33	6	19	
Efikasnost kotlovnica	78,55%	82%	82,5%	
Efikasnost distribucijske mreže	89,91%	92%	96%	

9.1.4. CTS Zagreb

U Zagrebu postoje dva kogeneracijska postrojenja za proizvodnju električne i toplinske energije: elektrana-toplana (EL-TO) i termoelektrana-toplana (TE-TO). Ukupna duljina mreže CTS-a u Zagrebu iznosi 271 395 m, te je na sustav spojeno 99 004 korisnika (KeepWarm 2020). Projekt revitalizacije jedne trećine vrelovodne mreže, točnije 68,5 km, od ukupno 227,3 km započeo je 2021. godine. Projekt će omogućiti smanjenje toplinskih gubitaka za oko 28%, gubitaka nadopune pogonske vode za oko 47% te broja hitnih intervencija na rekonstruiranim dionicama vrelovoda za 90%. Smanjenje gubitaka u sustavu rezultirat će smanjenjem potrebe za proizvodnjom toplinske energije te posljedično i emisija onečišćujućih tvari. 2025. godine očekuje se smanjenje CO₂ emisija za 11 104 tone u odnosu na stanje prije revitalizacije (HEP vjesnik, 2021).

EL-TO Zagreb je postrojenje za kombiniranu proizvodnju toplinske i električne energije iz prirodnog plina i loživog ulja. Njegova najveća prednost je blizina velikih stambenih naselja

čime su gubici transporta energije svedeni na minimum. EL-TO Zagreb počeo je s radom 1907. godine od kada je u nekoliko navrata mijenjao svoj naziv (Električna centrala, Gradska munjara, Munjara) da bi od 1961. do danas zadržao naziv Elektrana - toplana (EL-TO). Sastoji se od 9 blokova (A, B, H, J, G, K, D, M, N) od čega se u četiri proizvodi električna energija, toplina i tehnološka para (A, B, H, J), u svim osim u bloku G i K se proizvodi tehnološka para, a toplinska energija proizvodi se u svim blokovima. Ukupna proizvodna snaga električne energije je 50 MW, ogrjevna toplina 200 MW_t, a tehnološke pare 180 t/h. Ukupni toplinski kapacitet je 280 MW_t. Proširivanje EL-TO Zagreb planirano je izgradnjom novog bloka L. Novi visokoučinkoviti kogeneracijski blok imat će 150 MW električne i 114 MW toplinske nazivne snage te će proizvoditi električnu energiju za otprilike 200 tisuća kućanstava, toplinu za 80 tisuća građana i 160 GWh industrijske pare za industrijske potrošače (Čekada, 2021).

TE-TO Zagreb također je kombinirano postrojenje za proizvodnju toplinske i električne energije koji je smješten u blizini centara visoke potrošnje električne i toplinske energije. Pušten je u pogon 1962. godine, a za proizvodnju energije koristi prirodni plin i plinsko ulje. Sastoji se od četiri bloka (C, K, L, M), četiri vrelovodna kotla (VK3, VK4, VK5, VK6) i jednog parnog kotla (PK3). Električna energija proizvodi se u blokovima C, K, L, te je ukupna proizvodna snaga električne energije 453 MW. Ogrjevna toplina proizvodi se u svim postrojenjima osim PK3 i bloka M, a proizvodni kapacitet iznosi 708 MW_t. Proizvodni kapacitet tehnološke pare iznosi 404 t/h, a proizvodi se u PK3 i bloku M.

Naselja Dubrava i Ferenščica u gradu Zagrebu toplinsku energiju dobivaju iz kućnih i blokovskih kotlovnica ukupne instalirane snage veće od 60 MW koji su izgrađeni u periodu 1971. – 1995. godine. Obzirom na životni vijek kotlovnica i popratne opreme koji iznosi oko 25 godina u budućem razdoblju trebala bi značajna ulaganja, posebice na sve strojeve regulative. Upravo zbog toga taj dio Zagreba izabran je za razvoj CTS-a koji bi toplinsku energiju dobivali iz TE-TO Zagreb. Osnova projekta je zakupljena toplinska snaga krajnjih kupaca od 46,18 MW, dok je godišnja isporuka toplinske energije iznosila 67 000 - 74 000 MWh, ovisno o temperaturnim uvjetima sezone, pri čemu se trošilo 10 - 11 milijuna m³ prirodnog plina (Bizek, 2021). Operativna razina projekta započela je 2011. godine, a cijeli projekt osmišljen je u šest glavnih dionica koje započinju dionicom u krugu TE-TO Zagreb, a završavaju dionicom u Dubravi. Radovima na vrelovodnoj trasi čija je dužina originalno iznosila 5 700 m, zamijenjene su i izgrađene nove razvodne mreže i priključci u duljini od 7 336 m. Temperaturni režim manjih razvoda bio je 90/70°C, a kod većih 110/70°C. Svih 89

toplinskih stanica bile su direktnog tipa s centralnim akumulacijskim sustavom pripreme potrošne tople vode. Za razliku od kotlovnica čija cijena toplinske energije ovisi o cijeni plina, koja je položna učestalim promjenama, CTS nudi stabilnije cijene što u konačnici krajnjim kupcima pruža sigurnost i stabilnost u planiranju troškova. Također, kogeneracija ima bolju iskoristivost goriva od kotlovnica što za rezultat ima manje emisija stakleničkih plinova. Dodatni potencijal spajanja na CTS je područje naselja Borongaj gdje se nalaze pogoni tvornice Končar čija potrošnja toplinske energije iznosi oko 2 MW. Ipak, najznačajniji potencijal na tom području je Kampus Borongaj gdje se prema podacima iz 2018. godine nalazilo sedam fakulteta te smještaj za studente s kapacitetom za oko 8 000 osoba. Zajedno sa okolnim sadržajima, potreba za toplinskim konzumom na tom području procjenjuje se na 23 MW (Bizek, 2021). Prema analizama HEP Toplinarstva, na CTS bi također bilo moguće spojiti korisnike samostalnih kotlovnica na Ravnicama ukupnog toplinskog konzuma od 26 MW, pogone ZET-a i obližnji Kaufland s procijenjenim konzumom od 6 MW te Kliničku bolnicu Dubrava s pretpostavljenim konzumom od 10 MW. Osim svih navedenih objekata, objekti koji bi se tek trebali izgraditi imaju mogućnost povezivanja na sustav obzirom da je maksimalni kapacitet spajanja krajnjih kupaca 170 MW.

Srednjoročni planovi (2025. - 2035.) HEP grupe obuhvaćaju izgradnju spojne vrelovodne mreže velikog kapaciteta radi povezivanja EL-TO i TE-TO Zagreb radi povećanja sigurnosti opskrbe te spajanja CTS-a Zagreb s Velikom Goricom i Zaprešićem u jedinstveni toplinski sustav. Dugoročni planovi (2035. – 2055.) obuhvaćaju izgradnju velikih solarnih toplinskih sustava i sezonskih spremnika topline u Velikoj Gorici i Zaprešiću. Time bi udio OIE u CTS-u Velika Gorica i Zaprešić iznosio oko 50% potrebne energije za grijanje. Na sve lokacije na kojima su izgrađene visokoučinkovite generacije, dugoročno se planira izgradnja elektrolizatora za proizvodnju zelenog vodika te prilagodba plinskih turbina na vodik. Također se planira implementacija baterijskih sustava za pohranu električne energije.

9.1.5. CTS Osijek

Toplinska energija koja se distribuira putem CTS-a u Osijeku proizvodi se u Termoelektrani-toplani Osijek. TE-TO Osijek pušten je u pogon 1985. godine, a osim električne i toplinske energije krajnje korisnike opskrbljuje i tehnološkom parom. Sastoji se od 7 blokova od kojih se u bloku A, B1, B2, C, D, i E energija proizvodi iz prirodnog plina ili loživog ulja dok je blok F bioelektrana-toplana (BE-TO) gdje se toplinska energija proizvodi iz drvne biomase. Električna energija proizvodi se u bloku A, B1 i B2 te je njezina proizvodna snaga 89 MW, s tim da se električna energija iz bloka A koristi za vlastitu

potrošnju. Proizvodni kapacitet toplinske energije iz prvih šest blokova koji koriste prirodni plin/loživo ulje je 202 MW_t, a iz istih se proizvodi tehnološka para te je njezin proizvodni kapacitet 160 t/h. BE-TO Osijek je kogeneracijsko postrojenje na šumsku biomasu koje je sa radom započelo 2017. godine. Proizvodni kapacitet BE-TO Osijek za električnu energiju je 3 MW, za toplinsku energiju 10 MW_t, te za tehnološku paru 12 t/h, čime ukupni toplinski kapacitet TE-TO Osijek iznosi 212 MW_t.

Vrelovodi kojima se prenosi toplinska energija iz TE-TO Osijek do više od 11 000 krajnjih potrošača izrađena je 1980-ih godina te je zbog njegove dotrajalosti smanjena sigurnost i pouzdanost opskrbe. Uz pomoć sredstava EU, 2019. godine pokrenut je projekt kojim bi se 4,4 km vrelovodne mreže nazivnog otvora 550 mm, zamijenilo novim i modernijim vrelovodima dimenzije nazivnog otvora 800 mm. Projekt bi trebao završiti 2023. godine te bi se njime gubici energije smanjili sa trenutnih 7,66% na 6,58% što će u konačni rezultirati uštedom u potrošnji primarnog goriva od 6 151 MWh. Time će se smanjiti potrošnja električne energije za pogon pumpi za 2 534 MWh, što će rezultirati dodatnom uštedom u potrošnji goriva za 6 205 MWh. Sve to će dovesti to smanjenja emisija CO₂ u iznosu od 4 378 t/g (www.hep.hr, 2021). Dugoročni planovi za TE-TO Osijek uključuju izgradnju velikog solarnog toplinskog sustava te prilagodbu postrojenja za izgaranje vodika.

9.1.6. CTS Sisak

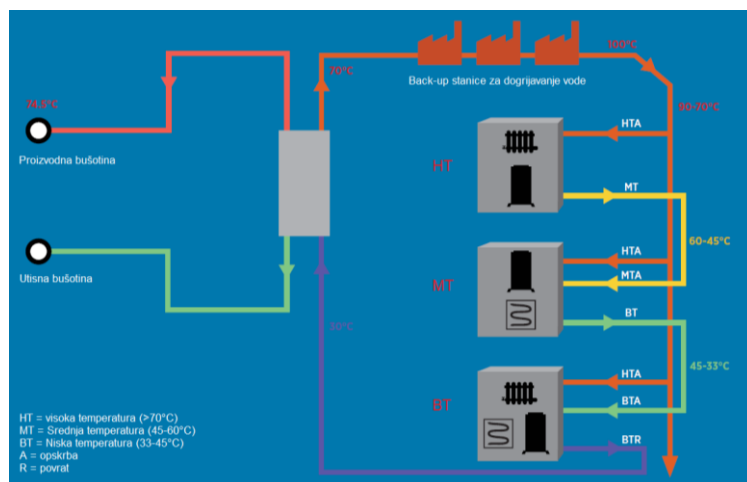
Proizvodnja toplinske energije u CTS-u Sisak proizvodi se u TE-TO Sisak zajedno sa električnom energijom. TE-TO Sisak je u radu od 1970. godine, a sastoji se do pet blokova (A, B, C, D, E) i dvije pomoćne kotlovnice (PK1, PK2). Energija se proizvodi iz prirodnog plina/loživog ulja, osim u bloku D gdje se koristi drvena biomasa. Blokovi A i B od 2018. godine su stavljeni van funkcije zbog emisija koje su bile iznad granično dozvoljenih vrijednosti. U bloku C proizvodi se električna energija proizvodne snage 235 MW i tehnološka para proizvodnog kapaciteta 65 t/h. Pomoćne kotlovnice sastoje se od dva parna kotla kapaciteta 2x28 t/h pare, a para se također proizvodi u novoizgrađenom bloku E kapaciteta 12,5 t/h pare. Ta postrojenja koriste se za pokrivanje vršnih potreba toplinske energije i opskrbu tehnoloških potrošača parom kada nema potrebe za proizvodnjom električne energije iz kogeneracijskog postrojenja u bloku C. Blok D, odnosno bioelektrana-toplana, BE-TO Sisak izgrađena je 2017. godine te koristi drvenu sječku za proizvodnju energije. Proizvodna snaga električne energije je 3 MW, toplinske energije 10 MW_t, a proizvodni kapacitet tehnološke pare je 10 t/h. Ukupni toplinski kapacitet TE-TO Sisak iznosi 100,4 MW_t.

10. PRIMJERI DOBRE PRAKSE

10.1. Haÿ-Les-Roses, Chevilly-Larue i Villejuif, Francuska

Haÿ-Les-Roses, Chevilly-Larue i Villejuif predgrađa su Pariza u kojima kompanija SEMHACH iskorištava geotermalnu energiju za CTS. Toplinska energija se proizvodi iz tri geotermalna postrojenja, svako postrojenje snage 12 MW_t, te se svaki nalazi u jednom od navedenih predgrađa. U zimsko vrijeme snaga geotermalnih postrojenja nije dostatna potražnji toplinske energije, stoga od 1. studenog do 31. ožujka dva plinska kogeneracijska postrojenja snage nadoknađuju razliku u potražnji. Kao rezervni sustavi koriste se plinski bojleri. 67,58% toplinske energije proizvodi se iz geotermalne što znači uštedu od oko 39 000 tCO₂ (www.semhach.fr). Do zimske sezone 2022./2023. planira se implementacija dizalica topline koje bi dodatno grijale geotermalnu vodu i time povećali udio toplinske energije iz geotermalne na 80%.

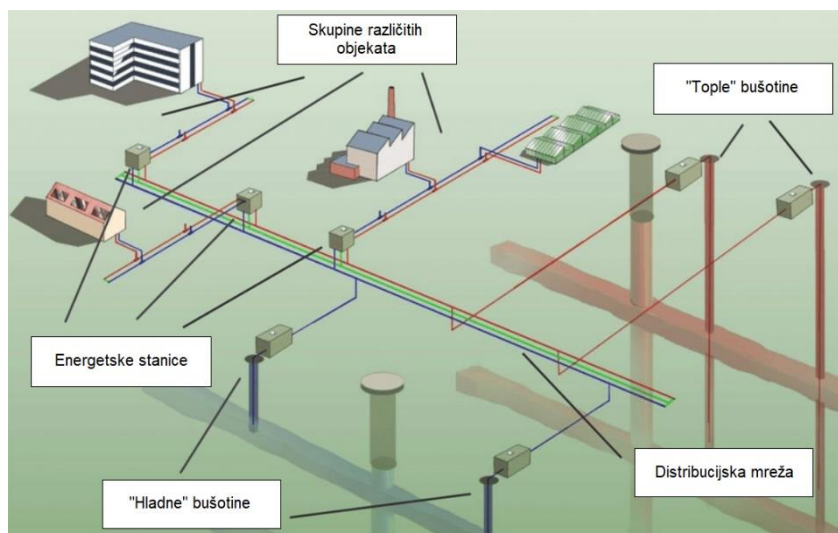
Jedna karakteristika ovog CTS-a je i višetemperaturna distribucijska mreža kao što je prikazano na slici 10-1. Visoka temperatura prvo opskrbljuje najstarije zgrade kojima je potrebna viša temperatura. Prvi povratni tok sa sniženom temperaturom je dovoljne temperature za opskrbljivanje zgrada kojima je potrebna niža temperatura nego prvim zgradama. U drugom povratnom krugu temperatura je najniža i opskrbljuje visokoučinkovite zgrade kojima nije potreba visoka temperatura toka, te staklenike i bazene. Konačna povratna temperatura vode iznosi oko 30°C. Sve zgrade se također opskrbljuju visokotemperaturnom vodom za pripremu potrošne tople vode. Ovakvim načinom distribucije povećava se efikasnost cijelog sustava.



Slika 10-1. Pojednostavljeni prikaz CTS u Francuskim pokrajinama Haÿ-Les-Roses, Chevilly-Larue i Villejuif (IRENA, 2021)

10.2. Heerlen, Nizozemska

Prvi primjer pete generacije centralnih toplinskih i rashladnih sustava nalazi se u gradu Heerlen u Nizozemskoj. Kompanija Mijwater BV koristi napušten i poplavljen rudnik ugljena čija se temperatura vode od 28°C tijekom zime koristi za grijanje, dok se u ljetnim mjesecima iz plićih hladnijih dijelova s temperaturom od 16°C proizvodi voda za hlađenje. Distribucijski sustav sastoji se od dva cjevovoda, jedan s hladnijom i jedan s toplijom vodom te može istodobno opskrbljivati korisnike toplinskom i rashladnom energijom. Razlog tomu je što ne postoje dva toka kao u većini distribucijskih mreža, nego tok u svakom od cjevovoda ovisi o potražnji za toplinskom/rashladnom energijom. Ovakvim sustavom omogućeno je i skladištenje energije u cjevovodima, te u rudniku, dok se kratkoročno voda skladišti i u bojlerima koji se nalaze u energetske stanicama i zgradama. Svaka velika zgrada ili blok zgrada spojeni su na svoju energetske stanicu u kojoj se nalaze dizalice topline koje osiguravaju potrebu temperaturu za grijanje i hlađenje objekata. Na ovaj sustav priključene su poslovne zgrade, trgovine, škole i kuće, a ukupna površina koja se grije/hladi iznosi 250 000 m² te se u narednim godinama očekuju daljnja priključenja korisnika.



Slika 10-2. CTS Heerlen (Boesten et al., 2019)

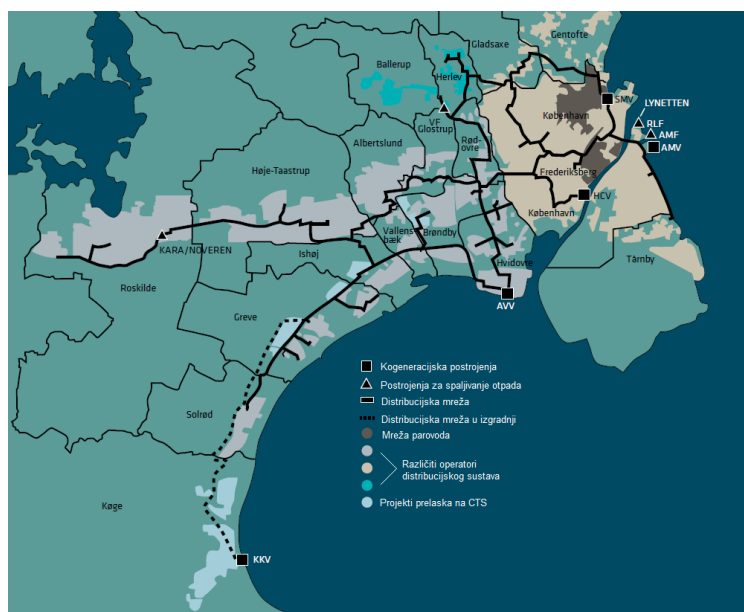
10.3. Kopenhagen, Danska

Kopenhagen je grad u kojem 98% potreba za toplinskom energijom dolazi iz centralnog toplinskog sustava kojim upravlja kompanija HOFOR. Upravo iz tog razloga važno je da se energija koja grije gotovo cijeli grad i okolicu proizvodi iz OIE. Trenutno se toplinska energija proizvodi iz visokoučinkovitih kogeneracijskih postrojenja na fosilna goriva i

biomasu te spalionice otpada. U cijelom sustavu potrošnja toplinske energije je oko 33 000 TJ, a oko 55% otpada na sam grad Kopenhagen. Grad Kopenhagen također želi postati prvi ugljično neutralan grad i to do 2025. godine. Kako bi CTS postao ugljično neutralan do 2025. godine potrebno je:

- zamijeniti prestale visokoučinkovite generacije na fosilna goriva s postrojenjima na biomasu,
- implementirati dizalice topline velikog kapaciteta i skladišta topline,
- implementirati back-up tehnologiju koja bi koristila CO2 neutralna goriva,
- kontinuirano modernizirati distribucijsku mrežu kako bi se smanjili gubici,
- zamijeniti proizvodnju tehnološke pare s vrućom vodom, te
- odvajati plastiku iz otpada kako se plastika ne bi spaljivala, budući da njezinim sagorijevanjem nastaju CO2 emisije.

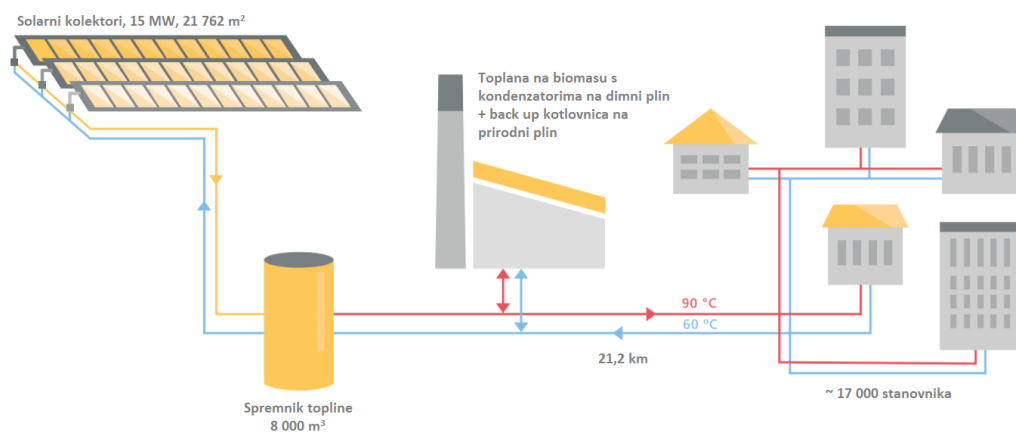
Također se planiraju izgraditi postrojenja na geotermalnu energiju snage oko 65 MW do 2025. godine (www.hofor.dk, 2022). Trenutno je Kopenhagen na dobrom putu da postigne zacrtan cilj za 2025. godinu. Biomasa je u većini kogeneracijskih postrojenja zamijenila fosilna goriva, a trenutno su u radu pilot postrojenja koja koriste geotermalnu i solarnu energiju kako bi se testirala njihova implementacija u CTS.



Slika 10-3. Karta CTS-a u Kopenhagenu (www.hofor.dk, 2022)

10.4. Salaspils, Latvija

Oko 85% građana Salaspilsa, priključeno je CTS koji je pod upravom kompanije Salaspils Siltums. U početku se toplinska energija proizvodila se iz kogeneracijskog postrojenja na ugljen i kotlovnice na prirodni plin, no zatvaranjem kogeneracijskog postrojenja morala se implementirati nova tehnologija koja bi ju zamijenila. Danas se većina toplinske energije proizvodi iz OIE: 61% iz biomase, 20% solarne energije, 10% iz dimnih plinova te 9% iz prirodnog plina. Prirodni plin se u većini slučajeva koristi za pokrivanje vršne potrošnje u izrazito hladnim danima. Zadnjim projektom instalirano je 1 720 solarnih kolektora ukupne površine 21 762 m² snage 15 MW, toplinski spremnik kapaciteta 8 000 m³ te novi kotao na drvenu sječku sa kondenzatorom za ispušne plinove. Ukupna godišnja proizvodnja energije iznosi oko 60 000 MWh.



Slika 10-4. CTS Salaspils (IEA, ECI, 2019)

10.5. Pokupsko, Hrvatska

U općini Pokupsko 2015. godine u rad je puštena prva hrvatska toplana na biomasu. Snaga toplane iznosi 1 MW i na nju je priključeno 30 korisnika, javni i poslovni objekti te kućanstva. Distribucija topline se prenosi preko toplovodne mreže te ugrađenih podstanica kod svakog potrošača. U prvoj ogrjevnoj sezoni 2015./2016. isporučeno je 294 000 kWh topline, a potrošeno je 250 t drvene sječke s naglaskom da cijevi na ulazu kod potrošača nisu bile izolirane čime su gubici u sustavu bili veći. Cijena topline bez PDV-a za kućanstva iznosila je 0,30 kn/kWh za kućanstva i 0,40 kn/kWh za pravne osobne. Cijeli projekt vrijednosti oko 7 milijuna kuna financiran je iz sredstava EU. U budućnosti se očekuje povećanje kapaciteta, priključenje novih korisnika te izgradnja sabirno-logističkog centra za biomasu kojim će se olakšati dostupnost biomase i direktna prodaju iste.

11. ZAKLJUČAK

Centralni toplinski sustavi jedan su od najvećih izazova energetske tranzicije prema obnovljivim izvorima energije. Današnji sustavi uglavnom koriste fosilna goriva te je distribucijska mreža prilagođena visoko-temperaturnoj vodi kao radnom mediju prijenosa toplinske energije. Razlog tome su zahtjevi potrošača zbog loše izoliranih zgrada i visoko-temperaturnih sustava grijanja u zgradama. Prvi korak prema dekarbonizaciji CTS svakako je zamjena starih i dotrajalih visoko-temperaturnih radijatora sa radijatorima kojima za rad nije potreba tako visoka temperatura ili uporaba podnog grijanja. Kada se promijene zahtjevi potrošača na ovakav način, može se pristupiti prilagodbi distribucijske mreže na niže temperature vode te implementirati veći udio OIE u proizvodnju energije za CTS. Trenutno na zahtjeve za visokom temperaturom od OIE može odgovoriti samo biomasa, visoko-temperaturna geotermalna energija ili dodatno korištenje visoko-temperaturnih dizalica topline kako bi se povećala temperatura toplinske energije proizvedena iz drugih OIE. Iz tih razloga fosilna goriva, ponajviše prirodni plin i dalje ostaju dominantan izvor energije u CTS-u. Osim biomase i visoko-temperaturne geotermalne energije koja nije dostupna na širokim područjima, ostali OIE nisu u velikoj uporabi u CTS-ovima. Najveći porast trenutno bilježi solarna termalna energija, ali obzirom da sunčevog zračenja nema dovoljnom tijekom zimskih mjeseci kada je potražnja za toplinskom energijom najveća, ovakvi sustavi zapravo su nadopuna proizvodnji energije iz drugih izvora, najčešće plina i biomase te se najviše koriste u ljetnim mjesecima za pripremu potrošne tople vode. Ključna tehnologija za što efikasnije iskorištavanje solarne termalne energije su sezonska skladišta topline koja bi omogućila skladištenje viškova toplinske energije u ljetnim mjesecima te korištenje u zimskim mjesecima. Kod nisko-temperaturnih CTS-a, ili 5. generacije ključna je uporaba dizalica topline kod krajnjih korisnika te je usavršavanje ove tehnologije i korištenje radnih fluida sa što manjim GWP-om jako bitno za povećanje energetske učinkovitosti i dekarbonizaciju sustava. Postoje brojni primjermi dobre prakse CTS-a koji imaju visoku energetska učinkovitost i udio OIE te se ti slučajevi trebaju replicirati na sva slična područja kako bi se što više smanjile emisije stakleničkih plinova. U konačnici, dugoročnim povećanjem cijena fosilnih goriva i emisijskih jedinica povećavaju se operativni troškovi rada CTS-a koji koriste fosilna goriva, te je pitanje do kad će njihov rad biti ekonomski ispativ.

12. POPIS LITERATURE

1. AVERFALK H., DALMAN B., KILERSJÖ C., LYGNERUD OCH K., WELLING S., 2018. Analysis of 4th Generation District Heating Technology Compared to 3rd Generation, Energiforsk AB, Sweden.
2. BIZEK D., 2021. Razvoj i izgradnja CTS-a u Zagrebu, EGE, 4/2021, str. 51-54.
3. BOESTEN S., IVENS W., DEKKER S.C., EIJDENS H., 2019. 5th generation district heating and cooling systems as a solution for renewable urban thermal energy supply, Advances in Geosciences, 49, str. 129-136.
4. BUFF, S., COZZINI M., D'ANTONI M., BARATIERI M., FEDRIZZI R., 2019. 5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 104, str. 504–522.
5. CALDERON C., AVAGIANOS I., JOSSART J. 2020. Report Bioheat, Bioenergy Europe Statistical report, Belgium.
6. ČEKADA M., 2021. Strojarska oprema za proizvodnju električne i toplinske energije za novi blok u Elektrani toplani Zagreb, HEP Vjesnik, 1/2021, str. 14.
7. DIREKTIVA (EU) 2018/2001 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 11. prosinca 2018. o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora.
8. DIREKTIVA (EU) 2018/2002 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 11. prosinca 2018. o izmjeni Direktive 2012/27/EU o energetske učinkovitosti.
9. DIREKTIVA (EU) 2018/844 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 30. svibnja 2018. o izmjeni Direktive 2010/31/EU o energetske svojstvima zgrada i Direktive 2012/27/EU o energetske učinkovitosti.
10. DIREKTIVA 2010/31/EU EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 19. svibnja 2010. o energetske učinkovitosti zgrada.
11. DIREKTIVA 2012/27/EU EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 25. listopada 2012. o energetske učinkovitosti.
12. DORAČIĆ B., PUKŠEC T., DUIĆ N., 2021. National action plan for retrofitting DH networks in Croatia, UNIZG FSB, Zagreb.
13. EGEC, 2020. EGEC geothermal market report 2020 – key findings, European Geothermal Energy Council, Brussels,
14. ENERGETSKI INSTITUT HRVOJE POŽAR (EIHP), 2018. Energija u Hrvatskoj: godišnji energetske pregled, Ministarstvo zaštite okoliša i energetike Republike Hrvatske, Zagreb.

15. ENERGETSKI INSTITUT HRVOJE POŽAR (EIHP), 2020. Energija u Hrvatskoj: godišnji energetska pregled, Ministarstvo zaštite okoliša i energetike Republike Hrvatske, Zagreb.
16. EUROHEAT & POWER, AIT (Austrian Institute of Technology), 2020. Discussion paper: The barriers to waste heat recovery and how to overcome them.
17. EUROPSKA KOMISIJA, 2016. Komunikacija komisije europskom parlamentu, vijeću, europskom gospodarskom i socijalnom odboru i odboru regija, Strategija EU-a za grijanje i hlađenje, Bruxelles.
18. EUROPSKA KOMISIJA, EU Smart Cities Information System (SCIS), 2020. District heating and cooling: Solution booklet.
19. HIRZEL, S., SONTAG, B., ROHDE, C., 2013. Industrielle Abwärmenutzung, Fraunhofer ISI.
20. IEA, 2019a. How can district heating help decarbonise the heat sector by 2024?, International Energy Agency, Paris.
21. IEA, 2019b. Renewables 2019 – Analysis and forecast to 2024, International Energy Agency, Paris.
22. IEA, 2020. Renewables 2020 – Analysis and forecast to 2025, International Energy Agency, Paris.
23. IEA, ECI, 2019. Solar heat for cities: the sustainable solutions for district heating, International Energy Agency, European Copper Institute.
24. IEA, Heat Pump Centre, 2020. Technology Collaboration Program on Heat Pumping Technologies (TCP-HPT), Legionella and Heat Pump Water Heaters, Annex 64, Sweden.
25. IRENA 2020a. Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
26. IRENA, 2017., Renewable Energy in District Heating and Cooling, a sector roadmap for REmap 2030, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
27. IRENA, AALBORG UNIVERSITY, 2021. Integrating low-temperature renewables in district energy systems: Guidelines for policy makers, International Renewable Energy Agency, Aalborg University, Abu Dhabi, Copenhagen.
28. IRENA, IEA, REN21, 2020b. Renewable Energy Policies in a Time of Transition: Heating and Cooling, International Renewable Energy Agency, International Energy Agency, REN21.

29. JONES, N., 2018. How to stop data centres from gobbling up the world's electricity, *Nature*, 561, str. 163-166.
30. KEEPWARM, 2020. Atraktivne ideje kao rješenja za goruće pitanje održavanja naših gradova toplima na održiv način, projekt KeepWarm Renewing district heating.
31. LI, H., SVENDSEN, S., GUDMUNDSSON, O., KUOSA, M., RÄMÄ, M., SIPILÄ, K., ... BEVILACQUA, C., 2017. Future low temperature district heating design guidebook: Final Report of IEA DHC Annex TS1. Low Temperature District Heating for Future Energy Systems, International Energy Agency, Technical University of Denmark.
32. LUND H., WERNER S., WILTSHIRE R., SVENDSEN S., THORSEN J. E., HVELPLUND F., MATHIESEN B.V., 2014. 4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems, *Energy*, 68, str. 1-11.
33. LUND, H., ØSTERGAARD, P. A., CHANG, M., WERNER, S., SVENDSEN, S., SORKNÆS, P., THORSEN, J. E., HVELPLUND, F., GRAM MORTENSEN, B. O., MATHIESEN, B. V., BOJESSEN, C., DUIC, N., ZHANG, X., & MÖLLER, B., 2018. The status of 4th generation district heating: Research and results, *Energy*, 164, str. 147-159.
34. MATHIESEN, B.V., BERTELSEN N., SCHNEIDER N. C. A., GARCÍA L. S., PAARDEKOOPER S., THELLUFSEN J. Z., DJØRUP S. R., 2019. Towards a decarbonised heating and cooling sector in Europe: Unlocking the potential of energy efficiency and district energy, Aalborg University, Aalborg.
35. MINISTARSTVO ZAŠTITE OKOLIŠA I ENERGETIKE REPUBLIKE HRVATSKE (MZOE), 2019. Integrirani nacionalni energetska i klimatski plan za Republiku Hrvatsku za razdoblje od 2021. do 2030. godine, Zagreb.
36. MINISTARSTVO ZAŠTITE OKOLIŠA I ENERGETIKE (MZOE), 2020. Strategija energetskeg razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu, Zagreb.
37. HEP VJESNIK, Obnavlja se zagrebačka vrelovodna mreža, ulaganje vrijedno 700 milijuna kuna, 2/2021, str. 10-11.
38. PAARDEKOOPER, S., LUND, R. S., MATHIESEN, B. V., CHANG, M., PETERSEN, U. R., GRUNDAHL, L., DAVID, A., DAHLBÆK, J., KAPETANAKIS, I. A., LUND, H., BERTELSEN, N., HANSEN, K., DRYSDALE,

- D. W., & PERSSON, U., 2018. Heat Roadmap Europe 4: Quantifying the Impact of Low-Carbon Heating and Cooling Roadmaps. Aalborg Universitetsforlag, Denmark.
39. REN21, Renewables 2021 Global status report, 2021, Paris.
40. RES DHC, 2020. Renewable Energy Sources for District Heating and Cooling, Renewable Energy Sources in District heating and Cooling.
41. RES DHC, 2020. Transformation of existing urban district heating and cooling systems from fossil to renewable energy sources, Renewable Energy Sources in District heating and Cooling.
42. RUTZ D., WINTERSCHIED C., PAUSCHINGER T., GRIMM S., ROTH T., DORAČIĆ B., DYER G., ØSTERGAARD T.A., HUMMELSHØJ R., 2019. Nadogradnja centraliziranih toplinskih sustava – Tehnički i ne-tehnički pristup, Priručnik, WIP Renewable Energies, München, Njemačka.
43. STRATEGO, 2015a. Enhanced Heating and Cooling Plans to Quantify the Impact of Increased Energy Efficiency in EU Member States, Country Report: Croatia
44. STRATEGO, 2015b. Quantifying the Excess Heat Available for District Heating in Europe, Work Package 2 Background Report 7.
45. UREDBA (EU) 2018/1999 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 11. prosinca 2018. o upravljanju energetsom unijom i djelovanjem u području klime.
46. WERNER S., 2004. District Heating and Cooling, Encyclopedia of Energy, Elsevier, str. 841-848.

Web izvori:

47. BARCHART, 2021.
URL: <https://www.barchart.com/> (8.12.2021.)
48. BROD PLIN, 2021.
URL: <https://www.brod-plin.hr/> (17.11.2021.)
49. CORDIS, 2022.
URL: www.cordis.europa.eu (11.1.2022.)
50. ENERGO, 2021.
URL: <https://energo.hr/> (17.11.2021.)
51. FINANCE YAHOO, 2021.
URL: <https://finance.yahoo.com/> (10.12.2021.)

52. GRADSKA TOPLANA KARLOVAC, 2021.
URL: <https://www.gradska-toplana.hr/> (17.11.2021.)
53. HEP Toplinarstvo, 2021.
URL: <https://www.hep.hr/toplinarstvo/> (17.11.2021.)
54. HEP, 2021.
URL: www.hep.hr (14.11.2021.)
55. HOFOR, 2022.
URL: <https://www.hofor.dk/> (8.1.2022.)
56. KEEPWARM, 2021.
URL: <https://keepwarmeurope.eu/countries-in-focus/croatia/hrvatska/> (21.12.2021.)
57. REUSEHEAT, 2021.
URL: <https://www.reuseheat.eu> (18.12.2021.)
58. TEHNOSTAN VUKOVAR, 2021.
URL: <https://tehnostan-vukovar.hr/> (17.11.2021.)

IZJAVA

Ja, Dorotea Nađ, izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno, služeći se navedenom literaturom, ne temeljnu znanja stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu i uz stručno vodstvo mentora prof. dr. sc. Tomislava Kurevije i komentorice dr. sc. Marije Macenić.



Dorotea Nađ



KLASA: 602-04/21-01/265
URBROJ: 251-70-12-21-2
U Zagrebu, 04.02.2022.

Dorotea Nađ, studentica

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/265, URBROJ: 251-70-12-21-1 od 09.11.2021. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

DEKARBONIZACIJA CENTRALNIH TOPLINSKIH SUSTAVA

Za mentora ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Prof.dr.sc. Tomislav Kurevija nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i komentoricu Dr.sc. Marija Macenić.

Mentor:

(potpis)

Prof.dr.sc. Tomislav Kurevija

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Luka Perković

(titula, ime i prezime)

Komentorica:

(potpis)

Dr.sc. Marija Macenić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)