



Nadogradnja centraliziranih toplinskih sustava

Tehnički i ne-tehnički pristup

Priručnik

Autori:	Dominik Rutz ¹ , Carlo Winterscheid ² , Thomas Pauschinger ² , Sebastian Grimm ⁶ , Tobias Roth ⁶ , Borna Doračić ⁷ , Gillian Dyer ⁸ , Thomas A. Østergaard ⁸ , Reto Hummelshøj ⁸ (brojevi kod imena autora se referiraju na kontakte na stranici 4)
Recenzenti:	Rainer Janssen ¹ , Rita Mergner ¹ , Cosette Khawaja ¹ , Anes Kazagic ⁵ , Ajla Merzic ⁵ , Dino Tresnjo ⁵ , Matteo Pozzi ⁹ , Stefano Morgione ⁹ , Aksana Krasatsenka ¹¹ (brojevi kod imena recenzenta se referiraju na kontakte na stranici 4)
Prevoditelji:	Daniel Rolph Schneider, Tomislav Pukšec, Borna Doračić, Neven Duić
ISBN:	978-3-936338-54-6
Prijevod:	Izvorno je ovaj priručnik napisan na engleskom jeziku. Priručnik je također dostupan na sljedećim jezicima: Bosanski, Danski, Hrvatski, Njemački, Talijanski, Litvanski i Poljski
Objavljeno:	© 2019 by WIP Renewable Energies, München, Njemačka
Izdanje:	1. verzija
Kontakt:	WIP Renewable Energies, Sylvensteinstr. 2, 81369 München, Njemačka Dominik.Rutz@wip-munich.de , Tel.: +49 89 720 12 739 www.wip-munich.de
Nacionalni kontakt:	Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10002, Zagreb, Hrvatska, borna.doracic@fsb.hr https://www.fsb.unizg.hr/
Web stranica:	www.upgrade-dh.eu
Autorska prava:	Sva prava pridržana. Niti jedan dio ovog priručnika ne smije se reproducirati u bilo kojem obliku ili na bilo koji način, kako bi se koristio u komercijalne svrhe, bez pisanog dopuštenja izdavača. Autori ne jamče ispravnost i/ili potpunost informacija i podataka uključenih ili opisanih u ovom priručniku
Napomena:	Ovaj je projekt dobio sredstva iz programa za istraživanje i razvoj Europske Unije Obzor 2020 u okviru ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava br. 785014. Odgovornost za sadržaj teksta ovog priručnika isključivo leži na autorima. Priručnik ne mora nužno odražavati mišljenje Europske unije niti Izvršne agencije za mala i srednja poduzeća (EASME). Ni EASME, ni Europska komisija nisu odgovorne za bilo kakvu uporabu informacija koje se u ovom priručniku nalaze.

Zahvala

Ovaj priručnik je izrađen u okviru projekta „Upgrade DH“. Autori se zahvaljuju Europskoj Komisiji što je podržala projekt i upućenim organizacijama za dopuštanje korištenja informacija, slika i grafova.

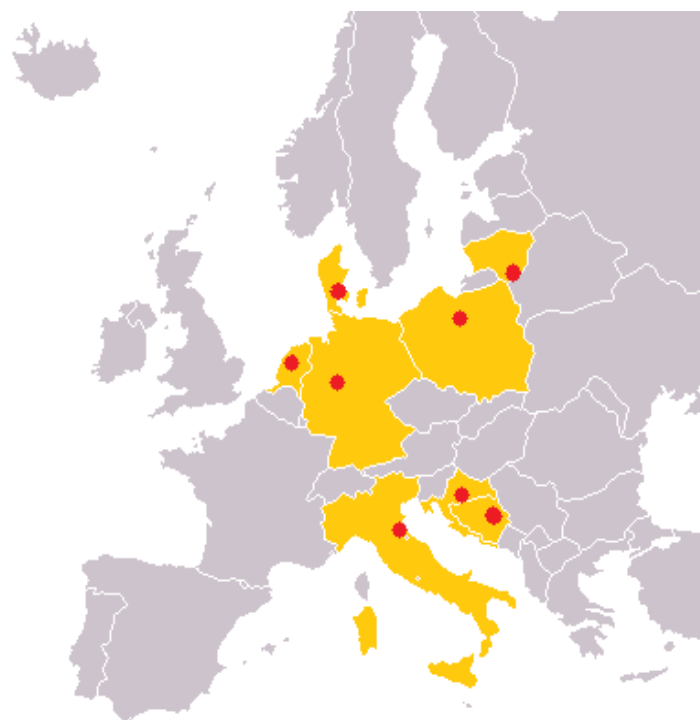
„Upgrade DH“ projekt

Sveukupni cilj „Upgrade DH“ projekta je poboljšanje karakteristika mreža centraliziranih toplinskih sustava (CTS) uz davanje podrške izabranim demonstracijskim slučajevima koji se mogu primijeniti u Europi.

„Upgrade DH“ projekt podržava procese nadogradnje i obnove CTS-a u različitim klimatskim regijama i državama Europe: Bosna i Hercegovina, Hrvatska, Danska, Njemačka, Italija, Litva, Poljska, i Nizozemska. U svakoj od navedenih država (Slika 1) će se započeti nadogradnja konkretnog sustava putem takozvanog „Upgrade DH“ demonstracijskog projekta (demo projekt). Cilj je iskoristiti stečeno znanje i iskustvo i primijeniti ga u drugim Europskim državama i CTS-ovima.

Temeljne aktivnosti „Upgrade DH“ projekta uključuju prikupljanje najboljih mjera i tehnika poboljšanja sustava, podrška tokom procesa izvedbe poboljšanja mreža, organizacija, pomoć oko financiranja i izrade poslovnih modela kao i razrada nacionalnih te regionalnih akcijskih planova.

Također, povećanje svijesti o modernim centraliziranim toplinskim sustavima (CTS) će se izvesti putem „Upgrade DH“ projekta. Cilj projekta je početak modernizacije CTS-ova u ciljanim državama i šire.



Slika 1: Zemlje u „Upgrade DH“ projektu i demonstracijski projekti

Konzorcij i lokalni kontakti



WIP Renewable Energies, koordinator projekta, Njemačka¹
Dominik Rutz [Dominik.Rutz@wip-munich.de]
www.wip-munich.de



Istraživački institut za solarne i održive toplinske energetske sustave, Njemačka²
Carlo Winterscheid [Winterscheid@solites.de]
www.solites.de



Litvanska udruga za centralizirane toplinske sustave (Lietuvos Šilumos Tiekėju Asociacija), Litva³
Audrone Nakrosiene [audronenakrosiene@gmail.com]
www.lsta.lt



Salcininku Silumos Tinklai, Litva⁴
Elena Pumputienė [elena.pumputiene@sstinklai.lt]
www.sstinklai.lt



JP Elektroprivreda BiH d.d. - Sarajevo, Bosna i Hercegovina⁵
Anes Kazagic [a.kazagic@epbih.ba]
www.epbih.ba



AGFW Projektgesellschaft für Rationalisierung, Information und Standardisierung mbH, Njemačka⁶
Sebastian Grimm [s.grimm@agfw.de]
www.agfw.de



Sveučilište u Zagrebu, Fakultet Strojарstva i Brodogradnje, Hrvatska⁷
Tomislav Pukšec [tomislav.puksec@fsb.hr]
www.fsb.unizg.hr



COWI A/S, Danska⁸
Reto Michael Hummelshøj [rmh@cowi.com]
www.cowi.com



OPTIT Srl, Italija⁹
Matteo Pozzi [matteo.pozzi@optit.net]
www.optit.net



Gruppo Hera, Italija⁰
Simone Rossi [simone.rossi@gruppohera.it]
www.gruppohera.it



Euroheat & Power – EHP, Belgija¹¹
Alessandro Provaggi [ap@euroheat.org]
www.euroheat.org

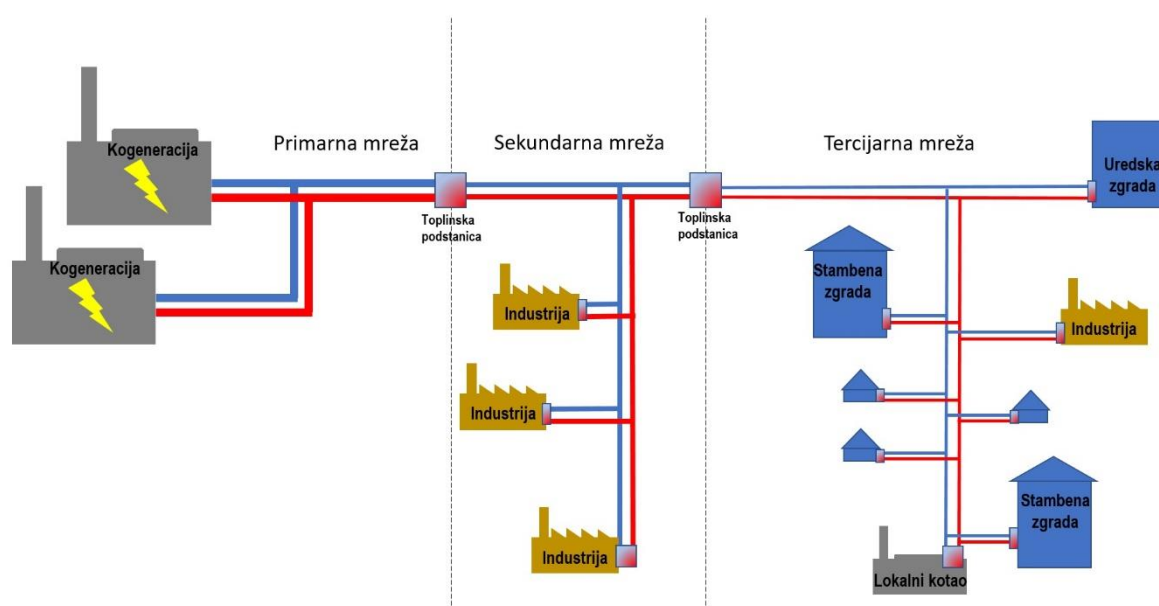
Sadržaj

Zahvala.....	2
„Upgrade DH“ projekt	3
1 Uvod	7
2 Centralizirani toplinski sustavi u Europi.....	9
2.1 Klasifikacija sustava	10
2.1.1 Klasifikacija po veličini sustava.....	10
2.1.2 Klasifikacija prema povijesnom razvoju u geografskim regijama.....	11
2.1.3 Klasifikacija po korištenoj tehnologiji i generaciji sustava	12
2.1.4 Klasifikacija prema tehničkim karakteristikama	15
2.2 Pregled današnjeg stanja CTS-a u Europi.....	19
2.3 Opći okvirni uvjeti: konkurencija CTS-u	21
3 Proces nadogradnje.....	24
3.1 Motivacija operatera za nadogradnjom.....	25
3.1.1 Ciljevi poduzeća	25
3.1.2 Ekonomska korist.....	26
3.1.3 Utjecaj na okoliš	28
3.2 Analiza postojećeg stanja.....	29
3.3 Analiza podataka.....	31
3.4 Prepoznavanje mogućnosti nadogradnje: studije izvedivosti	33
3.5 Postavljanje kriterija usporedbe različitih rješenja.....	33
3.6 Razvoj plana implementacije.....	34
3.7 Implementacija mjera nadogradnje.....	35
3.8 Kontinuirano motrenje uspjeha mjera nadogradnje.....	35
4 Ne-tehnički aspekti.....	36
4.1 Strategije i metode	36
4.2 Sudionici	38
4.3 Financijska analiza	38
4.4 Izdavanje dozvola	39
4.5 Ugovori.....	40
4.6 Poslovni modeli projekata nadogradnje CTS-a.....	41
5 Tehničke mjere nadogradnje	43
5.1 Toplinske podstanice i korištenje toplinske energije	43
5.1.1 Procjena instalacija kod krajnjih korisnika.....	43

5.1.2	<i>Mogućnosti obnove toplinskih podstanica</i>	47
5.2	Distribucija topline i toplovodi	48
5.2.1	<i>Procjena stanja distribucijske infrastrukture</i>	48
5.2.2	<i>Vijek trajanja cijevi</i>	50
5.2.3	<i>Pregled suvremenih tehnologija polaganja cijevi</i>	53
5.2.4	<i>Mogućnosti poboljšanja u CTS-u</i>	56
5.3	Tehnologije proizvodnje toplinske energije	57
5.3.1	<i>Procjena stanja postojećih proizvodnih postrojenja</i>	58
5.3.2	<i>Integracija solarnih toplinskih sustava</i>	59
5.3.3	<i>Integracija biomase</i>	64
5.3.4	<i>Integracija geotermalne energije</i>	68
5.3.5	<i>Integracija otpadne topline</i>	71
5.3.6	<i>„Power-to-Heat“</i>	75
5.3.7	<i>Integracija tehnologija pohrane toplinske energije</i>	78
5.3.8	<i>Nadogradnja korištenjem obnovljivih izvora energije – pronalazak ispravne kombinacije</i>	83
5.4	Motrenje tehničkih parametara, kontrola i digitalizacija	85
5.5	Tehnologije brzog odziva (engl: Demand-response options)	88
	Pojmovnik i kratice	90
	Literatura	94

1 Uvod

Začeci centraliziranih toplinskih sustava (CTS) sežu do vremena antičkog Rimskog Carstva gdje su kupke, kuće te staklenici bili opskrbljivani vrućom vodom. Nadalje su se jednostavniji sustavi razvili tokom srednjeg vijeka. Iako su današnji sustavi u pogledu korištene tehnologije posve drugačiji, i dalje se koriste isti principi u prijenosu toplinske energije, često u obliku vode koja teče od izvora do ponora topline. Tokom prijašnjeg stoljeća je najveća motivacija korištenja CTS-a bila izbjegavanje odbacivanja energije u termoenergetskim postrojenjima, spalionicama otpada i industriji te njeno korištenje u svrhu zadovoljavanja potreba potrošača (Slika 2).



Slika 2: Primjer CTS-a na koji su priključeni razni tipovi potrošača. Vidljivi su primarni, sekundarni i tercijarni dio mreže odvojeni putem toplinskih podstanica (Izvor: D. Rutz)

Smisao koncepta CTS-a je opskrba potrošača toplinskom energijom generiranom u jednom ili skupu centraliziranih izvora topline putem cjevovodne mreže koristeći vruću vodu, a u nekim slučajevima vodenu paru. Prema Europskoj strategiji grijanja i hlađenja (EK, 2016.), CTS pokriva 9% toplinskih potreba, te se one u najvećem djelu zadovoljavaju korištenjem fosilnih goriva kao što su prirodni plin (40%) i ugljen (29%).

Centralizirani toplinski sustavi predstavljaju veliki potencijal s tehničke i organizacijske strane za provedbu energetske tranzicije u sektoru grijanja. Njihovim korištenjem se omogućuje integracija obnovljivih izvora energije, povećanja energetske učinkovitosti te integracija sektora (grijanje, električna energija i transport). Krajnji je cilj nadogradnja sustava na način da im se poveća energetska učinkovitost te da se emisije svedu na nulte ili blizu nultih razina te da se na taj način smanji utjecaj globalnog zatopljenja. Mnogi CTS-i u Europi u zemljama kao što su Island, Švedska, te Norveška su već iskoristili mogućnost smanjenja emisija CO₂ (Werner, 2017). Tokom 2016. su na razini cijelog svijeta postignuta tek skromna poboljšanja u implementaciji obnovljivih izvora energije u CTS. Moderni obnovljivi izvori energije zadovoljavaju oko 9% svjetskih potreba za toplinskom energijom, a najveći dio te energije dolazi iz sagorijevanja biomase te s manjim udjelom iz sunčevih kolektora te geotermalne energije. (REN21, 2018).

Mnogi stari i loše održavani sustavi se u svrhu ispunjenja punog potencijala CTS-a u Europi moraju modernizirati ili biti nadograđeni. Ovdje se uključuju poboljšanja u segmentima **korištenja topline** (učinkovita integracija toplinskih podstanica, predviđanja ozračenja pojedinih kuća, itd.), **distribucije topline** (optimizacija cjevovoda, smanjenje učestalosti puknuća cjevovoda, optimizacija temperaturnih režima, itd.) te **proizvodnje topline** (optimizacija tehnologija u proizvodnji, pohrana, itd.). Također, se i ne-tehnički parametri mogu poboljšati kod mnogih postojećih CTS-a.

Proces modernizacije centraliziranih toplinskih sustava je sofisticiran i dugotrajan, oduzima puno vremena te su potrebne velike investicije. Posebnu je pažnju potrebno posvetiti mjerama modernizacije kod zgrada spojenih na sustav, primjerice kod uvođenja niskotemperaturnog režima rada. Kod takvih je procesa potrebna izravna suradnja sa vlasnicima stambenih jedinica i samim potrošačima. Još jedan od razloga za pažljivim planiranjem modernizacije je utjecaj na sam život stanara u gradskoj četvrti u kojoj se provodi nadogradnja.

Ovaj je **priručnik** izrađen i služi prvobitno za razjašnjavanje procesa i mogućnosti nadogradnje CTS-a, a namijenjen je strankama kao što su: donositelji odluka, političari, komunalna poduzeća, toplinarska poduzeća i krajnji potrošači. Stoga, cilj ovog priručnika nije davanje detaljnih tehničkih rješenja i smjernica, nego je cilj dati općeniti pregled mogućnosti nadogradnje sustava. Nadalje, ovaj je priručnik preveden u 7 jezika (Bosanski, Hrvatski, Danski, Njemački, Talijanski, Litvanski i Poljski) zbog nedostatnog znanja o CTS-u u mnogim državama.

2 Centralizirani toplinski sustavi u Europi

Grijanje i hlađenje zgrada te industrijskih postrojenja zauzima polovicu europskih energetske potrebe (EK, 2018a). Trenutno se 84% potreba za grijanjem i hlađenjem zadovoljava putem fosilnih goriva dok se tek 16% zadovoljava korištenjem obnovljivih izvora energije. Potrebno je drastično smanjiti potrošnju energije u sektoru grijanja i hlađenja da bi se zadovoljili energetske i klimatski ciljevi Europske Unije (EK, 2018a).

Na grijanje i pripremu potrošne tople vode (PTV) u **europskim kućanstvima** otpada 79% potrošnje finalne energije (192.5 Mt_{oe}), (EC, 2018a). Stambeni sektor je 2016. predstavljao 25.4% potrošnje finalne energije tj. 17.4% ukupne potrošnje energije u EU (EK, 2018b). U kućanstvima se energija troši na više načina: grijanje prostora i potrošne tople vode, hlađenje prostora, kuhanje, osvjetljavanje, pogon električnih uređaja te ostale potrebe. Slika 3. prikazuje raspodjelu potrošnje energije u Europskim kućanstvima. Od sve energije iskorištene u **industriji**, 70,6% (193,6 Mt_{oe}) se koristilo u svrhu grijanja prostora ili grijanja u industrijskim procesima (EK, 2018a).

Centralizirani toplinski sustavi u Europi trenutno opslužuju oko 60 milijuna stanovnika, dok ih 140 milijuna živi u naselju s barem jednim takvim sustavom (Euroheat & Power, 2018a). Uz pretpostavku nastavka trenda urbanizacije prema podacima iz „Heat Roadmap Europe“ i uz primjerena ulaganja do 2050. će biti moguće gotovo pola toplinskih potreba zadovoljiti putem CTS-a. (Euroheat & Power, 2018a). Podaci iz „Heat Roadmap Europe“ projekta¹ pokazuju da se njihov udio u budućnosti može sa sadašnjih 13 % učetverostručiti do gotovo 50 %. Tablica 1 prikazuje prvih 5 država u svijetu prema raznim kriterijima korištenja CTS-a.

CTS-i imaju veliki potencijal za provedbu tranzicije u toplinskom sektoru i s tehničke i organizacijske strane. Njihovom primjenom se omogućuje integracije OIE, povećanje sveukupne učinkovitosti te integracija sektora grijanja, proizvodnje električne energije te transporta. Neki sustavi imaju probleme s lošim održavanjem, visokim cijenama toplinske energije te manjkavim mogućnostima regulacije na strani korisnika što sve zajedno šteti javnoj slici CTS-a.



ec.europa.eu/eurostat

Slika 3: Potrošnja energije u EU kućanstvima (Izvor: EK, 2019c)

¹ <http://www.heatroadmap.eu/EU-Heating-and-Cooling-Strategy.php>

Tablica 1: Top 5 država u korištenju CTS-a, Ožujak, 2015. (Euroheat & Power, 2018b)

Prvih pet država	1	2	3	4	5	Nema podataka
Najveći udio stanovnika opsluživan CTS-om	Island (92%)	Latvija (65%)	Danska (63%)	Estonija (62%)	Litva (57%)	Kina i Japan
Najveći kapacitet sustava u 2013 (GWth)	Kina (463)	Poljska (56.5)	Njemačka (49.7)	Južna Koreja (30)	Finska / Češka (23)	Danska i Švedska
Najveći porast duljine mreže između 2009. i 2013.	Italija (58%)	Norveška (53%)	Švicarska (52%)	Kina (43%)	Švedska / Austrija (21%)	Island Rumunjska, Južna Koreja Slovačka
Najveća prodaja toplinske energije u 2013. (milijuna TJ)	Kina (3.2)	Njemačka (0.26)	Poljska (0.25)	Švedska (0.18)	Južna Koreja (0.17)	Rumunjska
Najveći udio obnovljivih izvora energije (bez kogeneracijskih postrojenja)	Island (76%)	Norveška (61%)	Danska (46%)	Francuska (39%)	Švicarska (31%)	Bugarska, Kina, Hrvatska, Italija, Japan, i Južna Koreja

2.1 Klasifikacija sustava

“**Centralizirani toplinski sustav**” se može klasificirati na razne načine. Prema Eurostatu (EK, 2018c), CTS se bazira na “transportu topline u obliku vruće vode ili vodene pare generirane u centraliziranom postrojenju, najčešće u kogeneracijskom postrojenju ili industriji putem distribucijske mreže do jedne ili više zgrada”. Iako u definiciji nije navedeno, za transport toplinske energije se mogu koristiti i drugi mediji osim vode ili vodene pare. Štoviše, ne treba se ograničiti samo na grijanje, nego se isti sustavi mogu koristiti i u svrhu hlađenja. Tad se često uz (CTS) koristi naziv i „**Centralizirani rashladni sustav**“ (CRS).

Često se u Europskoj energetskej statistici koristi termin „**generirana toplina**“. On se odnosi na totalnu proizvodnju toplinske energije u kotlovnica i kogeneracijskim postrojenjima. Uključuje se potrošnja toplinske energije u samom postrojenju (grijanje prostora, predgrijavanje goriva, itd.) i toplinske gubitke u cijeloj distribucijskoj mreži (toplovodi, toplinske podstanice). U ovaj izračun nisu uključena postrojenja ili dijelovi postrojenja koji proizvode toplinsku i/ili električnu energiju djelomično ili potpuno za svoje potrebe.

Ovi sustavi su u velikoj mjeri specifični za lokaciju na kojoj se nalaze. Uvelike ovise o veličini, klimi, dostupnim izvorima topline i tehnologijama, povijesti i ostalim faktorima. U svrhu kategorizacije ih se može podijeliti u kategorije prema parametrima koji ih opisuju.

2.1.1 Klasifikacija po veličini sustava

CTS može znatno varirati po veličini. Primjerice, mogu se opskrbljivati velika područja kao npr. Grad Kopenhagen, ali se također mogu i mala naselja koja se sastoje od tek nekoliko kuća (Rutz, 2017). Veličina sustava se može opisati preko sljedećih parametara:

- Duljina toplovodnog sustava (ukopana duljina) [m, km]
- Broj toplinskih podstanica
- Broj spojenih potrošača
- Investicijski trošak [M€]
- Razina kompleksnosti sustava (npr. Broj proizvodnih lokacija, broj spojeva, razgranatost mreže)

- Isporučena energija (prodana toplina) [MWh, GWh, TWh]
- Instalirani kapacitet sustava [MW, GW]
- Pokrivena grijana površina [km²]

Navedeni parametri su često u međusobnoj korelaciji. Npr. ako je broj priključenih potrošača velik, u tom slučaju će i ukupna potražnja za energijom biti visoka. Također će i investicijski trošak biti visok, ali postoje iznimke. Npr. za slučaj malog broja spojenih potrošača, ali uz visoku specifičnu potrošnju energije kao što je slučaj sa industrijom. Stoga ova klasifikacija nema stroge definicije i pragove za upad u određene kategorije sustava pa se koristi samo za opis sustava u širokom smislu.

Često se koriste termini mikromreža (engl: *microgrid*), mali te veliki CTS. **Veliki CTS** ima dužu tradiciju korištenja te se često povezuje s konceptom kogeneracije, dok se u novije vrijeme u sve više sustava uvodi integracija OIE kao npr. geotermalna energija te energija iz biomase. U sljedeća dva odlomka su definirani mali i mikro CTS.

Mali toplinski sustavi su sustavi koji toplinskom energijom opskrbljuju relativno mali broj potrošača. Potrošači pripadaju u skupinu kućanstva i srednje velike industrije. Najčešće se koriste u manjim naseljima, ali mogu, iako rijetko biti kombinirani s većim sustavima. Kao izvor energije se često koriste obnovljivi izvori energije koji se mogu kombinirati kao solarni kolektori, biomasa, dizalice topline te otpadna toplina iz industrije. Fosilna goriva se u pravilu koriste samo u vršnim kotlovima ili kao rezerva. Ovaj tip mreža radi po tržišnim načelima te je veći od mikro mreže.

Mikro toplinski sustavi se uobičajeno instaliraju za još manji broj potrošača, od 2 do 10. Prednost ovog tipa sustava je u brzini i jednostavnosti izgradnje i izostanka dugotrajnih javnih procedura zbog malog broja korisnika. Korisnici se međusobno dogovaraju o načinu izračuna cijene iskorištene toplinske energije te tko preuzima upravljanje nad sustavom.

Kod ovih sustava je bitno ne predimenzionirati mrežu i njene komponente jer nepovoljno dimenzionirani sustav uzrokuje visoke toplinske gubitke i nepotrebne investicijske troškove.

2.1.2 Klasifikacija prema povijesnom razvoju u geografskim regijama

Zbog činjenice da su različiti dijelovi Europe pod različitim načelima uvjetovanim povijesnim okolnostima usvajali CTS, može se napraviti i podjela s obzirom na lokaciju.

Sjeverna i središnja Europa

CTS-i koji se nalaze u sjevernoj i središnjoj Europi dijele tehničke sličnosti. Uobičajeno rade na temperaturnom rasponu 120-80 / 50-40°C. Još uvijek postoje sustavi bazirani na vodenoj pari, ali su mnogi u procesu prenamjene na korištenje vruće vode. Također postoji trend smanjenja temperaturnog režima sustava kod postojećih, dok se novi sustavi u prikladnim naseljima planiraju za temperaturni režim 70/40 ili 60/30°C. Protok i temperatura vode u sustavu se prilagođuju prema potrebama, dok se u svrhu smanjenja gubitaka koriste predizolirane cijevi te cijevi od polietilena kod manjih potrebnih dimenzija cijevi. Sve više se u proizvodnju toplinske energije uključuju OIE kao biomasa, dizalice topline te solarni kolektori.

Posebnu ulogu u razvoju CTS-a u Europi ima Danska. U Danskoj je CTS jedan od najčešćih načina grijanja prostora i potrošne tople vode. U Kopenhagenu se više od 98% svih grijanih prostora prema površini grije putem CTS-a. Ovi sustavi su već u prošlosti bili viđeni kao način smanjenja ovisnosti o uvoznim fosilnim gorivima te povećanja sigurnosti opskrbe. Danska je s ciljem povećanja cjenovne učinkovitosti sustava bila podijeljena na male zone. Zatim su se za svaku pojedinu zonu odredila optimalna rješenja problema grijanja: CTS, individualni kotlovi na prirodni plin ili loživo ulje. Provedbom tog programa su se spriječile dvostruke investicije u plinsku te toplovodnu mrežu. Ipak, većina kućanstva se priključila na CTS jer je postojao ekonomska opravdanost tog postupka zbog porezne politike.

Nakon 2000. se promijenio fokus na povećanje energetske učinkovitosti u razvodnom sustavu i poboljšanje načina rada komponenata sustava kod krajnjih kupaca. Počinju se primjenjivati OIE kao biomasa, solarni kolektori, te tehnologije poput toplinskih spremnika, dizalica topline, geotermalne energije, itd. Ovo restrukturiranje sustava s fokusom na utjecaj na okoliš, energetska učinkovitošću je imalo vrlo povoljan utjecaj na industriju.

Istočna Europa

U istočnoj Europi je CTS dobro poznata i raširena tehnologija. U usporedbi s sustavima u zapadnoj Europi, sustavi u istočnoj Europi i državama bivšeg Sovjetskog Saveza su nastali u potpuno drugačijim okolnostima. Mnogi sustavi su nastali pod vodstvom centralnog planskog ekonomskog sustava te je sad sustav naplaćivanja jedan od najvećih problema s kojim se ti sustavi susreću. Problemi su nastali zatvaranjem velikog dijela energetske intenzivne industrije koja se oslanjala na paru i vruću vodu te je njihovim zatvaranjem nestao velik dio prihoda.

CTS-i u istočnoj Europi su u prošlosti radili sa vodenom parom i vrućom vodom, a cijevi su bile loše izolirane. Cijeli sustav je često bio nefleksibilan. Primjerice, protok vode je bio konstantan, a sustav se prilagođavao prema potrebama samo promjenom polazne temperature vode. Iako jednostavan, ovaj način regulacije ima neke loše strane kao primjerice problem otežane regulacije iznosa dostavljene toplinske energije pojedinom potrošaču. Posljedice ovog načina regulacije se očituju u hidrauličkim nestabilnostima. Tad se mogu pojaviti situacije neravnomjerne dostave toplinske energije nekim kućanstvima na način da se kod nekih osigurava tražena toplinska energija, dok se kod nekih javljaju situacije nemogućnosti zadovoljavanja toplinskih potreba.

Ovaj tip sustava je prvotno bio projektiran za temperaturni režim 150/70°C, ali danas se ti isti sustavi koriste pri nižim temperaturama. Često su se javljali problemi s temperaturnim nestabilnostima, propuštanjem te taloženjem i zaprljanjem izmjenjivačkih površina izmjenjivača topline. Uvođenje novih tehnologija kod ovih sustava je vrlo problematično jer su mnogi sustavi u financijskim problemima.

Novi korisnici CTS-a

U nekim su se Europskim zemljama tek u novije vrijeme počeli primjenjivati CTS-i. Problem s kojim se u tom slučaju te zemlje suočavaju je nepripremljenost samih sustava unutar kuća za uvođenje CTS-a jer mnoge kuće nemaju centralizirani sustav grijanja. Ovdje se javlja potreba za značajnim investicijama vlasnika kuća.

Drugi izazov je izazov percepcije javnosti o centraliziranim toplinskim sustavima. Često postoji negativna percepcija u javnosti da je to centralizirana i socijalistička tehnologija i to odvraća potrošače jer se ne žele oslanjati na javnu uslugu, posebice u Nordijskim državama i južnim dijelovima Europe.

Ipak, u zadnje vrijeme se ta slika postepeno poboljšava. Tomu najviše pridonose poboljšanja u energetske učinkovitosti, cjenovnoj kompetitivnosti i korištenje obnovljivih izvora energije (npr. solarni kolektori i biomasa). Ideja iza ovih novih sustava je uključiti integraciju sektora (toplina, električna energija, transport). Većina ovih sustava pripada u kategoriju malih sustava.

2.1.3 Klasifikacija po korištenoj tehnologiji i generaciji sustava

Može se razlikovati 4 generacije sustava s obzirom na korištenu tehnologiju i vremenski period u kojem su izgrađeni. (Lund, 2014).

Prva generacija

Prva generacija CTS-a se bazira na dostavi toplinske energije putem vodene pare visoke temperature dobivene izgaranjem ugljena. Prvi takvi sustavi su nastali 1880-ih u SAD-u te se ubrzo proširili i u Europu.

Ovakvi sustavi su bili vrhunac tehnologije do 1930-ih. Za izradu distribucijske mreže su se koristili betonski kanali te su sustavi ove generacije bili poprilično neučinkoviti. Često su se javljali problemi s pouzdanošću i sigurnosti uslijed visokih temperatura i povišenog tlaka u distribucijskim vodovima. Sad se veći dio ovih sustava prenamjenjuje u sustave naprednijih generacija, ali ipak neki kao u New York-u i Pariz-u se još koriste u režimu rada s parom. (Lund, 2014)

Druga generacija

Druga generacija se razvila 1930-ih te su se ovakvi sustavi gradili sve do 1970-ih. Kao gorivo se u ovim sustavima koristi ugljen i loživo ulje, a za dostavu toplinske energije se koristi voda pod povišenim tlakom. Koristi se voda temperature polaza više od 100°C, a cijevi putem kojih se toplina dostavlja do korisnika su polagane u betonske kanale koji su se sklapali na mjestu instalacije. Glavni razlog instalacije ovih sustava je mogućnost postizanja ušteda primarne energije pojavom kogeneracijskih postrojenja. Tipični sustavi ove generacije su sovjetski sustavi koji su se ugrađivali prvenstveno u istočno-europskim gradovima poslije drugog svjetskog rata. Iako primarno sovjetski sustavi, pojavili su se i u drugim državama. (Lund, 2014)

Treća generacija

Treća generacija se razvija tokom 1970-ih te je usvojena od strane gotovo svih CTS-a širom svijeta. Nazvana je i „Skandinavska“ jer je veliki dio proizvođača opreme iz Skandinavije. Koriste se pred-fabricirane pred-izolirane cijevi koje se direktno ukopavaju pod zemlju. Temperaturni režim rada je niži te sustav radi većinom ispod 100 °C. Primarna motivacija uvođenja ovo sustava je poboljšanje sigurnosti opskrbe i povećanja energetske učinkovitosti potaknuto dvjema naftnim krizama. Zbog toga su ti sustavi bazirani oko ugljena, biomase, i otpada kao izvora energije, dok se nafta većim djelom pokušavala izbjeći. Kod nekih sustava se kao izvor energije koriste i sunčeva te geotermalna energija. (Lund, 2014). Primjerice, Pariz od 1970-ih koristi geotermalnu energiju temperaturnog režima 55-70°C koji se nalazi 1 do 2 km ispod površine za grijanje prostora.

Četvrta generacija

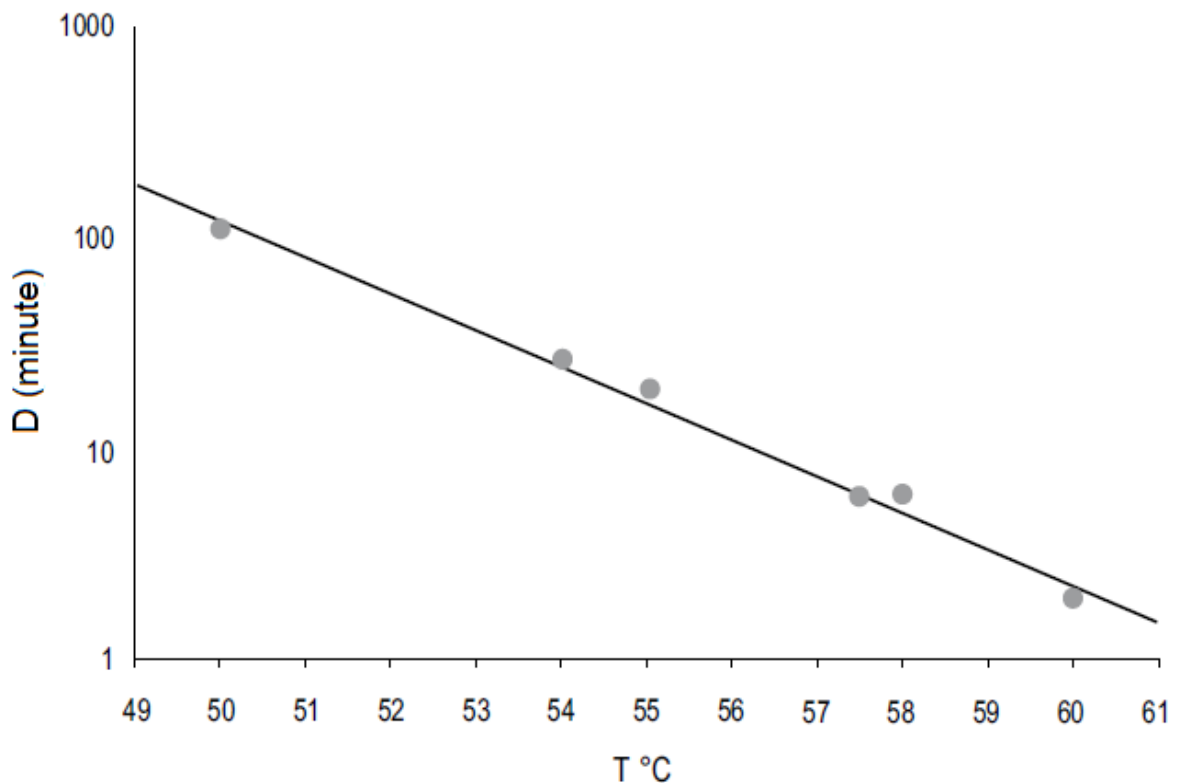
Trenutno se razvijaju sustavi četvrte generacije (Lund, 2014) kao na primjer u Danskoj (Yang, 2016). Svrha CTS-a četvrte generacije je borba protiv klimatskih promjena putem integracije visokog udjela obnovljivih izvora energije te omogućujući visoku fleksibilnost elektro-energetskog sustava.

Prema Lund, (2014), ti sustavi moraju zadovoljiti sljedeće kriterije:

- Opskrba nisko-temperaturne vode za grijanje prostora i potrošnu toplu vodu (PTV) postojećih zgrada, energetski obnovljenih zgrada te novih nisko-energetskih zgrada.
- Distribucije toplinske energije uz niske toplinske gubitke.
- Recikliranje topline iz nisko-temperaturnih izvora te integracija OIE kao što su solarna i geotermalna energija.
- Mogućnost integracije u pametne energetske sustave (npr. pametna električna mreža, plin, vodovodne mreže i toplinske mreže)
- Sposobnost osiguravanja odgovarajućih struktura planiranja, procjene troškova i motivacije u odnosu na rad sustava, kao i strateških ulaganja vezanih za transformaciju u buduće sustave održive energije.

U usporedbi s prethodnim generacijama, temperaturne razine četvrte generacije toplinskih sustava smanjene su na temperature od 70°C i niže kako bi se povećala energetska učinkovitost sustava. Potencijalni izvori topline su otpadna toplina iz industrije, kogeneracijska postrojenja na otpad, elektrane na biomasu, sustavi geotermalne i solarne energije (centralno solarno grijanje), velike dizalice topline, otpadna toplina iz rashladnih sustava (npr. hlađenje podatkovnih centara) i ostali izvori topline.

S tim izvorima energije i velikim pohranama toplinske energije, uključujući sezonske akumulatore toplinske energije, očekuje se da će CTS-i 4. generacije osigurati fleksibilnost za uravnoteženje proizvodnje energije iz vjetra i solarne energije. Primjerice, dizalice topline se mogu koristiti kod viškova proizvodnje električne energije iz energije vjetra (Lund, 2014). Stoga se velike dizalice topline smatraju ključnom tehnologijom za pametne energetske sustave s visokim udjelom obnovljivih izvora energije do 100% i naprednim CTS-ima 4. generacije (Lund, 2014). Izazov nisko-temperaturnog CTS-a je osiguravanje minimalne temperature potrošne tople vode u svrhu sprječavanja kontaminacije legionela bakterijama otpornim na temperature više od 50 ° C na nekoliko sati. (Slika 4).



Slika 4: Decimalna vremena smanjenja za slučaj *Legionella pneumophila* serogroupe 1 na različitim temperaturama (World Health Organization, 2007)

Ovisno o veličini spremnika tople vode i propisanim nacionalnim zahtjevima, može biti potrebno grijati potrošnu toplu vodu trajno ili barem privremeno na temperaturu od 60°C. To uobičajeno zahtijeva nešto višu temperaturu prolaza u sustavu. Međutim, postoje tehnička rješenja koja osiguravaju temperaturu potrošne tople vode od 60°C, čak i ako je temperatura polaza u sustavu niža.

2.1.4 Klasifikacija prema tehničkim karakteristikama

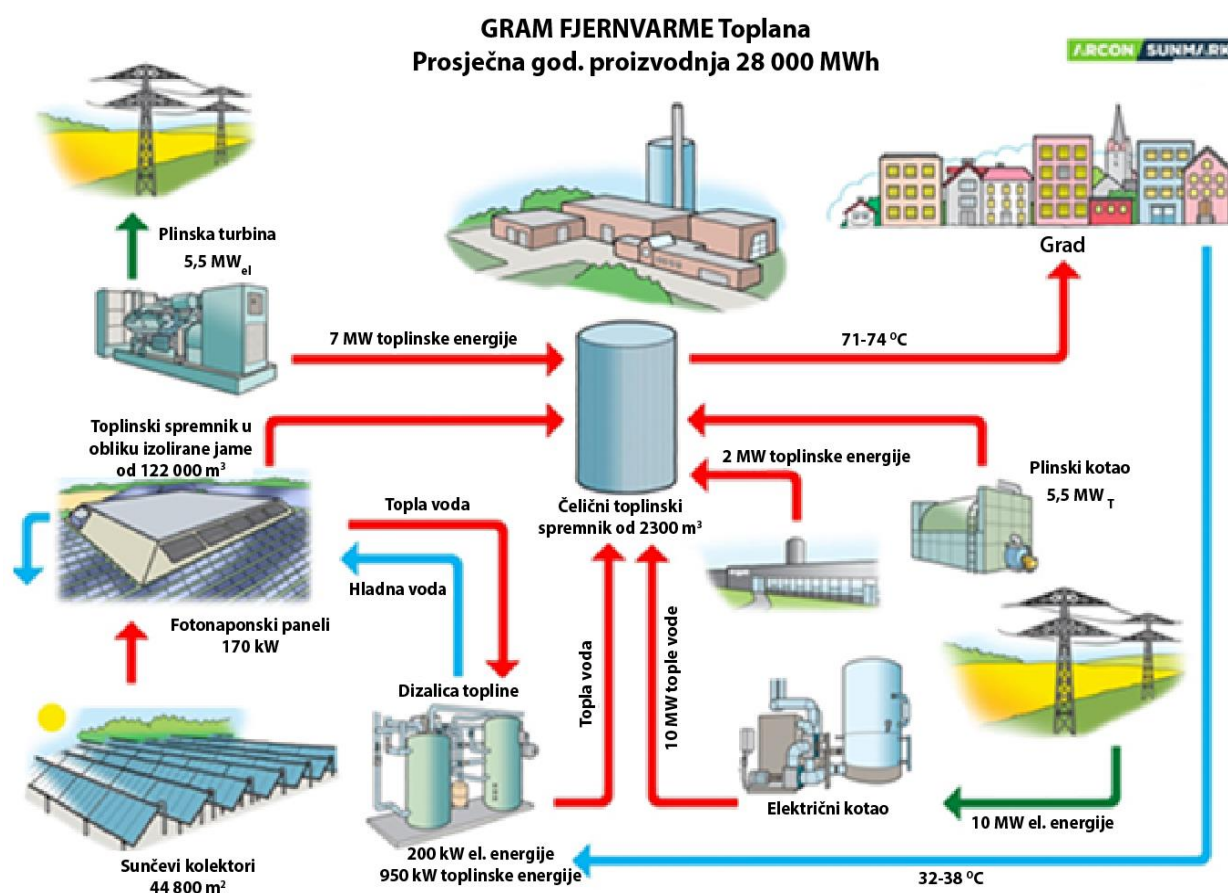
Klasifikacija CTS se može napraviti i prema tehničkim karakteristikama. U ovom se poglavlju opisuju neke od najčešćih podjela.

Podjela prema proizvodnji toplinske energije

CTS se mogu klasificirati prema lokaciji proizvodnje topline u centralizirane i decentralizirane toplinske sustave. Povijesno gledano, većina CTS-a je radila s jednim ili samo nekoliko **centraliziranih** jedinica za proizvodnju topline. Obično se toplina iz kogeneracijskih postrojenja na ugljen, plin ili naftu isporučivala u CTS. Takvi sustavi su često koristili samo manje toplinske spremnike sa svrhom uravnoteženja rada sustava i maksimizacije proizvodnje električne energije.

Međutim, danas postoji sve veći broj **decentraliziranih** toplinskih sustava koji koriste toplinu iz raznih decentraliziranih proizvodnih postrojenja. Velik broj takvih sustava se nalazi u Danskoj. Slika 5 prikazuje primjer decentraliziranog toplinskog sustava Gram. U tom se sustavu koriste tehnologije kao što su solarni kolektori, kogeneracija na prirodni plin, otpadna toplina iz industrije, dizalica topline, električni kotao, dnevni spremnik i sezonski spremnik.

Iako u CTS-ima još uvijek dominiraju fosilna goriva, postoji trend korištenja obnovljivih izvora energije kao npr. geotermalna energija, solarna, biomasa, „power to heat“ opcije te otpadna toplina iz industrije i uslužnog sektora.



Slika 5: Decentralizirani toplinski sustav sa raznim izvorima topline, Gram, Danska (Izvor: <http://www.gram-fjernvarme.dk>)

Podjela prema distribuciji toplinske energije

CTS distribuira toplinu putem toplovodne mreže kroz koju se transportira medij za prijenos topline koji prenosi toplinu s proizvodnih postrojenja do krajnjih korisnika. Ovisno o vrsti potrošača, starosti sustava, itd., se mogu koristiti para i voda kao medij za prijenos topline. Različiti temperaturni režimi se često povezuju s različitim generacijama sustava, kao što je ranije spomenuto.

Na primjer, **para** se uglavnom koristila u prvoj generaciji CTS-a. Međutim, neki sustavi i danas koriste paru, osobito kad se među potrošačima nalazi i industrija. Para je prilično neučinkovita u ulozi nositelja topline zbog visoke temperature. U sustavima prve generacije često nije postojala čak ni povratna cijev za kondenzat čineći sustav otvorenim pa se kondenzat odvodio u kanalizaciju.

U većini se današnjih sustava para izbacuje iz upotrebe te se zamjenjuje **vrućom vodom** na različitim temperaturnim režimima. Budući da je za proces transporta fluida kroz cijev potreban gradijent tlaka, toplovodne mreže su uvijek pod tlakom. To znači da temperatura u CTS-u može biti iznad 100 °C s još tekućom fazom vode u distribucijskom sustavu, budući da je točka vrenja vode pod uvjetima pod tlakom iznad 100 °C. Danas mnogi CTS-i još uvijek rade s temperaturom vode u sustavu od 100 °C ili više. Iako ovi sustavi mogu biti vrlo učinkoviti, rizik od viših toplinskih gubitaka, a time i gubitaka učinkovitosti povećavaju se s visokim temperaturama. To se posebno odnosi na sustave koji koriste loše izolirane cijevi.

Mnogi CTS-i rade s temperaturama znatno ispod 100 °C. Ako se kombiniraju s pred-izoliranim cijevima za veću učinkovitost, to može rezultirati višestrukim koristima, uključujući smanjenje gubitaka u distribucijskoj mreži ispod 10 % i mogućnost korištenja nisko-temperaturne energije iz obnovljivih izvora energije, a viškovi se mogu pohranjivati u toplinske spremnike. Zbog ovih prednosti, opći trend razvoja je prema **nisko-temperaturnom CTS-u** s temperaturom polaza ispod 50 °C i „pomoćnim jedinicama“ na strani potrošača. Primjenjivost ovih sustava ovisi o priključenim zgradama i infrastrukturi grijanja zgrada.



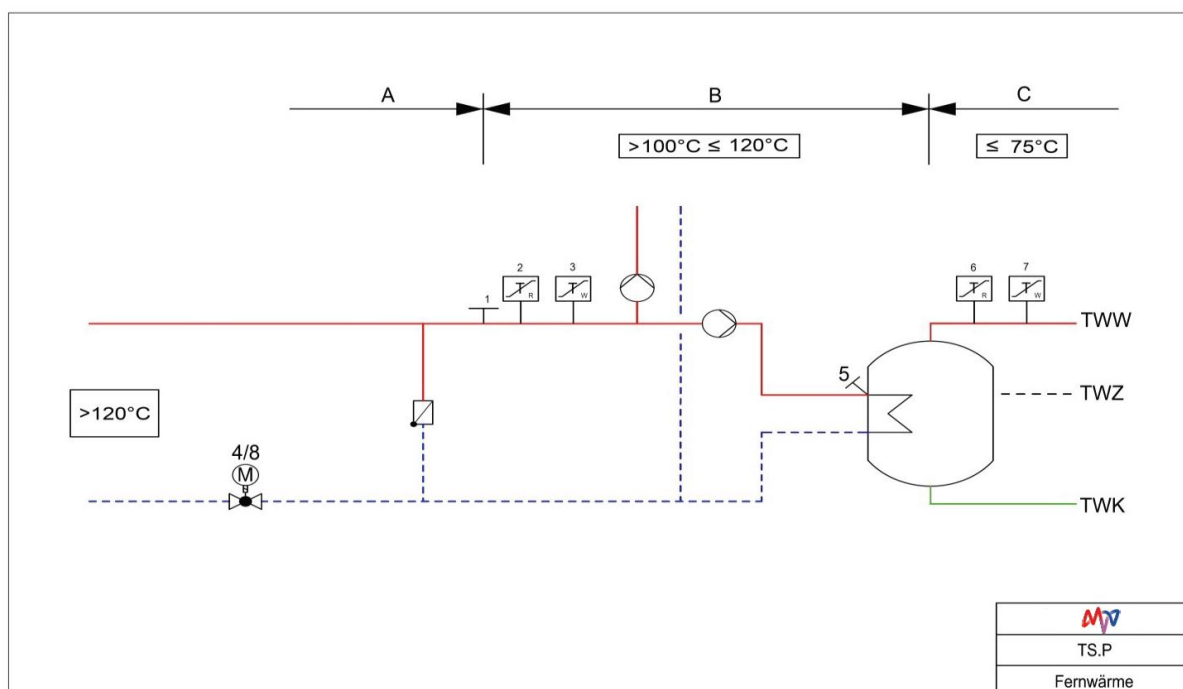
Slika 6: Nisko-temperaturni CTS omogućuje primjenu plastičnih cijevi (u ovom slučaju dvostruka pred-izolirana), koje su jeftinije i lakše za instalaciju (Izvor: B. Doračić)

Podjela prema potrošnji energije

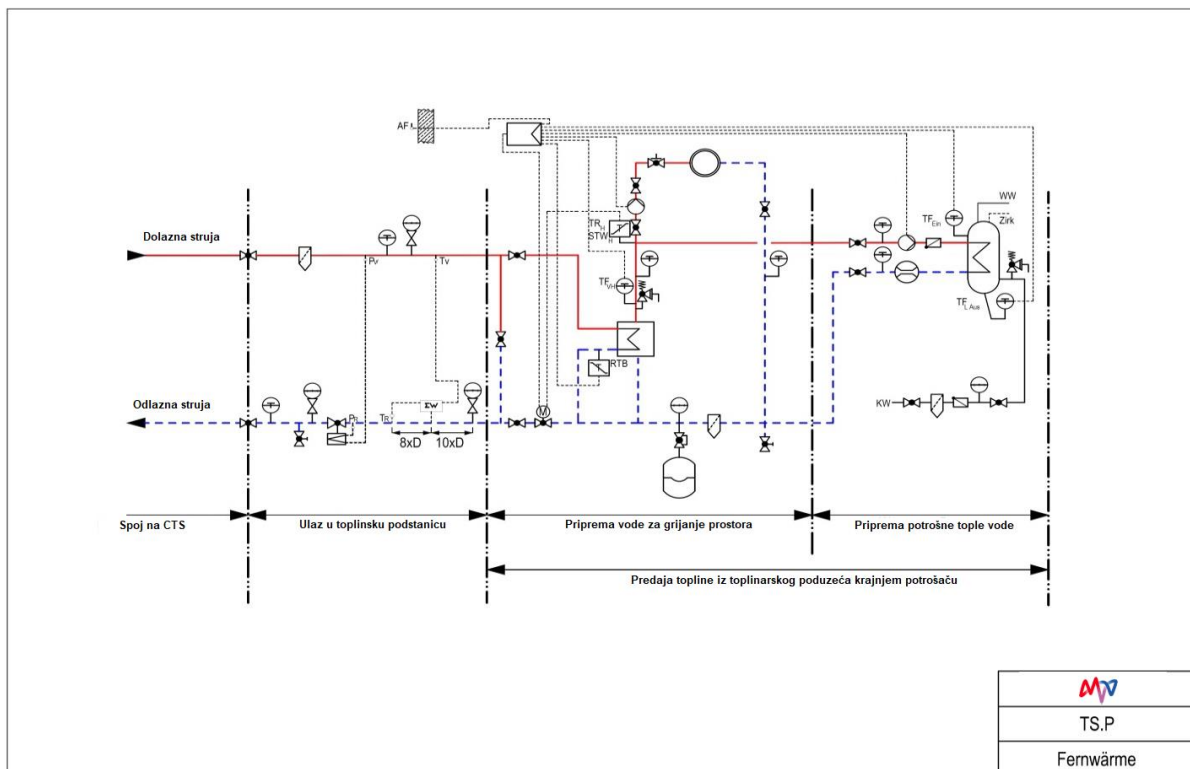
Toplina se obično prenosi do krajnjeg potrošača putem distribucijskih mreža različitih razina (Slika 2), kako je klasificirano u smjernicama AGFW (AGFW FW 510, 2018). **Primarna mreža** se sastoji od cijevi koje su posredno (putem izmjenjivača topline) ili izravno povezane s generatorima topline. **Sekundarna mreža** je odvojena od primarne mreže toplinskom podstanicom s različitim parametrima sustava. **Tercijarna mreža** je kućna instalacija krajnjeg korisnika. U nekim sustavima postoji samo jedna ili dvije razine.

Nadalje, može se izvršiti podjela na izravne i neizravne sustave. U **izravnom sustavu** medij za prijenos topline (koji se naziva i **strujna voda**) iz primarne mreže teče izravno kroz instalacije potrošača. U tim sustavima voda iz distribucijske mreže teče kroz cijevi i radijatore u zgradama. Ipak, zbog značajnih nedostataka izravnih sustava (npr. visokih temperatura, problema u slučaju istjecanja), oni se postupno ukidaju. Danas su **neizravni sustavi** najčešći, u kojima je primarna mreža odvojena od instalacija potrošača putem izmjenjivača topline.

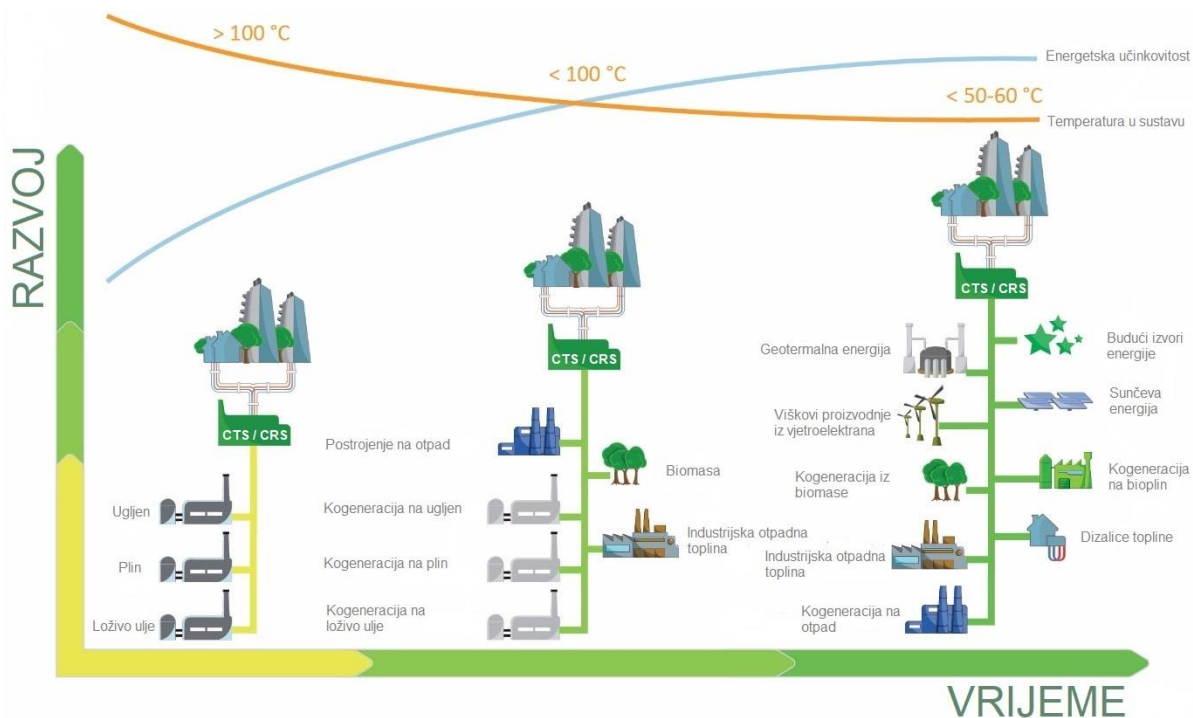
Druga klasifikacija na strani potrošača uključuje sustave koji opskrbljuju **toplinu samo za grijanje prostora** ili sustave koji opskrbljuju toplinu i za grijanje prostora i za pripremu potrošne tople vode. **Sustavi koji osiguravaju i toplu vodu** moraju raditi cijelu godinu, dok se sustavi za grijanje prostora mogu isključiti tijekom ljeta. U ovim sustavima se topla voda obično priprema s električnim kotlovima. Međutim, u modernim se CTS-ima, koji koriste izvore topline kao što su sunčeva energija i otpadna toplina, također isporučuje i potrošna topla voda kućanstvima s ciljem povećanja broja radnih sati godišnje, a time i opravdanosti cijelog sustava.



Slika 7: Shema direktnog sustava (Izvor: MVV Netze, 2015)



Slika 8: Shema neizravnog sustava (Izvor: MVV Netze, 2015)



Slika 9: Razvoj CTS-a s vremenom (Izvor: Euroheat & Power)

2.2 Pregled današnjeg stanja CTS-a u Europi

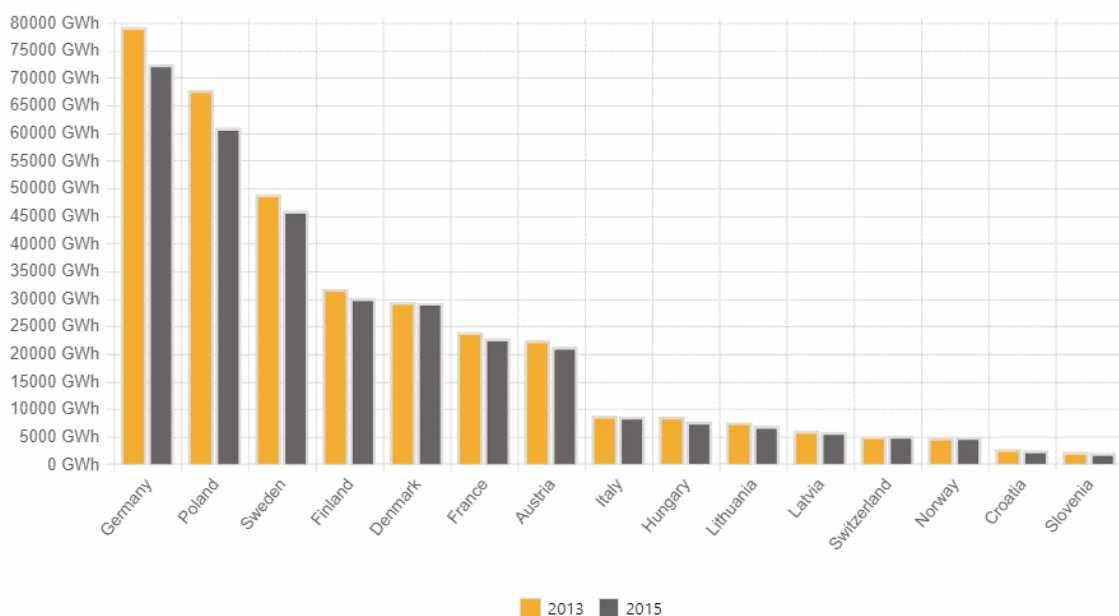
Kod razvoja tehničkih i ne-tehničkih opcija nadogradnje CTS-a je potrebno poznavanje povijesnog razvoja i trenutnog stanja tržišta toplinarskih usluga u Europi. Detaljan statistički pregled postojećeg stanja CTS-a u Europi pruža izvješće „Euroheat & Power“ (2017.) za svaku zemlju. Sljedeći odlomci se temelje na istraživanju provedenom od strane Gerdvilla-e (tržišni podaci iz 2015.) s članovima i suradnicima Euroheat & Power-a.

Ukupan udio CTS-a u opskrbi toplinskom energijom europskih kupaca je još uvijek relativno malen. Taj udio iznosi oko 11-12% potražnje za toplinskom energijom EU-a koju osigurava 6.000 toplinskih sustava. CTS je tradicionalno najzastupljeniji u hladnim zemljama sjeverne i istočne Europe. Kao što prikazuje Slika 10, najveći broj korisnika CTS-a se nalazi u Njemačkoj, a slijede ga Poljska i Švedska dok ga u južnoj Europi trenutno koristi neznatan udio. Oko 60 milijuna građana EU-a opslužuje CTS, a dodatnih 140 milijuna živi u gradovima s najmanje jednim sustavom.

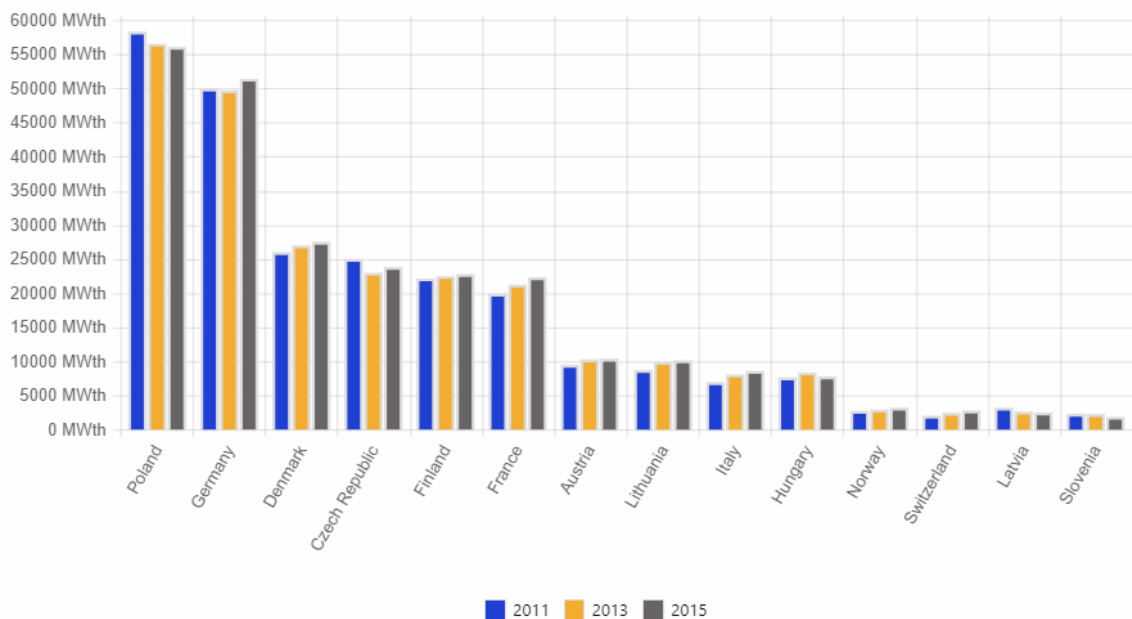
Ukupna instalirana snaga CTS-a se povećala u deset zemalja od 2011. (Slika 11), dok je najveći postotni porast zabilježen u Švicarskoj (36%), a slijede Italija (24%), Norveška i Litva (obje 16%).

Udio centraliziranih sustava grijanja i hlađenja u usporedbi s ostalim sustavima grijanja je najveći u Danskoj, Litvi, Švedskoj, Poljskoj i Finskoj, kao što prikazuje Slika 12. Udio u ostalim državama je ispod 15%, a najuočljiviji pad udjela je ostvaren u Švedskoj, gdje je uslijed niskih cijena električne energije velik broj kupaca odabrao električno grijanje, uključujući dizalice topline. Tad se udio električnog grijanja povećao za 4%.

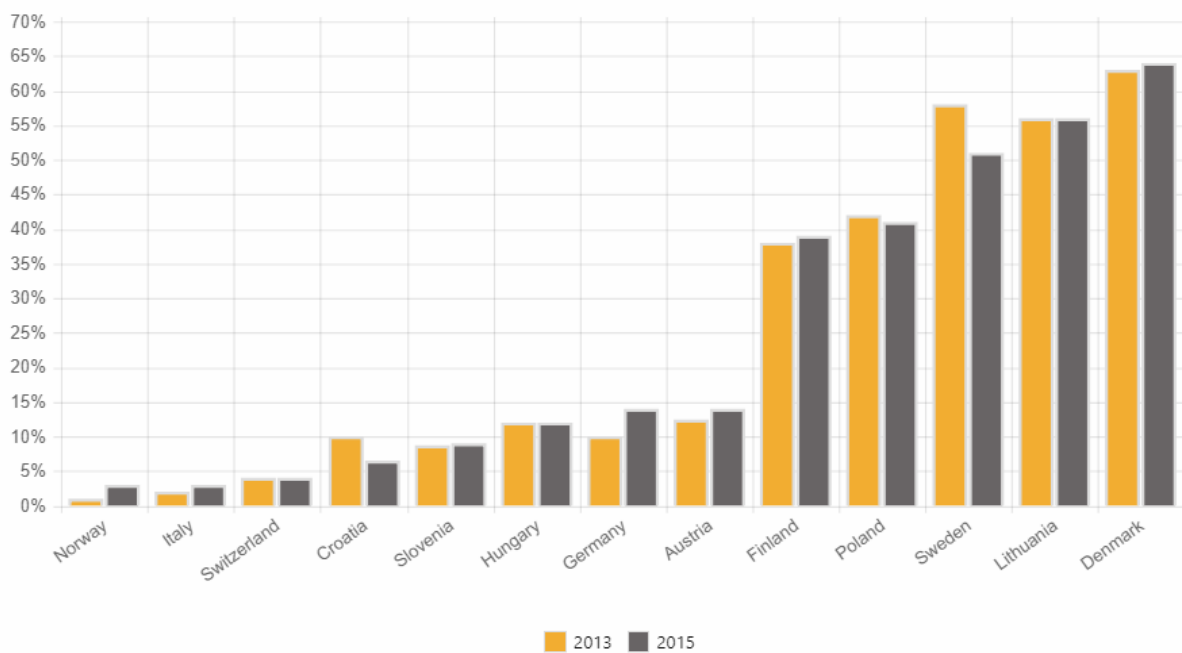
Općenito, centralizirani sustavi grijanja i hlađenja koriste u sve većoj mjeri energiju iz OIE kao što prikazuje Slika 13. Od 2011. do 2015. se udio obnovljive energije u ovim sustavima povećao za 10%.



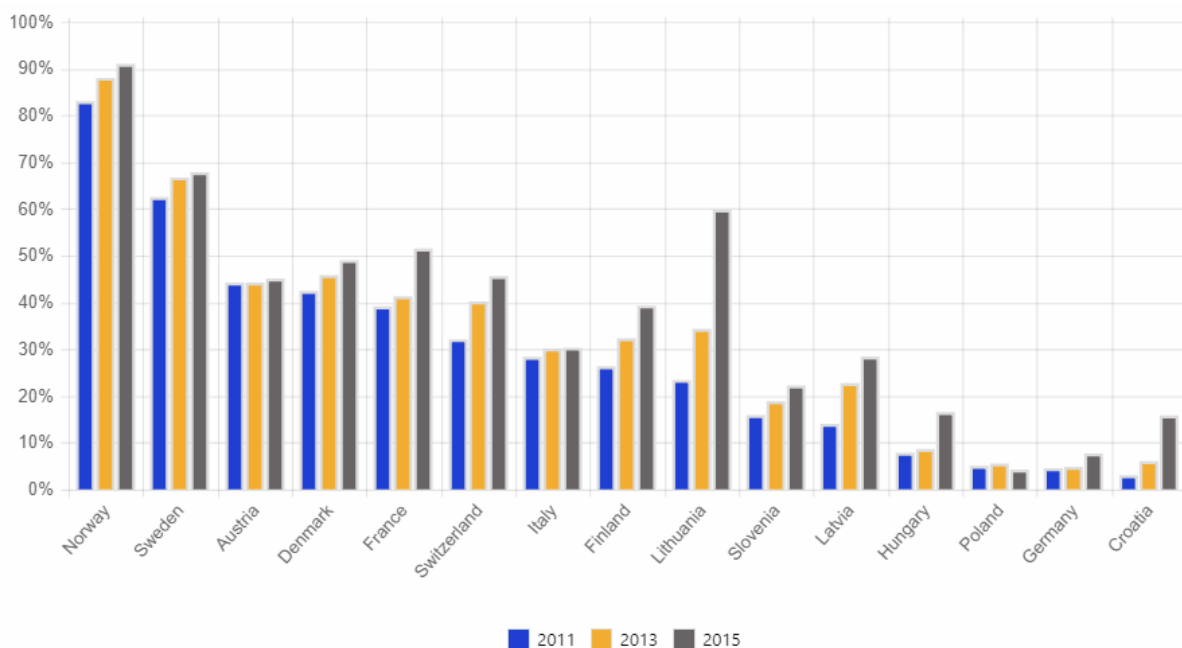
Slika 10: Prodana toplinska energija u GWh (Izvor: Executive Summary, Gerdvila, Country by Country 2017, Euroheat & Power)



Slika 11: Ukupan instalirani kapacitet CTS-a (u MW_{th}) (Izvor: Executive Summary, Gerdvila, Country by Country 2017, Euroheat & Power)



Slika 12: Udio centraliziranih sustava grijanja i hlađenja u usporedbi s ostalim tehnologijama u Europi (Izvor: Executive Summary, Gerdvila, Country by Country 2017, Euroheat & Power)



Slika 13: Udio obnovljivih izvora energije u centraliziranim sustavima grijanja i hlađenja u Europi (Izvor: Executive Summary, Gerdvila, Country by Country 2017, Euroheat & Power)

2.3 Opći okvirni uvjeti: konkurencija CTS-u

Iako u Europi postoji više od 7.000 CTS-a, oni pokrivaju tek oko 13% potreba za toplinskom energijom europskih zemalja. To pokazuje da se većina zgrada još uvijek zagrijava na druge načine, uglavnom individualnim rješenjima grijanja na razini kućanstva ili zgrade. Postoje mnogi razlozi za ovu situaciju, koji će biti razjašnjeni u ovom poglavlju.

Udio CTS-a u pokrivanju potreba za toplinskom energijom određene zemlje značajno ovisi o zemljopisnom položaju dotične zemlje, ali i o povijesnom razvoju. Danska, Litva i Švedska su europski lideri u smislu korištenja CTS-a. Udio kućanstava priključenih na CTS na Islandu iznosi 92%, a potpuno je obnovljiv jer koristi geotermalnu energiju. Danska je također poznata po korištenju održivih energetske rješenja, s 63,3% njezinih građana koji su priključeni na CTS. Međutim, u južnijim dijelovima Europe je potrebno manje toplinske energije pa je stoga udio CTS-a u manjem iznosu. Ipak, grijanje je još uvijek potrebno tijekom zime u zemljama kao što su Španjolska, Grčka, Portugal, itd., gdje se koriste različita rješenja, npr. klimatizacijski sustavi i pojedinačni kotlovi.

Zemlje istočne Europe često imaju velik udio spojenih građana na CTS, ali se ti sustavi često oslanjaju na velike, stare i neučinkovite proizvodne jedinice pogonjene fosilnim gorivima. Iz tog se razloga često takvi sustavi smatraju lošim rješenjem od strane građana te postoji tendencija odvajanja potrošača od takvih sustava.

U slučaju izdvajanja iz CTS-a, najčešće se usvajaju rješenja kao što su **individualni kotlovi** na razini zgrade ili kuće. Većinom se u takvim kotlovima koriste prirodni plin i biomasa u različitim oblicima (cjepanice, peleti), ali i loživo ulje iako se njegovo korištenje postupno smanjuje. Kotlovi na prirodni plin se uobičajeno zbog razvijene distribucijske mreže prirodnog plina koriste u gradovima. Moderne kotlove karakterizira visoka učinkovitost (iznad 90%) i stoga su popularno rješenje među građanima. Međutim, prirodni plin pripada u fosilna goriva i stoga nije održivo rješenje za grijanje na individualnoj razini. Također, korištenje ovog goriva smanjuje sigurnost opskrbe, budući da većina europskih zemalja ovisi o uvoznom plinu iz zemalja koje nisu članice EU. Nadalje, cijene goriva mogu značajno varirati tijekom vremena te se očekuje rast u budućnosti. Konačno, s energetske točke gledišta nije učinkovito koristiti prirodni plin za proizvodnju energija niže vrijednosti, tj. toplinske energije.

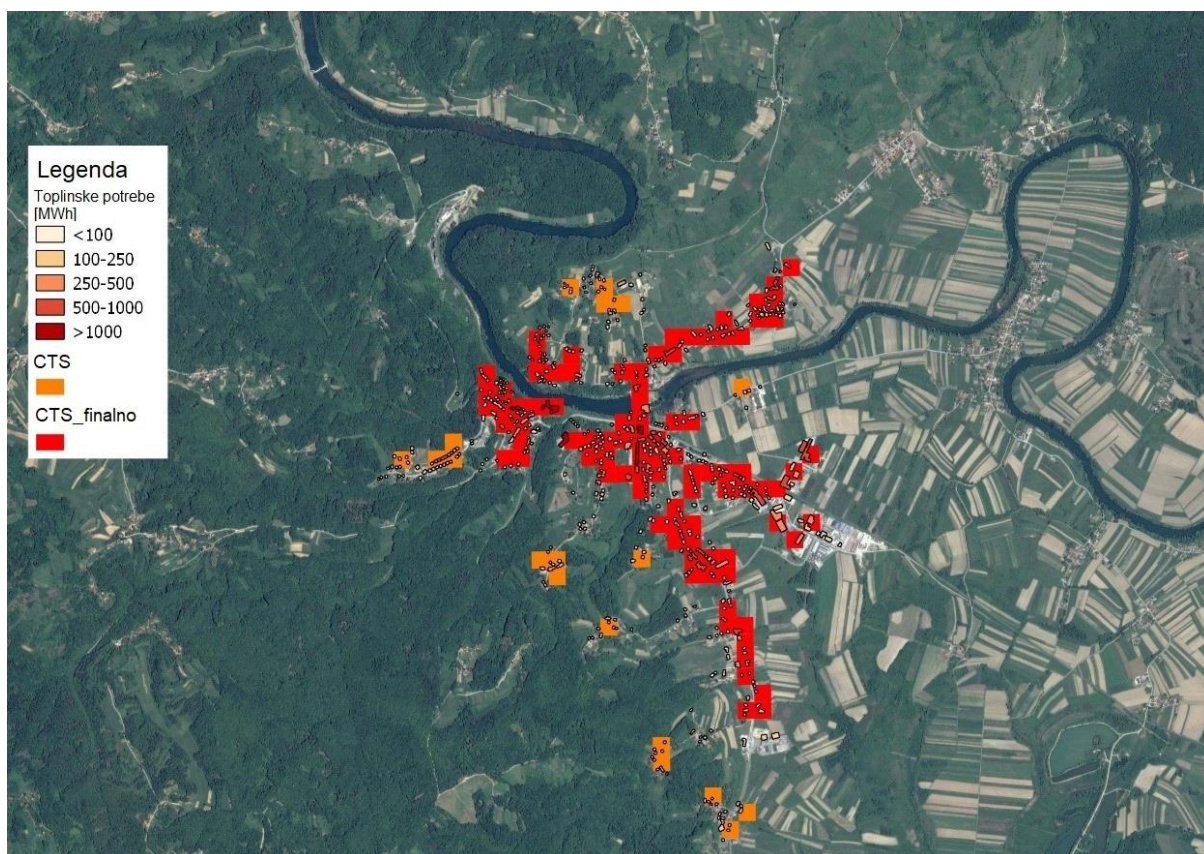
Kotlovi na biomasu se vrlo često koriste u ruralnim naseljima budući da je biomasa obično lokalno dobavljiva te je stoga vrlo jeftina za građane. U nekim zemljama građani posjeduju vlastite šume i stoga imaju besplatan energent za potrebe grijanja. Moderni kotlovi na biomasu imaju visokoučinkovit i kvalitetan sustav filtriranja dimnih plinova koji značajno smanjuje lokalne emisije onečišćujućih tvari. Ti kotlovi mogu biti dobra alternativa CTS-u u područjima niske gustoće potražnje za toplinom. U tim područjima nije isplativo ulagati CTS. S druge strane, postoji problem što mnoga ruralna područja imaju visok udio starih i neučinkovitih kotlova na biomasu što kao posljedicu ima visoke emisije dušikovih oksida, ugljičnog monoksida i čestica. Ovaj problem dolazi do izražaja tijekom zimskih mjeseci, budući da ti zagađivači ostaju na tom području i uzrokuju ozbiljne zdravstvene probleme za građane. Najveća prepreka zamjeni takvih starih kotlova u ruralnim područjima je demografija i niži standard života stanovništva s jedne strane te niski operativni troškovi postojećeg sustava s druge strane.

U zemljama južne Europe, neka kućanstava koriste klima uređaje u svrhu grijanja tijekom zimskih mjeseci. To je izraženo u područjima sa visokim potrebama hlađenja ljeti te niskim potrebama za grijanjem zimi. Klima uređaji ustvari predstavljaju male dizalice topline na principu rada zrak - zrak. U budućnosti se očekuje da će dizalice topline predstavljati značajan izvor toplinske energije u energetske sustavima. Prvenstveno, dizalice topline zrak-voda, zemlja-voda i voda-voda će se koristiti kao alternativa CTS-u u područjima sa niskom gustoćom potražnje za toplinskom energijom. Međutim, način na koji se trenutno koriste dizalice topline zrak-zrak je neučinkovit način grijanja budući da je faktor grijanja (COP) nizak tijekom zime kad postoji najveća potreba za toplinskom energijom.

CTS je ekonomski isplativ u područjima koja karakteriziraju dovoljno visoke gustoće potražnje za toplinskom energijom. Prema tome, većina gradskih četvrti bi se mogla spojiti na CTS. Koristan alat za analizu potencijala CTS-a je mapiranje potražnje za toplinskom energijom putem geografskih informacijskih sustava (GIS), koji mogu u grafičkom obliku prikazati opseg potencijalnog CTS-a, kao što prikazuje Slika 14.

Potencijali u vidu širenja CTS-a su vrlo visoki. Kako bi se postigao održiv i dekarbonizirani sektor grijanja, potrebno je proširiti ove sustave tako da zauzmu mnogo veći udio u opskrbi toplinskom energijom. Povećanje udjela CTS-a se mora kombinirati s mjerama uštede energije kako bi se omogućilo korištenje energije niske temperature proizvedene iz različitih obnovljivih izvora kao što su sunčeva energija, geotermalna, itd. Preostali dio potražnje za toplinskom energijom se u područjima niske gustoće potražnje treba pokriti pojedinačnim dizalicama topline, kao što je ranije spomenuto u ovom poglavlju.

Jedan od najvećih izazova s kojim se suočavaju CTS-i u Europi je velika **konkurencija u obliku prirodnog plina**. Međutim, CTS se također suočava s konkurencijom u ustalim oblicima grijanja. Kad se jednom izabere, sustav grijanja se ne mijenja u dogledno vrijeme. Ovaj problem je u zemljama kao što je Danska riješen na način da su odabrane pojedine zone u kojima je izgrađena infrastruktura potrebna za CTS, a u drugim plinska mreža umjesto toplovodne. Na taj način u određenim lokacijama sva kućanstva moraju biti spojena na javni sustav grijanja, dok u ostalim na plinovod. Međutim, situacija je potpuno drugačija u jugoistočnoj Europi, gdje je su CTS i prirodni plin obično prisutni i dostupni potrošačima u isto vrijeme. Zbog neinformiranosti široke javnosti CTS-u te uz niske cijene prirodnog plina na nekim mjestima, nije neobično da se nove zgrade priključe na mrežu prirodnog plina, a ne na CTS, unatoč njegovoj dostupnosti na lokaciji.



Slika 14. Karta toplinskih potreba za slučaj grada Ožlja u Hrvatskoj. Prikazani su dijelovi grada u kojima je isplativo uvođenje CTS-a (narančasta i crvena polja), (Izvor: Doračić, 2018)



Slika 15. Plinska mreža i CTS u gradu Velika Gorica u Hrvatskoj (Izvor: T. Novosel)

3 Proces nadogradnje

Toplinske mreže predstavljaju veliki potencijal u tranziciji energetskega sektora i s tehničke i organizacijske strane. Njihovim se korištenjem omogućuje uvođenje obnovljivih izvora energije te poboljšanje ukupne učinkovitosti. Također se omogućuje integracija sektora proizvodnje električne energije, toplinske energije te transporta.

Proces poboljšanja učinkovitosti CTS-a je uobičajeno vrlo kompleksan. Sam proces traje dugo te zahtjeva velika investicijska ulaganja. Kod ovih procesa je potrebno razmotriti utjecaj na zgradu, primjerice kod snižavanja temperaturnog režima sustava. Često je potrebna bliska suradnja s vlasnicima zgrada i potrošačima. Tako vremenski dugi i bitni procesi imaju velik utjecaj na cijeli grad što se također ne smije zanemariti. **Iz tih se razloga procesi nadogradnje trebaju planirati daleko unaprijed.**

U idealom slučaju se proces nadogradnje CTS-a **planira kao jedna cjelina** u kojoj se razmatraju sve strane sustava kao što su proizvodnja toplinske energije, distribucija te način vođenja procesa sa svrhom povećanja učinkovitosti cijelog sustava. S obzirom da je takav način vrlo financijski zahtjevan, često se provode samo djelomične modernizacije određenih dijelova sustava. Ovaj pristup pruža prednosti brzine i raspodjele investicijskih troškova kroz dugi niz godina, ali često dolazi do neusklađenosti modernizacije različitih dijelova sustava što cijeli sustav čini lošijim, a poboljšanja manje značajnim. Svaki sustav je vrlo specifičan pa ne postoje standardi koji se mogu primijeniti na svaki sustav tokom modernizacije. Ipak, mogu se koristiti iste procedure u provedbi projekta. Neka od pravila su opisana u sljedećim odlomcima

Bitno je da već u fazi planiranja prisustvuju sve **stranke** sa ciljem osiguranja slaganja mišljenja među raznim stranama. To su: proizvođači toplinske energije, udruženja stanara, predstavnici industrije iz koje se dobavlja otpadna toplina, upravitelj CTS-a, vlasnici zgrada, krajnji potrošači te lokalni dužnosnici. Iz faze planiranja bi trebao proizaći konkretni plan koji uključuje tehničke i organizacijske mjere temeljene na detaljnoj analizi trenutne situacije. S obzirom na visoke investicijske troškove, navedena bi analiza trebala proučiti budući razvoj toplinskih potreba na osnovi trenutnih demografskih trendova i scenarija kao i lokalnih graničnih uvjeta.

Štoviše, potrebno je detaljno razmotriti **pitanje isplativosti** i financiranja predloženih mjera. Trebalo bi odrediti na koje se poslovne i organizacijske modele osloniti u svrhu realizacije planiranih mjera. Ovdje se razmatra i oslanjanje na prikupljanje sredstva (engl: *fundraising*) te razne modele u koje se uključuju i građani.

Također bi se trebalo fokusirati na **povećanje učinkovitosti, kvalitete usluga i konkurentnost**, kao i na **smanjenje emisija CO₂**. Nadalje, potrebno je smanjiti potrošnju primarne energije. CTS je idealan za iskorištavanje viškova topline te za integraciju obnovljivih izvora energije. Također, to bi trebalo rezultirati poboljšanjem javne slike o CTS-u na lokalnoj razini i prihvaćanjem od strane građana kao i uspostavljanjem ovakvih sustava kao rješenjem za energetskega tranziciju. Stoga bi se trebala uspostaviti strategija otvorene komunikacije sa krajnjim potrošačima putem različitih modela sudjelovanja.

Da bi se ispravno iskoristio potencijal CTS-a, prvo je potrebno uzeti u obzir toplinske potrebe potrošača te prikladno nadograditi postojeći sustav, uključujući toplinske podstanice i priključke potrošača: postizanje nižih stopa propuštanja i toplinskih gubitaka, sniženje temperatura u sustavu i prilagođavanje dimenzija cjevovoda prema hidrauličkim načelima. Također je potrebno uvesti informatički sustav upravljanja i mogućnosti kontrole potrošnje energije sa strane kupca. Sve navedeno čini distribuciju i proizvodnju toplinske energije učinkovitijom. Štoviše, olakšava se integracija obnovljivih izvora energije i otpadne topline. U drugom je koraku potrebno posvetiti pažnju distribucijskom sustavu uz njegovu modernizaciju. Udio toplinske energije iz obnovljivih izvora energije i otpada se može uvesti i povećavati postepeno. To se mora provoditi usporedno s predviđanim budućim potrebama za toplinskom energijom kao i s uvedenim mjerama energetskega učinkovitosti na strani potrošača.

3.1 Motivacija operatera za nadogradnjom

Glavna motivacija za provođenje projekata nadogradnje CTS-a je ublažavanje klimatskih promjena kroz dekarbonizaciju sektora grijanja, održivom proizvodnjom topline, kao i smanjenjem troškova. Međunarodni i nacionalni politički te nepolitički okvirni uvjeti utječu na provedbu mjera nadogradnje. Međutim, potrebno je napomenuti da odluke o upravljanju i modernizaciji CTS-a dolaze od njihovih operatera koji mogu imati vrlo različite motivacije za nadogradnju.

U sklopu „Upgrade DH“ projekta su razmatrani provedeni projekti modernizacije CTS-a (projekti dobre prakse) (Upgrade DH, 2018a). Na temelju toga je u sljedećim odlomcima dan pregled različitih mogućih ciljeva nadogradnje te iskustva upraviteljskih poduzeća. Motivacija je podijeljena u tri kategorije: **ciljevi poduzeća, ekonomska korist i utjecaj na okoliš**.

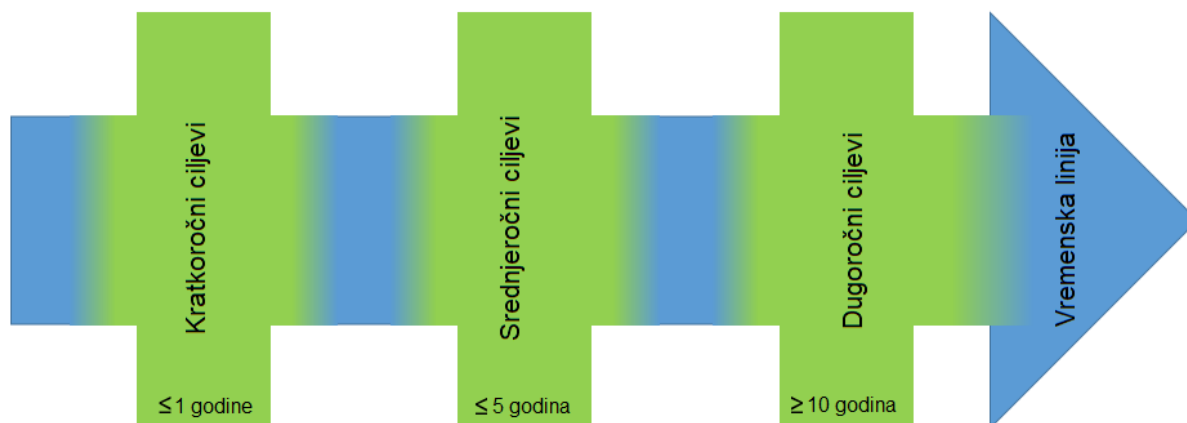
3.1.1 Ciljevi poduzeća

Na strateške ciljeve tvrtke utječe vrsta tvrtke. Toplinarska poduzeća mogu biti javna ili privatna, imati jednog ili više dioničara, biti profitna ili neprofitna. Nadalje, na ciljeve tvrtke utječu marketinški ciljevi (predodžba javnosti o brizi o okolišu toplinarskog poduzeća), političke odluke i pravni zahtjevi. Dakle, ciljeve tvrtke može definirati uprava poduzeća, njeni dioničari ili političari.

Specifični vlastiti ciljevi poduzeća mogu imati velik utjecaj kod donošenja odluka o nadogradnji. U tom je slučaju veća inicijativa za dostizanjem postavljenih ciljeva. Ciljevi poduzeća se mogu podijeliti u tri dimenzije: sadržaj, cilj i vrijeme (Hungenberg i Wulf, 2015). Ove se tri dimenzije mogu nadopuniti dimenzijom opsega primjene, prioriteta i odgovornosti (Töpfer, 2006).

Mjere nadogradnje CTS-a se mogu kategorizirati prema **vremenskom okviru** u kratkoročne, srednjoročne i dugoročne. Vrijeme provedbe kratkoročnih ciljeva je do jedne godine, jer se ti ciljevi često odnose na jednu financijsku godinu, dok je za srednjoročne oko dvije do tri godine. Za dugoročne je to do pet godina, a u iznimnim slučajevima do deset godina (Hungenberg i Wulf, 2015). Kod toplinarskih poduzeća je ta vremenska razdoblja potrebno prilagoditi i proširiti jer je trajanje mjera za poboljšanje općenito dulje od uobičajenih vremenskih okvira. Tad je razdoblje **kratkoročnih ciljeva** i dalje godinu dana, razdoblje za **srednjoročne ciljeve** se povećava na oko pet godina, a razdoblje za **dugoročne ciljeve** je deset ili više godina. Slika 16. prikazuje vremenske okvire pojedinih ciljeva.

Tablica 2 prikazuje različite ciljeve poduzeća identificirane u okviru promatranih projekata u sklopu „Upgrade DH“ projekta (Upgrade DH, 2018a), podijeljeno u tri vremenske kategorije.



Slika 16 Tipični vremenski okvir pojedinih mjera nadogradnje CTS-a

Tablica 2 Ciljevi poduzeća kod nadogradnje sustava

Kratkoročni ciljevi	Srednjeročni ciljevi	Dugoročni ciljevi
<ul style="list-style-type: none"> • Ekonomska dobit • Uštede primarne i sekundarne energije • Optimizacija instaliranih kapaciteta • Povećanje udjela obnovljivih izvora energije 	<ul style="list-style-type: none"> • Transformacija i renovacija sustava korištenjem nove tehnologije • Pridobivanje novih korisnika • Daljnje povećanje udjela obnovljivih izvora energije • Integracija različitih izvora energije/topline 	<ul style="list-style-type: none"> • Održiva proizvodnja toplinske energije • Dekarbonizacija toplinarskog sektora • Konkurentnost u sektoru grijanja • Povećanje sigurnosti dobave topline i stabilnije cijene

3.1.2 Ekonomska korist

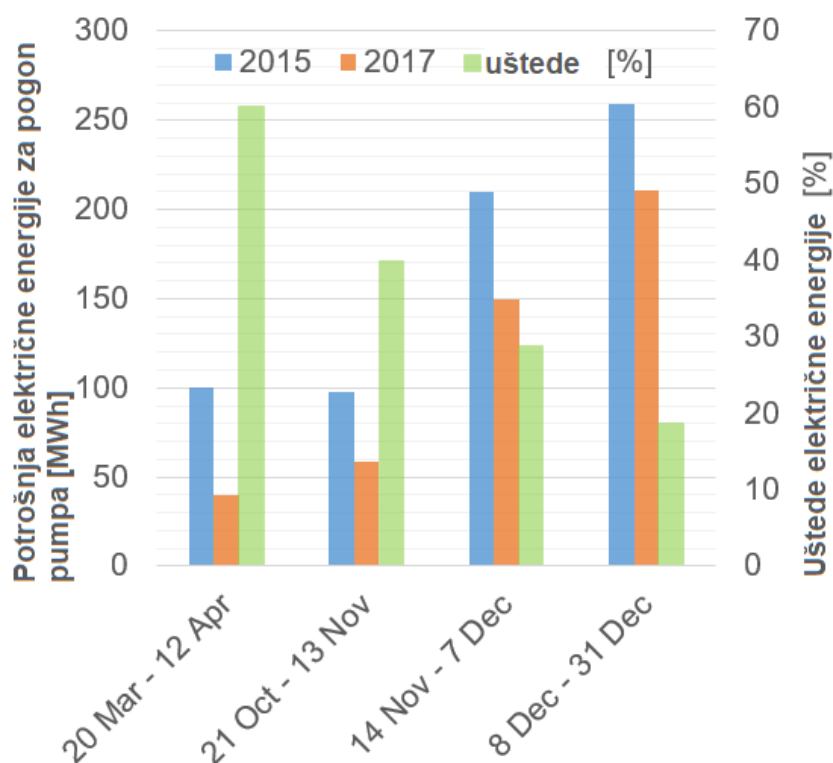
Ekonomске koristi nadogradnje CTS-a se mogu očitovati na tri razine: ekonomske koristi za tvrtku (maksimizacija dobiti), ekonomske koristi za potrošače topline (osobito ako su potrošači dioničari) i ekonomske koristi za lokalno gospodarstvo.

Ovisno o specifičnim ciljevima poduzeća, ključna motivacija poduzeća za provedbu procesa nadogradnje su obično ekonomske koristi. Smanjeni troškovi ili uštede i povećani prihodi se mogu koristiti za daljnja ulaganja, isplate dioničarima ili smanjenje cijena topline što ovisi o ukupnim strateškim ciljevima tvrtke. Ako se maksimizira dobit, strategija je smanjiti operativne troškove uz zadržavanje istih prihoda, što je jednako poboljšanju energetske učinkovitosti sustava i povećanju dobiti. Ako se cijene topline svedu na najmanju moguću mjeru, strategija je samo smanjiti operativne troškove mjerama nadogradnje.

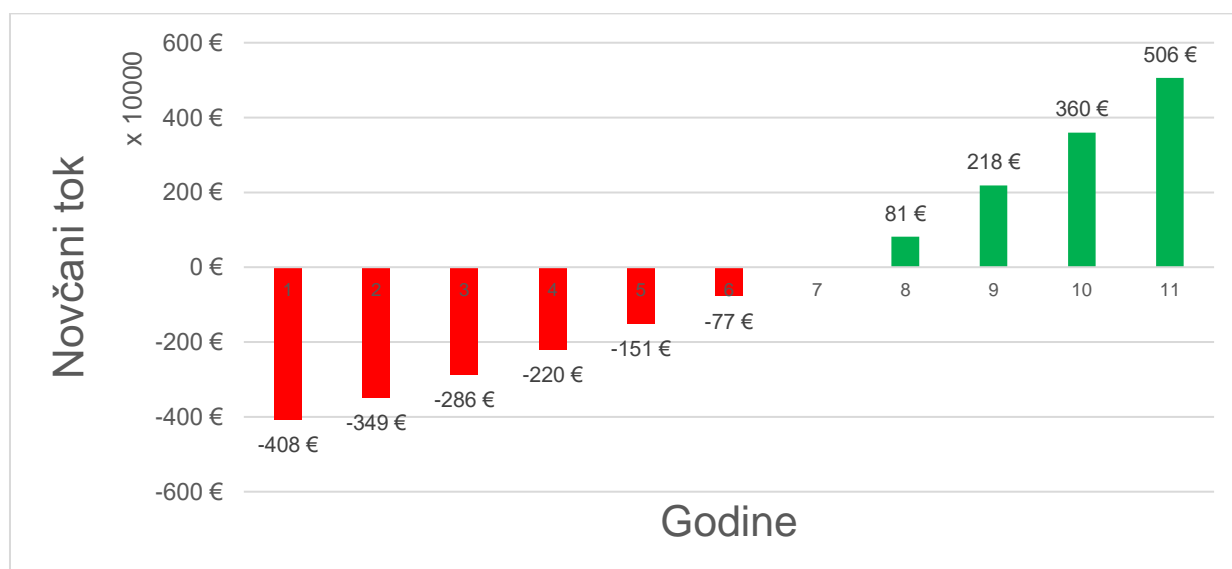
Pristup smanjenju operativnih troškova može biti prijelaz na druge izvore energije, koji imaju niže i stabilnije troškove. Korištenje lokalno dostupnih izvora energije, poput drvene sječke, može zamijeniti uvozna fosilna goriva. Korištenje lokalnih ili regionalnih izvora energije može imati višestruke koristi. Može se npr. smanjiti ovisnost o međunarodnim dobavljačima. To dovodi do smanjenja rizika za operatora CTS-a što rezultira većom sigurnošću opskrbe kupaca toplinske energije. U slučaju drvene sječke, troškovi su često stabilniji, što olakšava izračun troškova proizvodnje topline. Osim toga, podupiru se lokalna poduzeća što pridonosi lokalnom gospodarstvu.

Nadalje, nekoliko projekata pokazuje da su mjere poboljšanja usmjerene na smanjenje potražnje za i za primarnom i za sekundarnom energijom. Smanjenje potražnje za primarnom energijom se očituje u smanjenju potrošnje fosilnih goriva, dok se za sekundarnom očituje u smanjenju potrebe za električnom energijom potrebnom za pogon sustava. Slika 17. prikazuje usporedbu potreba za električnom energijom potrebnom za pogon pumpa prije i poslije modernizacije. Putem navedene slike se prikazuju ostvarive uštede.

Drugi važan ekonomski pokazatelj je **period povrata** investicije. Profitabilnost ili period povrata investicije je presudan aspekt za sveobuhvatne projekte kao što je modernizacija cijelog sustava. Visoke investicijske troškove je potrebno amortizirati nakon procijenjenog razdoblja. Dulja razdoblja amortizacije visokih investicijskih troškova se mogu često kompenzirati drugim pogonskim i varijabilnim troškovima. Primjer ilustracije amortizacije kroz novčani tok prikazan je za projekt Zeleni energetski park Livno, Bosna i Hercegovina kao što prikazuje Slika 18.



Slika 17: Potreba za električnom energijom za pogon pumpa 2015. i 2017. godine (Upgrade DH, 2018b)



Slika 18: Procjena novčanog toka za projekt Zeleni energetski park Livno, Bosna i Hercegovina, (Upgrade DH, 2018a)

Pomoću softverskih optimizacijskih alata se može optimizirati rad i planiranje kogeneracijskih postrojenja (Kühne i Hinz, 2016). Nadalje, kao cilj optimizacije se može postaviti maksimalna dobit u svrhu postizanja ekonomske koristi. U tom je slučaju cilj optimizacije pronaći najučinkovitiji način rada s obzirom na instalirani kapacitet postrojenja. Na temelju različitih parametara, izračuna i procjena je moguće optimizirati rad bez izmjena u samom postrojenju kao što su, na primjer, nova postrojenja za proizvodnju topline, novi sustav pumpa za distribucijsku mrežu ili novi izmjenjivači topline. Stoga se razmatraju svi mogući načini rada sustava, izvori prihoda i mogući učinci na sustav (Kühne i Hinz, 2016).

Daljnji cilj je stjecanje novih kupaca. Novi kupci su s jedne strane novi izvor prihoda putem prodaje topline, a s druge strane, novi korisnici koji doprinose rastu tvrtke i mogu promicati popularnost CTS-a.

3.1.3 Utjecaj na okoliš

Smanjenje utjecaja na okoliš može biti važan cilj procesa modernizacije. Motivacija za ovo stajalište tvrtke može biti iz više razloga:

- **Idealistička motivacija:** posebice kod javnih poduzeća ili poduzeća u vlasništvu potrošača.
- **Marketinška motivacija:** pridobivanje kupaca kroz „zelenu sliku“ o poduzeću.
- **Prisilna motivacija:** prilagođavanje standardima smanjenja emisija usvojenih od strane zakonodavstva.
- **Ekonomska motivacija:** korištenjem obnovljivih izvora energije se može doći do jeftinijeg goriva i određenih pogodnosti u sustavu trgovanja emisijama CO₂.

Smanjenje emisija CO₂ i poboljšanje učinkovitosti CTS-a su ključni elementi većine ciljeva u području smanjenja utjecaja na okoliš. Iz tog razloga poboljšanje učinkovitosti sustava ima osobito pozitivan utjecaj na samo toplinarsko poduzeće.

Povećanje učinkovitosti uslijed implementacije mjera poboljšanja se često očituje u ekonomskim koristima uzrokovanim manjom potrošnjom goriva ili uštedom električne energije. Poboljšanje učinkovitosti je važan pokretač smanjenja emisija CO₂. Njenim povećanjem se utječe na proizvodnju, distribuciju i potrošnju toplinske energije što dovodi do uštede energije u cijelom sustavu. Naime, stari CTS-i koji koriste zastarjelu tehnologiju imaju vrlo velik potencijal poboljšanja svojih performansi poboljšanjem njihove učinkovitosti kao kod projekta obnove Zelenog energetskeg parka Livno (Upgrade DH, 2018b) No, čak i suvremeniji sustavi imaju visoki potencijal poboljšanja učinkovitosti putem optimizacije (npr. optimizacija pumpnih operacija u CTS-u Ferrara; Upgrade DH, 2018b). U tim je slučajevima cilj poboljšati performanse bez većih promjena u sustavu, tj. uz korištenje iste tehnologije i opreme.

Projekti dobre prakse nadogradnje CTS-a (Upgrade DH, 2018a, b) su pokazali širok raspon izvedivih mjera unapređenja i razrađenih pitanja. Neki primjeri nadogradnje pokazuju da se korištenjem dodatne opreme može generirati više toplinske energije uz korištenje iste količine goriva. Osim toga, distribucijska mreža je također pokazala veliki potencijal za optimizacijom koja se odnosi na neučinkovite toplovodne sustave, opremu (crpke, izmjenjivači topline u toplinskim podstanicama) i neučinkovit rad. Važan faktor u povećanje učinkovitosti sustava je prilagodba radnih parametara mreže radi smanjenja toplinskih gubitaka, gubitaka tlaka ili električne energije.

Raznim se mjerama poboljšanja želi povećati svijest potrošača o grijanju i njegovom odgovornom ponašanju s ciljem povećanja ukupne učinkovitosti. S daljnjim mjerama obnove kuća i zgrada, cilj je smanjiti potrebe za toplinskom energijom i postići veću razinu udobnosti korisnika. Daljnja mjera optimizacije je povećanje razine automatizacije. Stoga je jedna od mogućnosti smanjiti ili pojednostaviti postupke. To također može uključivati interne procese i metode odlučivanja. Druga mogućnost je primjena strategija automatizacije u postavljanju parametara sustava.

U okviru „Upgrade DH“ projekta su otkrivene i druge, specifičnije mjere koje doprinose smanjenju utjecaja na okoliš. To su primjerice poboljšanje fleksibilnosti sustava, povećanje broja radnih sati kogeneracijskog postrojenja (engl: *load factor*) ili smanjenje broja sati rada postrojenja koja pokrivaju vršna opterećenja. Druga je mjera uvođenje nisko-temperaturnog CTS-a. Sve ove mjere mogu pridonijeti ukupnom povećanju učinkovitosti, ali utječu i na strategiju i planiranje poslovanja tvrtke. Poboljšanje fleksibilnosti sustava u odnosu na proizvodnju topline postaje sve važnije za budući razvoj (Kühne i Hinz, 2016). Iako je smanjenje emisija CO₂ široko poznati cilj u raspravi o klimatskim promjenama i dimnim

plinovima, potrebno je napomenuti da je u cilju smanjenja rizika od klimatskih promjena potrebno razmatrati i dušikove okside (NO_x). Stoga je smanjenje emisija NO_x u dimnim plinovima iz kogeneracijskih postrojenja dodatan cilj kod provedbe rekonstrukcije postrojenja (Upgrade DH, 2018b).

Osim povećanja učinkovitosti, emisije CO_2 se mogu smanjiti zamjenom fosilnih goriva obnovljivim izvorima energije. U slučaju obnove cjelokupnog CTS-a je lako integrirati obnovljive izvore energije. Integracijom obnovljivih izvora energije se može doći do uštede primarne energije smanjenjem korištenja fosilnih goriva ili se može samo dobiti dodatni proizvodni kapacitet. Ključni čimbenik u ovom razvoju je diversifikacija tehnologija proizvodnje topline. Dobro osmišljenom strukturom proizvodnje topline i dobro planiranim projektom nadogradnje se mogu svi raspoloživi izvori energije i dostupne tehnologije koristiti na optimalan način. Ova kombinacija izvora topline omogućuje smanjenje uporabe fosilnih goriva te uštedu primarne energije. Također se osim uključivanja obnovljivih izvora energije, korištenjem viškova topline može smanjiti utjecaj CTS-a na okoliš.

3.2 Analiza postojećeg stanja

Prvi korak u izradi programa nadogradnje mreže je izrada točne slike postojećeg stanja s obzirom na učinkovitost cijelog sustava. Ta slika zatim pruža referentnu vrijednost s kojom se mogu uspoređivati mogućnosti i ishodi poboljšanja.

Početno se stanje može analizirati na različitim tehničkim i ne-tehničkim razinama. Početnom se analizom mogu dobiti naznake gdje se ulaganje u nadogradnju mreže najviše isplati. Odgovarajući na niže navedena pitanja se može doći do informacije o općenitom „zdravlju“ mreže

- Isporučuje li sustav dovoljno toplinske energije potrošačima?
- Je li cijena isporučene toplinske energije pristupačna i usporediva s alternativnim metodama grijanja?
- Kako se naplaćuje usluga opskrbe toplinskom energijom? Je li to paušalni iznos (npr. po kvadratnom metru grijanog prostora) ili po jedinici prodane topline?
- Ima li sustav velike toplinske gubitke tj. u kojoj se mjeri razlikuje količina toplinske energije proizvedena u proizvodnom postrojenju i toplina dostavljena krajnjim kupcima?
- Je li mreža stara i loše održavana? Kolika je učestalost kvarova i troškovi održavanja?
- Kakav se izvor topline trenutno koristi? Postoji li potreba za nadogradnjom iz ekonomskih ili ekoloških razloga?
- Kakvi su politički ciljevi države ili regije? Postoji li politički i socijalni pritisak za nadogradnjom sustava proizvodnje i distribucije?

Tehnički pokazatelji trenutnog stanja sustava su prikazani u poglavlju 0.



Slika 19: Motivacijski faktori nadogradnje CTS-a (Izvor: COWI)

Potrebni **osnovni podaci** su broj proizvodnih postrojenja, instalirani kapacitet, starost sustava, duljina mreže, temperaturni režim i broj kupaca. Ti su podaci obično lako dostupni. Za složenija pitanja poput performansi, karakteristika mreže ili načina rada, potrebno je kontaktirati različite odgovorne osobe u sustavu. Nekoliko detaljnih podataka i parametara sustava je bitno za upravljanje sustavom, ali ih zna samo nekolicina djelatnika.

Za slučaj da su neki od vrlo specifičnih podataka nepoznati, dovoljno je kao prvi korak napraviti procjene. U ovom je slučaju ključno opisati postupak u što jednostavnijem obliku. Npr. ako nije zabilježena ukupna električna energija potrebna za rad sustava (koja je potrebna za izračun pokazatelja izvedbe), tad se pojedinačne potrošnje kotlovnica i distribucijskih crpki mogu zbrojiti.

Međutim, s napretkom u digitalizaciji su relevantniji podaci dostupni djelatnicima u sektoru nadzora i prikupljanja podataka (SCADA). Zbog raznih digitalnih senzora, aktuatora i upravljačkih jedinica se kvaliteta i količina raspoloživih podataka općenito poboljšava kod mnogih CTS-a. Time se otvara pristup skupu podataka visoke razlučivosti i frekvencijom ažuriranja na čemu se mogu zasnivati nove vremenski ovisne analize sustava.

Međutim, u slučaju **nepostojanja podataka** može biti potrebno posvetiti dodatno vrijeme praćenju i prikupljanju podataka. U tom je slučaju potrebno diljem mreže privremeno instalirati uređaje za praćenje rada mreže, (termometri i kalorimetri) ako isti nisu prije instalirani. Također je potrebno, ako se trenutno ne prati, osigurati praćenje potrošnje goriva (npr. potrošnja prirodnog plina svakih pola sata).

U starim mrežama s visokim toplinskim gubicima, **infracrvena termografija** može pružiti informacije o toplinskim gubicima. Dron ili mali avion opremljen termičkom kamerom i GPS lokatorom leti preko naselja radi prikupljanja podataka. Prikupljeni podaci zatim se uspoređuju s položajem toplovoda kako bi se vidjelo gdje se nalaze veći toplinski gubitci. Ova se metoda koristi za fizički pregled mreže i zahtjeva malo dodatnih podataka. Slika 20. prikazuje primjer korištenja ove metode.



Slika 20: Infracrvena snimka toplovođa na kojoj se vidi lokacija velikog propuštanja (Izvor: COWI)

Budući da je zamjena ili naknadno opremanje tehnologijom za mjerenje obično povezano s visokim troškovima, tad troškove i koristi njihova uvođenja treba usporediti prije implementacije. Istraživački projekt NEMO u Njemačkoj razvija metodu i **smjernice za praćenje zahtjeva CTS-a** kako bi se sustav kontinuirano poboljšavao (AGFW, 2018b).

Ishod analize početnog stanja sustava pomaže u određivanju prioriteta odabranih mjera i donošenju prvih odluka. Prilikom analize rezultata je moguće da su neke mogućnosti unapređenja očite te da stručnjaci odmah mogu dati savjet o najvažnijim poboljšanjima, bez potrebe za detaljnom analizom.

3.3 Analiza podataka

Prikupljeni se podaci i informacije moraju analizirati i vrednovati sa ciljem sužavanja mogućih mogućnosti unapređenja i identificiranja ukupnog potencijala nadogradnje. Prikupljene se informacije koriste u korak po korak pristupu kako bi se ukazalo na slabosti ili anomalije u sustavu. Pritom se mora uzeti u obzir da su svi CTS-i i okvirni uvjeti analizirane mreže vrlo individualni.

U slučaju automatskog prikupljanja podataka je obično potrebno provjeriti podatke i započeti neki proces čišćenja. To znači da se otkrivaju nevažeci podaci, praznine, nedostajući podaci, nedosljedni podaci i nerealni podaci. Budući da je za postupak provedbe izmjena u CTS-u često potrebno puno vremena, neminovno je odvojiti dovoljno vremena za analizu.

Metoda analize podataka se odabire prema količini dostupnih podataka i željenom ishodu analize. Postoji nekoliko dostupnih metoda i softverskih paketa koji mogu pomoći u analizi podataka, od jednostavne Excel tablice do složene termodinamičke analize.

Da bi se dobio početni pregled CTS-a, može se napraviti **analiza ulaznih i izlaznih veličina toplinske energije**, što se može povezati sa starošću i općim stanjem mreže. S druge strane se kompletnom termo-hidrauličkom analizom mogu dobiti detaljni podaci o operativnim parametrima.

Razina potrebnih detalja ovisit će o mreži i očekivanim poboljšanjima. Kod starijih mreža, upravo zbog njihove neučinkovitosti, nije potrebno raditi tako detaljno modeliranje jer se upravo kod takvih neučinkovitih sustava prva poboljšanja mogu postići relativno lako.

Međutim, **detaljni model** može biti od velike koristi za slučaj kad se razmatra CTS niske ili vrlo niske temperature polaza te kod ugrađivanja nisko-temperaturnih izvora otpadne topline ili obnovljivih izvora energije. U tim je slučajevima potrebno detaljno prilagoditi rad mreže kako bi se osigurala opskrba s dovoljnom količinom topline uz maksimalno snižavanje utjecaja na okoliš. Kod nisko-temperaturnih je sustava potrebno obratiti osobitu pozornost na sustave grijanja u zgradama tako da se osigura dostava dovoljne količine topline kod niskih temperatura radnog medija.

Postoje i komercijalni računalni programi putem kojih se može izračunati učinke promjena na sustav (Upgrade DH, 2018a). **Termo-hidraulički model** može dati detaljan uvid u rad mreže. To se može koristiti u svrhu izrade statističke analize ili za praćenje rada mreže u stvarnom vremenu, čime se omogućuje stalno prilagođavanje. Za potrebe razvoja modela je potrebna razumna razina dostupnih podataka o mreži. Moraju postojati barem dostupne informacije o opskrbi toplinom, veličinama cijevi i lokacijama te potrošnji topline na razini krajnjeg korisnika. Slika 21. prikazuje model malog gradića u Danskoj s jednim izvorom topline izrađen u programu TERMIS.



Slika 21: Primjer osnovnog modela u TERMIS-u (Izvor: COWI)

3.4 Prepoznavanje mogućnosti nadogradnje: studije izvedivosti

Potencijal nadogradnje mreže se temelji na analizi podataka i obično će proizaći nekoliko mogućnosti koje su tehnički moguće. To čini osnovu za studiju izvedivosti, čija je svrha ocijeniti svaku opciju i napraviti usporedbu kako bi se olakšalo donošenje odluka.

Brošura „Best practice examples on upgrading projects“ (Upgrade DH, 2018a) prikazuje moguće mjere nadogradnje sustava. U toj se brošuri prikupljaju i opisuju različiti, već uspješno provedeni projekti nadogradnje iz različitih europskih zemalja. Pregled karakteristika projekata modernizacije prikazuje Tablica 3.

Tablica 3: Pojediniosti projekta nadogradnje sustava (Upgrade DH, 2018b)

Vrsta nadogradnje	Ciljevi provedenih mjera	Odnosi se na
	Uštede primarne energije	Primarna mreža
Tehnička	Poboljšanje učinkovitosti	Sekundarna mreža
Ekonomska	Udio OIE	Tercijarna mreža
Organizacijska	Integracija viškova topline	Proizvodni kapaciteti
Upravljačka	Poboljšanja s ekonomske strane	Poslovni model
	Zamjena fosilnih goriva	Toplinske podstanice

Studija izvedivosti sadrži

- Procjenu postojeće distribucijske mreže/ metode opskrbe toplinskom energijom
- Pojediniosti o toplinskom opterećenju sustava (u što više detalja bitnih za proces nadogradnje)
- Pregled razmatranih rješenja
- Tehničku analizu potencijalnih opcija
- Financijsku analizu troškova i dobiti za promatrani period
- Podatke o potrebnim dozvolama za provođenje projekta
- Zaključak koji ocjenjuje tehničku i financijsku prikladnost projekta

3.5 Postavljanje kriterija usporedbe različitih rješenja

Za neke mreže u kojima postoje očigledni tehnički problemi, kao što su visoki toplinski gubici i propuštanje u mreži, procjena izvedivih rješenja će biti relativno jednostavan izračun troškova i dobiti (povrata). Međutim, kod mnogih se projekata nadogradnje mreže traži povećanje energetske učinkovitosti i smanjenje emisija CO₂. U tim je slučajevima mnogo teže stvoriti čvrstu osnovu na kojoj se mogu ocijeniti različite opcije.

Prilikom procjene izvedivosti projekta nadogradnje CTS-a, važno je uzeti u obzir motivaciju iza pokretanja projekta. Neki projekti možda neće pružiti značajne financijske uštede u radu, ali mogu ispuniti i druge ciljeve, kao što su ciljevi klimatskih promjena ili značajna poboljšanja životnog standarda u određenim područjima. U Danskoj se pokušalo osigurati jednak uvjete potrebne za analizu opcija putem socio-ekonomske metode. Ovaj pristup uzima cjelokupni pogled na učinke projekta analizom utjecaja na društvo u cjelini. Procjenom i usporedbom

projekata na ovaj način, općine u Danskoj mogu dobiti pregled učinaka projekta iznad onih koji su uključeni u osnovni ekonomski pregled.

Danska energetska uprava dostavlja i ažurira smjernice potrebne za prikupljanje ulaznih podataka i izradu socio-ekonomske analize projekata izgradnje CTS-a i metodu kojom treba provesti analizu. To znači da se analiza mora provoditi na temelju istih ulaznih podataka za sve projekte, te se stoga pruža mogućnost usporedbe opravdanosti različitih projekata.

U nekim slučajevima projekt može imati suprotstavljene ciljeve, ili neki dijelovi projekta modernizacije mogu ispuniti samo određene ciljeve. Kod tih je slučajeva, posebno važno imati hijerarhiju ciljeva koje treba ispuniti, tako da se projekt može ocijeniti i planirati u skladu s tim.

3.6 Razvoj plana implementacije

Sljedeći korak, nakon što studija izvedivosti ukaže na opravdanost projekta je planiranje financiranja i implementacije projekta.

Projekti nadogradnje CTS-a često zahtijevaju relativno visoke investicijske troškove. Stoga je u svrhu odobrenja financiranja projekta potrebno imati dobro razrađen **poslovni model**. Također, zbog velikih investicijskih troškova ovakvi projekti često imaju dug rok povratka investicije. Iz tog je razloga često teško pronaći financiranje u privatnom sektoru pa se često (barem djelomično) financiraju od strane javnog sektora.

Za slučajeve da projekt ima i ne-financijske koristi, moguće je dobiti dio sufinanciranja iz javnog sektora s ciljem poboljšanja financijske slike projekta. Metode i razina sufinanciranja ovise o državi u kojoj se projekt provodi. Sufinanciranje može doći u obliku jamstva ili kredita iz sustava trgovanja emisijama CO₂ te jamstva ili izravnog ulaganja iz javnog sektora na temelju poboljšanja kvalitete života građana.

Nakon donošenja odluke o provedbi projekta nadogradnje na osnovu studije izvedivosti, potrebno je detaljnije razraditi projekt. Količina potrebnog planiranja i projektiranja ovisi o veličini i važnosti projekta. Ipak, potrebno je razmotriti sljedeće probleme:

- **Detaljna dokumentacija** tehničke strane projekta uključujući shematske prikaze postrojenja, novo postrojenje, spojevi starih i novih instalacija, itd.
- **Analizu potrošača** je potrebno provesti da se vidi kako projekt utječe na potrošače, kako se izdaju informacije, te tko je odgovoran za komunikaciju i odgovaranje na pitanja. Ovo je od osobite važnosti za slučaj kad projekt ima izravan utjecaj na potrošače i njihov svakodnevni život.
- Na osnovu tehničke dokumentacije i analize potrošača je potrebno napraviti detaljni **vremenski plan** svih aktivnosti na projektu.

Navedeni ulazni podaci vode prema izradi **detaljnog plana implementacije projekta**. Dok se sve navedeno izvrši, zadatak projektnog tima je provesti analizu koja daje odgovor na pitanje je li još uvijek moguće provesti projekt kao što je planirano. Pod pretpostavkom pozitivnog odgovora na postavljeno pitanje, može se preći na odabir izvođača i samo izvođenje radova.

Potrebno je tokom cijelog procesa planiranja razmotriti i kako će nadogradnja sustava utjecati na krajnje korisnike. Većinom će se utjecati na korisnike u nekoj mjeri tokom implementacije te će po završetku projekta doći do promijene interakcije između kupaca i samog CTS-a. Već u ranim fazama provedbe projekta je potrebno razmotriti plan **informiranja korisnika** te potencijalne **edukacije**. Tokom konstruiranja je potrebno razmotriti način interakcije korisnika i opskrbljivača, što je ključ uspjeha projekta.

3.7 Implementacija mjera nadogradnje

Implementaciju mjera nadogradnje je potrebno provesti u skladu s usvojenim planom implementacije. Na mjestima gdje postoji utjecaj na opskrbu kupaca toplinskom energijom je potrebno poduzeti posebne mjere da bi se osigurao što manji utjecaj radova na kupce.

Tokom faze provedbe projekta je važno informirati i educirati potrošače. Projekti nadogradnje CTS-a često uključuju neke promjene u načinu dostave topline zgradama što također utječe na kupce. Da bi projekt dugoročno bio uspješan, potrebno je kupce uključiti i educirati o projektu i promjenama u načinu opskrbe toplinskom energijom.

3.8 Kontinuirano motrenje uspjeha mjera nadogradnje

Kod nekih se projekta nadogradnje utjecaj može vidjeti vrlo brzo nakon provedbe. Npr. za slučaj smanjenja propuštanja vode, rezultati se odmah očituju u smanjenju potrebne dodatne vode u sustavu. Ipak, mnoge prednosti su vidljive tek nakon određenog vremena te je kontinuirano praćenje ključ ocjene uspješnosti ispunjenja ciljeva nadogradnje.

Vrsta i učestalost motrenja ovise o ciljevima projekta. Ovisno o vrsti projekta, može sadržavati sljedeće mjere:

Mjerenje potrošnje energije na mjestu potrošnje, što je ključ mjerenja ostvarenog napretka prema ciljevima većine projekata nadogradnje CTS-a. Gubitci u mreži se mogu izračunati ako se poznaju podaci o količini korištene topline, izmjerene temperature polaska te temperature povratka vode. Uz dostupnost podataka sa mjernih uređaja u velikoj vremenskoj razlučivosti, može se izraditi detaljnija slika o radu mreže te o utjecaju parametara kao što je npr. vanjska temperatura zraka na učinkovitost cjelokupnog sustava.

Količina **dodatne potrebne vode** u sustavu može dati informacije o količini gubitaka vode u mreži.

Učestalost pritužbi krajnjih korisnika, ovisno o cilju projekta, daje informaciju o uspješnosti projekta. Kod projekata u kojima se snižavala temperatura polaska će vrsta pritužba korisnika ukazati na to je li novi način regulacije temperature te temperaturni režim zadovoljavajući za potrebe grijanja. Također, može ukazati na potrebu za dodatnim podacima.

U nekim se državama preferira **izravno ispitivanje kupaca** o zadovoljstvu opskrbe toplinskom energijom u odnosu na oslanjanje na učestalost pritužba. Kulturološke razlike, te u nekim slučajevima niska očekivanja, mogu značiti da niska učestalost pritužba ne mora biti u korelaciji sa dobrim i učinkovitim CTS-om.

4 Ne-tehnički aspekti

Na ne-tehničke aspekte je potrebno obratiti pažnju u svakom projektu nadogradnje sustava s ciljem iskorištavanja punog potencijala nadogradnje sustava. To se često očituje u ekonomskim i ekološkim prednostima. „Skup primjera dobre prakse projekata nadogradnje“ („Upgrade DH“) prikazuje primjere poboljšanja kod kojih se poboljšanja s tehničke i ekonomske strane međusobno nadovezuju. Ti primjeri prikazuju da svaki slučaj ima svoje jake i slabe strane koje je potrebno definirati da bi se definirale najbolje mjere nadogradnje.

U poglavlju 4 je prikazano nekoliko načina pronalaska „uskih grla“ u sustavu kao npr. pomoću analize podataka. Kao dio „Upgrade DH“ projekta, razvijene su smjernice za **ocjenu CTS-a na sveukupnoj razini** (Miedaner, 2018). njegova svrha nije samo pomoć u procjeni sadašnjih tehničkih pokazatelja, nego i u ocjeni ne-tehničkih pitanja. To se odnosi npr. i na organizacijski pogled kao i smjernice za provedbu **intervjua** sa raznim potencijalnim strankama koje mogu sudjelovati u procesu nadogradnje.

Za slučaj da je komunikacijska struktura između svih uključenih na niskoj razini, preporučljivo je potaknuti komunikaciju između njih. Bolja je opcija od intervjuja sa kupcima organizirati **radne skupine** u koje su uključeni svi predstavnici različitih stranaka povezanih sa s CTS-om. U tim se radnim skupinama može raspravljati o različitim pogledima, problemima i izazovima u postupku nadogradnje sustava. Upute za organizaciju lokalnih radnih skupina su dane u Miedaner (2018).

4.1 Strategije i metode

Povijesno, mnogi CTS-i koriste viškove toplinske energije iz velikih kogeneracijskih postrojenja često pogonjenih fosilnim gorivima kao što su lignit, ugljen, loživo ulje ili prirodni plin. Glavni cilj ovakvih postrojenja je često bio maksimizacija proizvodnje električne energije dok je toplina bila smatrana nusproizvodom. Prvi i najvažniji aspekt nadogradnje je **sadašnja i buduća uloga proizvodnog postrojenja**. Stoga, u svim mjerama nadogradnje je potrebno obratiti pozornost na sljedeće aspekte:

- **Buduće promjene u energetske sektoru:** Zbog klimatskih promjena i europske energetske politike provodi se energetska tranzicija te se očekuju značajne promjene u energetske sektoru. U prošlosti je glavni zadatak kogeneracijskog postrojenja bio pokrivanje baznog opterećenja u elektroenergetskom sustavu, dok je proizvedena toplinska energija bila smatrana nusproizvodom. Takva se postrojenja polako zamjenjuju povećanjem udjela obnovljivih izvora energije. Također, ista ta postrojenja nisu vrlo fleksibilna, što je sve više tražena karakteristika od strane mreže pa su time manje kompetitivne u usporedbi s novim energetske sustavima. Uz to, neke države razmatraju postupni prestanak korištenja fosilnih goriva i kogeneracijskih postrojenja (kao što se trenutno raspravlja u Njemačkoj).
- **Zahtjevi za učinkovitošću:** Električna učinkovitost postrojenja na fosilna goriva se kreće u rasponu od 30 do 40%. Često se u svrhu povećanja sveukupne učinkovitosti postrojenja ono spajalo na CTS te se dio otpadne toplinske energije koristio u svrhu grijanja. Ipak, udio korištene topline u svrhu grijanja ovisi o lokaciji postrojenja i toplinskim potrebama, posebice za slučaj postrojenja na ugljen koja su često sagrađena na lokaciji rudnika ugljena, ali daleko od lokacija gdje postoji potražnja za toplinske energijom. Nadalje, tokom ljeta se uslijed smanjenih toplinskih potreba smanjuje učinkovitost tih postrojenja. U budućim energetske sustavima bez fosilnih goriva je upitan smisao smještaja postrojenja na takve lokacije i načina rada takvog postrojenja.
- **Potrebe za toplinske energijom u budućnosti:** U budućnosti će se potrebe za toplinske energijom postojećih CTS-a promijeniti. S jedne strane, učinkovitost zgrada će se povećati te će time trebati manje toplinske energije. No s druge će strane nova

naselja i dijelovi gradova biti spojeni na CTS. Nadalje, nadogradnje same mreže će vjerojatno promijeniti sveukupnu potražnju za toplinskom energijom.

Javne strategije i ciljevi imaju vrlo važnu ulogu u implementaciji procedura nadogradnje na različitim razinama: europska, državna te lokalna. Zbog velike različitosti u tim strategijama, nije moguće, niti je cilj ovog priručnika predstaviti ih. Stoga je u sljedećem odlomku ukratko predstavljena samo najvažnija legislativa na europskoj razini koja zahtjeva od svih zemalja članica ugradnju u državne legislative.

Krajem 2018, su objavljene tri legislative u paketu „**Čista energija za sve Europljane**“ i postale važeće 24. Prosinca 2018. Revizija Energetske Direktive o Obnovljivoj Energiji (RED II) (EU, 2018/2001) propisuje cilj od 32% udjela obnovljivih izvora energije do 2030. s mogućnošću povećanja cilja 2023. godine. Direktiva o Energetskoj Učinkovitosti (EU, 2018/2002) postavlja cilj od povećanja energetske učinkovitosti za 32,5% do 2030., također s mogućom revizijom 2023. Nova Uredba o upravljanju (EU) 2018/1999 uključuje zahtjev državama članicama da sastave integrirane nacionalne energetske i klimatske planove za razdoblje od 2021. do 2030. godine u kojima se navodi kako postići navedene ciljeve te dostaviti nacrt Europskoj komisiji do kraja 2018. (EC, 2019a)

Direktiva o obnovljivim izvorima energije (EU) 2018/2001 (RED II) definira „centralizirani toplinski sustav (CTS)“ ili „centralizirani rashladni sustav (CRS)“ kao distribuciju toplinske energije u obliku pare, vruće vode ili rashlađene tekućine, iz centraliziranih ili decentraliziranih proizvodnih postrojenja kroz mrežu do više zgrada ili lokacija, za grijanje ili hlađenje prostora ili upotrebu u procesima. Ova revidirana direktiva sadrži nekoliko važnih aspekata za CTS i CRS te uključene mjere poboljšanja koje su ovdje sažete. Sadržaj RED-a II države članice moraju ugraditi u nacionalno zakonodavstvo:

- CTS i CRS trenutno predstavljaju oko 10% potražnje za toplinom u cijeloj Europskoj Uniji, uz velika odstupanja između država članica. Strategija Komisije za grijanje i hlađenje je prepoznala potencijal za dekarbonizacijom CTS-a uz povećanje energetske učinkovitosti i uvođenje obnovljivih izvora energije.
- Kako bi države članice olakšale i ubrzale dostizanje postavljenih minimalnih ciljeva korištenja energije iz obnovljivih izvora u zgradama, trebale bi dopustiti, među ostalim, korištenje učinkovitog CTS-a i CRS-a, a kod lokacija gdje ovakvi sustavi nisu dostupni, druge tehnologije pomoću kojih se mogu ispuniti isti ciljevi.
- Države članice bi trebale promicati korištenje energije iz obnovljivih izvora, osobito u instalacijama grijanja i hlađenja te promicati konkurentan i učinkovit CTS i CRS.
- Kod CTS-a je ključno omogućiti prelazak na energiju iz obnovljivih izvora energije i spriječiti pretjeranu regulaciju i tehnološko ograničavanje korištene tehnologije kroz pojačana prava proizvođača koji koriste obnovljive izvore energije i krajnje potrošače te donijeti alate krajnjim potrošačima kako bi olakšali njihov izbor između rješenja s najvećim energetske učinkom koja uzimaju u obzir buduće potrebe za grijanjem i hlađenjem u skladu s očekivanim karakteristikama zgrade. Konačnim je potrošačima potrebno pružiti transparentne i pouzdane informacije o učinkovitosti CTS-a i CRS-a te udjela energije iz obnovljivih izvora za njihov konkretni slučaj.
- Korisnicima je potrebno zbog njihove zaštite omogućiti izdvajanje iz neučinkovitih CTS-a i CRS-a kako bi im se omogućilo korištenje vlastitih puno učinkovitijih obnovljivih izvora energije. Tad se prekida usluga distribucije toplinske energije te se raskida ugovor s operatorom CTS-a ili CRS-a.

U svakom je projektu nadogradnje potrebno razmotriti nacionalne i lokalne političke ciljeve. To se odnosi na pravne aspekte pojedinih mjera poboljšanja, te posebice na dugoročne strategije i razvoj, npr. pod utjecajem RED-a II. Trebalo bi razmotriti mjere u sklopu energetske tranzicije, zatvaranje kogeneracija na ugljen i spajanje sektora. Sve bi se te mjere trebale uključiti u strateške dokumente kao što su Nacionalni akcijski planovi za obnovljive izvore energije

(NREAP), posebni planovi, lokalni akcijski planovi za okoliš, akcijski planovi održive energije ili energetske akcijske planove učinkovitosti (EEAP).

4.2 Sudionici

CTS može uključivati nekoliko stranaka. Vrlo važni su **potrošači** koji plaćaju opskrbu toplinskom energijom i tako održavaju toplinsku mrežu kao i vlasnike zgrada i stanodavce. Potrošači topline mogu biti javni potrošači, kućanstva, privatne tvrtke i industrija. Važno je zadovoljiti njihova očekivanja i ponuditi visoku razinu usluge po konkurentnoj cijeni opskrbe.

Još jedan važan sudionik je **organizacija zadužena za opskrbu toplinskom energijom** koja može biti jedna tvrtka ili nekoliko tvrtki zaduženih za različite usluge kao što su proizvodnja toplinske energije ili distribucija. U mnogim slučajevima to će biti jedna tvrtka ili barem blisko povezane tvrtke. Nakon nadogradnje sustava se može očekivati pojava dodatnih poduzeća koja proizvode toplinsku energiju. Npr., kod slučaja integracije otpadne topline se dolazi do jednog dodatnog sudionika u sustavu.

Veliki utjecaj na cjelokupni poslovni model projekta nadogradnje je **vlasništvo** tih tvrtki koje opskrbljuju potrošače toplinskom energijom. One mogu biti u javnom ili privatnom vlasništvu ili njihova kombinacija (vidi poslovne modele, poglavlje 4.6). U nekim slučajevima, potrošači topline mogu biti ili postati dioničari tijekom procesa nadogradnje. To može biti vrlo bitno za pokrivanje potencijalno visokih investicijskih troškova mjera nadogradnje sustava.

Posebnu ulogu u procesu unapređenja imaju **menadžeri i tehničari** poduzeća koje proizvodi toplinsku energiju. Oni su upoznati sa tehničkim i upravljačkim detaljima i donose odluke o pojedinim mjerama nadogradnje. Međutim, preporučuje se uključivanje neovisnih **vanjskih stručnjaka** i konzultanata koji posjeduju stručnost i iskustvo u provedbi projekata modernizacije. Oni kao vanjske osobe, imaju drugačiji pogled na sustav kao i iskustva s nadogradnjom drugih sustava. Važan čimbenik je razmatranje nadogradnje cjelokupnog sustava, a time i razrada dugoročnih strategija i rješenja, a ne samo malih prilagodbi kako bi se riješili mali pojedinačni problemi.

Političari mogu, neovisno o vlasničkoj prirodi toplinarskog poduzeća, igrati ključnu ulogu u procesu nadogradnje jer mogu aktivno promicati ili blokirati neku od mjera. Naravno, oni imaju više utjecaja u javnim organizacijama, ali i kod privatnih organizacija mogu biti presudni. Na primjer, mogu utjecati na strateške planove, energetske planove i izdavanje potrebnih dozvola za provođenje mjera poboljšanja.

Za slučaj zahtjevnog postupka nadogradnje, ima smisla izraditi **analizu stranaka** u kojoj se opisuju ciljevi i odnosi različitih stranaka. Rezultati te analize mogu dati informacije o tome u kojoj mjeri uključiti različite zainteresirane strane, posebno potrošače topline, u postupak nadogradnje.

4.3 Financijska analiza

Vrlo važan dio svakog projekta modernizacije je izračun njegove financijske održivosti jer se projekt najvjerojatnije neće provesti ako se profitabilnost ne dokaže investitorima ili vlasnicima. Prednost projekata nadogradnje CTS-a je u tome što je investitor obično tvrtka koja već upravlja postojećim sustavom i stoga može minimalno vrijeme povrata biti dulje, nego u slučaju novih sustava izgrađenih od nule. Kako bi se izračunala održivost projekta, potrebno je izraditi detaljnu studiju izvedivosti. Stoga se moraju definirati svi troškovi i prihodi tijekom trajanja projekta. Troškovi se mogu podijeliti na kapitalne i operativne troškove.

Kapitalni troškovi uključuju sve potrebne investicijske troškove koje je potrebno izvršiti kako bi se projekt proveo. Stoga se javljaju na početku projekta i prije početka rada. Oni se općenito mogu podijeliti na troškove planiranja, studije izvedivosti, potrebne dokumentacije, potrebne tehnologije koje se ugrađuju i građevinske radove.

Operativni troškovi mogu varirati s obzirom na vrstu projekta modernizacije. Mogu uključivati troškove osiguranja, otplate kamate kredita, troškove rada, poreze na imovinu, troškove komunalnih usluga i amortizaciju imovine. Nadalje, ako se nadograde sustavi proizvodnje topline, važan aspekt u analizi su troškovi goriva.

Kako bi se dovršila analiza, potrebno je definirati i prednosti projekta, tj. očekivane prihode tijekom trajanja projekta. Ova se stavka može značajno razlikovati u ovisnosti o vrsti projekta. Primjerice, prihodi mogu uključivati povećanje prodaje toplinske energije, smanjenje potrošnje goriva, dodatne prihode od dodatnih usluga, itd.

Projekte obnove CTS-a često karakteriziraju vrlo visoki kapitalni troškovi. Stoga je potrebno koristiti bankovne kredite za provedbu projekta. Točan iznos kredita ovisi o postojećem kapitalu investitora, tj. o kapitalu ili udjelu investitora u financijskoj strukturi projekta, koji se obično kreće u rasponu od 15 do 30% ukupnog iznosa. Ostatak se pokriva kreditima ili bespovratnim sredstvima ukoliko je to moguće.

4.4 Izdavanje dozvola

Sljedeći korak nakon provedbe studije izvedivosti i nakon donošenja odluke o provedbi projekta modernizacije je procjena jesu li potrebne dozvole. To ovisi o planiranim aktivnostima. Mnoge aktivnosti nadogradnje, kao što je zamjena pojedinih komponenti koje nemaju učinke od javnog interesa, možda neće zahtijevati dopuštenja. Međutim, mnoge aktivnosti koje mogu utjecati na javnost (ekonomski, ekološki ili društveno) mogu zahtijevati dozvole. Nadalje, vrsta dozvola i vrijeme potrebno za dobivanje istih ovisi o lokalnim političkim uvjetima i zakonodavstvu.

Glavna poteškoća kod dobivanja dozvola u projektima modernizacije je složenost planiranih mjera ako se u isto vrijeme planira provesti nekoliko mjera modernizacije, kao što su korištenje, distribucija i proizvodnja topline. Postupci izdavanja dozvola za tehnologije proizvodnje topline mogu biti vrlo dugotrajni. To je osobito slučaj kada su uključeni geotermalni izvori gdje dobivanje dozvola može potrajati nekoliko godina.

Što je više tehnologija i opcija uključeno, toliko je zahtjevniji postupak izdavanja dozvola. Često je zaduženo i nekoliko nadležnih tijela za izdavanje različitih dozvola. Primjerice, Europska Komisija je navela nekoliko izazova u vezi s dobivanjem **dozvola za projekte sa bioenergijom** (EC, 2019b):

- previše koraka u postupku dobivanja dozvola i dozvole koje izdaju različita tijela
- dozvole podliježu širokom rasponu pravnih postupaka
- nedostatak jasnih vremenskih planova u postupku pridobivanja dozvola
- nedostatak znanja i sposobnosti za analizu složenih zahtjeva za dozvolom za bioenergiju
- nedostatak jasnih procedura za pristup energetske mreži
- otpor prema bioenergetskim projektima

U sljedećem su odjeljku opisani neki aspekti koji se odnose na postupke izdavanja dozvola bitnih za nadogradnju CTS-a.

Prostorno planiranje / uređenje

Prostorno planiranje (ponekad i urbanističko planiranje, krajobrazno planiranje) uključuje metode i pristupe koje koristi javni i privatni sektor za planiranje korištenja zemljišta na različitim razinama, ali obično u većim razmjerima. Ono koordinira prakse i politike koje utječu na prostornu organizaciju. Prostorno planiranje može uključivati korištenje prostora, urbano, regionalno, prometno, infrastrukturno i ekološko planiranje. Prostorno planiranje se provodi na lokalnoj, regionalnoj, nacionalnoj i međudržavnoj razini te često rezultira izradom prostornog plana.

Prostorni planovi mogu imati utjecaj na toplinske mreže CTS-a, jer mogu uključivati npr. prioritetna područja za proširenja mreže. Nadalje, mogu utjecati na izdavanje dozvola, kao što su lokacijske dozvole. Primjerice, izgradnja nove kogeneracijske elektrane može biti dopuštena samo u određenoj zoni prostornih planova u području predodređenom za potrebe industrije, a ne u stambenom području.

Za integraciju solarnog grijanja u CTS se uobičajeno koriste sunčevi kolektori postavljeni na zemljište te je za njih potrebna lokacijska dozvola. Međutim, i za solarne kolektore na krovu ili kolektore koji se koriste kao sjenilo, će vjerojatno biti potrebna lokacijska dozvola. Rizik od oštećenja okoliša od strane solarnih kolektora je vrlo nizak, ali ipak može doći do propuštanja radnih tvari iz kolektora u tlo, smetnje refleksije iz solarnih kolektora ili do estetskih "oštećenja". Ti se problemi obično rješavaju u lokacijskoj dozvoli, tako da se može izbjeći posebno ekološko dopuštenje. (SDH, 2012)

Građevinske dozvole

Dobivanje građevinske dozvole je potrebno da bi se pridržavalo nacionalnih, regionalnih i lokalnih propisa o gradnji. Dobivanje ili nedobivanje građevinske dozvole ovisi o prostornim planovima i ishodenim lokacijskim dozvolama. Općenito je po završetku projekta potrebno obaviti pregled novog ili obnovljenog objekta.

Građevinska dozvola može biti potrebna kod izgradnje ili obnove novih objekata za proizvodnju toplinske energije, ali i za izgradnju toplovodne mreže. Primjerice, građevinska dozvola obično nije potrebna za instalaciju solarnih kolektora na zemljište, osim ako u projekt nije uključena neka zgrada ili toplinski spremnik. Za slučaj instalacije kolektora na krovu će biti potrebna građevinska dozvola jer se mora dokazati da masa solarnih kolektora nije prevelika. (SDH, 2012).

Ekološke dozvole

Procjena utjecaja na okoliš ili procjena održivosti može ovisno o projektu biti potrebna kako bi se dobila ekološka dozvola. Putem navedenih studija se procjenjuje utjecaj onečišćenja i emisija na ljude, životinje, biljke, tlo, vodu, atmosferu i kulturne objekte. Putem tih se dozvola regulira utjecaj na zrak, buku, vibracije, vodu, ljude i slične probleme.

Ekološke dozvole mogu biti vrlo bitne kod proizvodnje toplinske energije, osobito kod tehnologija koja uključuju izgaranje, kao što su postrojenja na biomasu. Kod solarnih kolektora, utjecaji mogu biti uzrokovani propuštanjem radnih tvari iz kolektora (npr. vode, glikola) u okolišne vode (SDH, 2012). Iz tog se razloga npr. na osjetljivim područjima može zahtijevati korištenje vode ili glikola kao radnog medija. Za slučaj korištenja dizalica topline zemlja-voda ili geotermalna postrojenja, mogu biti potrebne i rudarske dozvole te dozvole za korištenje podzemnih voda. Nadalje, može biti potrebno provesti i studiju utjecaja na okoliš za distribuciju topline u toplovodnoj mreži.

Dozvole u vezi uklapanja u energetske i toplinske planove

Vrsta korištenog goriva može biti ograničena od strane energetske i toplinske planova pojedine regije ili države. Na primjer, u Danskoj se ne može odobriti novi kotao na biomasu zajedno s kogeneracijskim postrojenjem na prirodni plin, a CTS baziran na sunčevoj energiji se može odobriti samo za slučaj pozitivnih socio-ekonomskih pokazatelja (SDH, 2012). Regulative koje proizlaze iz energetske planova također mogu utjecati na pristup mreži u elektroenergetskom sektoru, koji može biti povezan sa CTS-om preko kogeneracijskih postrojenja ili „power-to-heat“ tehnologija.

4.5 Ugovori

Provedba projekata modernizacije CTS-a može zahtijevati sklapanje niza različitih ugovora s uključenim strankama. Primjer vrlo dobrog pravnog dokumenta koji određuje bitne ugovorne odnose toplinarskih poduzeća s potrošačima topline (ugovori o opskrbi toplinom s potrošačima topline) u Njemačkoj je takozvana Direktiva o općim uvjetima za opskrbu toplinskom energijom

(njem. „Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme“; AVBFernwärmeV“ (BMJV, 2019).

Još jedan vrlo dobar pregled ugovornih aspekata za male CTS-ove se nalazi u smjernicama iz projekta CoolHeating (Laurberg Jensen et al. 2017.) što se u osnovi odnosi i na mnoge projekte nadogradnje. Izvadci iz tog dokumenta su ukratko sažeti u nastavku.

Poslovanje sustava grijanja i hlađenja je regulirano u Europi te postoje mehanizmi ublažavanja rizika od monopola. Kod CTS-a se često nekoliko desetljeća ne mijenjaju kupci, vlasništvo toplinarskog poduzeća te proizvodni pogoni. Putem ugovora i zakonskih obveza se osigurava kvaliteta, sigurnost usluge te prava potrošača. (Laurberg Jensen et al. 2017)

Štoviše, već se u razvojnoj fazi projekata CTS-a i CRS-a, u razne ugovore ugrađuju mjere ublažavanja mogućih rizika. Općenito, potrebno je naglasiti da se kod izrade najvažnijih ugovora u projektima izgradnje CTS-a trebaju uvažiti stručni savjeti pravnika. Ugovori moraju biti usklađeni s raznim pravnim zakonima i pravilnicima te stoga za neiskusnu osobu može biti teško pripremiti obvezujući dokument kojim će se definirati svi aspekti opskrbe i potrošnje topline na transparentan i jasan način te u skladu s nacionalnim pravnim i regulatornim okvirom (Laurberg Jensen et al. 2017).

Sljedeće ugovore je potrebno sklopiti kod nadogradnje CTS-a:

- Ugovor za projektiranje i izvođenje radova
- Ugovor opskrbe toplinskom energijom krajnjih kupaca
- Vlasnički ugovori s dioničarima
- Ugovori s regulatornim tijelima i opskrbljivačima komunalnih usluga (električna energija, voda, plin, itd.)
- Ugovori s dobavljačima goriva (projekti povezani s bioenergijom)
- Ugovori o korištenju zemljišta
- Ugovor o održavanju

Ugovori o opskrbi toplinom kućanstva i javnih zgrada su uobičajeno javno dostupni, tako da ih se može kod novih projekata koristiti kao predložak. S druge strane, ugovori o opskrbi toplinskom energijom za industriju su rijetko javno dostupni. (Laurberg Jensen et al. 2017)

4.6 Poslovni modeli projekata nadogradnje CTS-a

Poslovni modeli nadogradnje sustava ovise o samom projektu i njegovim specifičnostima te ih karakterizira sljedeće:

- Strateški ciljevi (javni ciljevi, ciljevi poduzeća, sniženje cijene)
- Vlasnička struktura
- Plan investicija
- Ekonomski aspekti: zarada, prihodi, troškovi
- Ugovori i dozvole
- Uključene stranke

Održivi bi poslovni model trebao omogućiti svim uključenim strankama, tj. investitorima, krajnjim korisnicima, lokalnoj samoupravi, itd. ostvarenje planirane koristi. Za investitore i krajnje korisnike su najvažniji financijski doprinosi, međutim, za lokalnu samoupravu potrebne pogodnosti mogu biti i društvene, ekološke, itd. Lokalne vlasti su često barem tijekom planiranja i projektiranja uključene u takve projekte. Međutim, različiti se modeli vlasništva mogu primijeniti kod nadogradnje CTS-a, ovisno o postojećim odnosima među dionicima. Sunko i suradnici (2017) daju smjernice za male obnovljive sustave grijanja i hlađenja, koje se

djelomično odnose i na projekte modernizacije. Obično se mogu primijeniti tri različita modela: potpuno javni model, javno privatno partnerstvo ili privatni model.

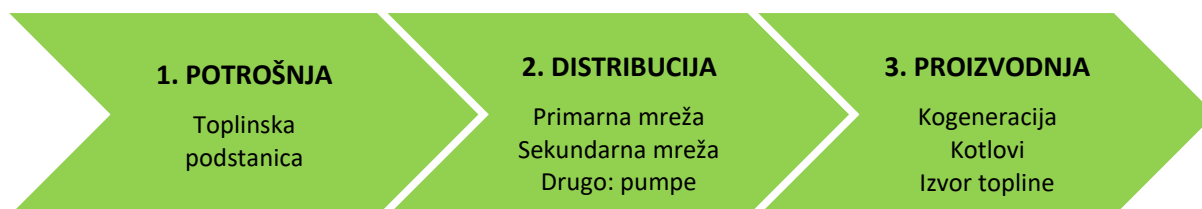
U **potpuno javnom modelu**, rizik ulaganja je pokriven od strane općine ili grada, a projekt provodi javno poduzeće. Ako projekt ima nisku unutarnju stopu povrata, može se provoditi u kombinaciji s drugim projektima javnog komunalnog poduzeća s višim stopama povrata, čime se smanjuje rizik.

U **privatnom modelu**, projekt je u potpunosti razvijen i implementiran od strane privatnog investitora. U tom se slučaju nastoji maksimizirati dobit. Međutim, oblik privatnog vlasništva može biti i zadruga, gdje se građani odlučuju za ulaganje u sustav i gdje glavni cilj nije dobit, što dovodi do nižih cijena topline.

Javno-privatno partnerstvo je steklo popularnost u posljednje vrijeme, budući da kombinira prednosti javnog i privatnog partnerstva. U ovoj vrsti partnerstva, privatni investitor sudjeluje u projektiranju, investiranju, izgradnji, posjedovanju i upravljanju sustavom opskrbe energijom unaprijed određeni broj godina, obično 15 do 25 godina.

5 Tehničke mjere nadogradnje

Tehničke mjere nadogradnje su jednako važne, ako ne i važnije od ne-tehničkih mjera nadogradnje. Tehničke mjere uključuju integraciju novih i optimizaciju postojećih tehnologija, te zamjenu dotrajale opreme i komponenata. Tehničke mjere nadogradnje se mogu klasificirati kao što prikazuje Slika 22.



Slika 22: Klasifikacija tehničkih mjera nadogradnje (Roth, 2018)

Kao što je već bilo spomenuto u poglavlju **Error! Reference source not found.**, nužno je procijeniti stvarno stanje cjelokupnog CTS-a, počevši od sustava grijanja potrošača i toplinskih podstanica, nakon čega slijedi sustav distribucije topline (distribucijska i prijenosna mreža) i proizvodna postrojenja. Kao osnova za početak provedbe procesa nadogradnje se može koristiti predložak „Općenita procjena CTS-a“ (Miedaner, 2018) za procjenu početnog stanja. U istom se predlošku daju i smjernice za procjenu pojedinih komponenti sustava što je ukratko opisano u sljedećim poglavljima (5.1.1; 5.2.1; **Error! Reference source not found.**). S prikupljenim se podacima može omogućiti stručnjacima da dobe prvi pregled i naznake najvažnijih područja, gdje bi mjere nadogradnje i optimizacije mogle na najlakši i najjednostavniji način (na temelju iskustava) dovesti do poboljšanja u CTS-u.

5.1 Toplinske podstanice i korištenje toplinske energije

Potrošnja energije u zgradama je od velike važnosti za učinkovitost sustava. Kod nadogradnje CTS-a je potrebno razmotriti sljedeće stavke s obzirom na krajnje potrošače:

- Poboljšanje energetske učinkovitosti zgrada može smanjiti sveukupne potrebe za toplinskom energijom.
- Neke sustave grijanja u zgradama je potrebno nadograditi jer nisu prilagođeni za rad s niskim temperaturama u sustavu grijanja.

Ove dvije stavke su međuovisne jer poboljšanje energetske karakteristika zgrade omogućuje rad sustava grijanja pri nižim temperaturama. U nastavku se pomnije razrađuju ove stavke.

5.1.1 Procjena instalacija kod krajnjih korisnika

Dobar pokazatelj veličine sustava su **godišnje toplinske potrebe** koje se koriste u izračunu drugih pokazatelja. Podatak o toplinskim potrebama također ukazuje na prihode sustava jer je glavni izvor prihoda prodaja toplinske energije.

Kompleksnost CTS-a se može prikazati preko **broja spojenih toplinskih podstanica**, posebice kod kućanstva. Na rad sustava utječe raspodjela vrste potrošača. Razlikuju se toplinske potrebe stambenih zgrada i industrije. Tako npr. stambene zgrade imaju vremenski nepravilne potrebe za toplinskom energijom, dok su potrebe kod industrije stabilnije i ne variraju previše u vremenu. Iz tog razloga stambene zgrade imaju visoka vršna opterećenja, dok industrija ima visoka bazna opterećenja. Vrsta potrošača također utječe i na odabir korištene tehnologije proizvodnje toplinske energije.

Način korištenja i **spajanja toplinskih podstanica** ima utjecaj na rad cijelog sustava. Kod svake toplinske podstanice nastaje pad tlaka u sustavu koji je potrebno razmotriti i npr. pravilno konstruirati sustav pumpi. Također je potrebno razmotriti i vrste ventila i izmjenjivača topline.

Temperaturni režim na strani potrošača utječe na temperaturni režim cijelog CTS-a. Čak i uz zanemarivanje toplinskih gubitaka, minimalna potrebna temperatura na kojoj se toplinska energija dostavlja potrošačima odgovara minimalnoj polaznoj temperaturi u CTS-u. Potrebno je analizirati rad sustava pri svim mogućim temperaturama koje se pojavljuju u radu jer se temperature u sustavu mijenjaju u ovisnosti o toplinskim potrebama, tj. o vremenskim uvjetima. Također je potrebno analizirati i rad ogrjevnih tijela poput radijatora te njihove projektne temperature jer o tim faktorima ovisi veličina i vrsta toplinske podstanice. Radijatori su često predimenzionirani te zbog toga omogućuju sniženje temperature u sustavu grijanja. Bitno je da su radijatori opremljeni termostatskim ventilima. U slučaju da su zgrade naknadno opremljene izolacijom, moguće je smanjiti temperaturu dovoda.

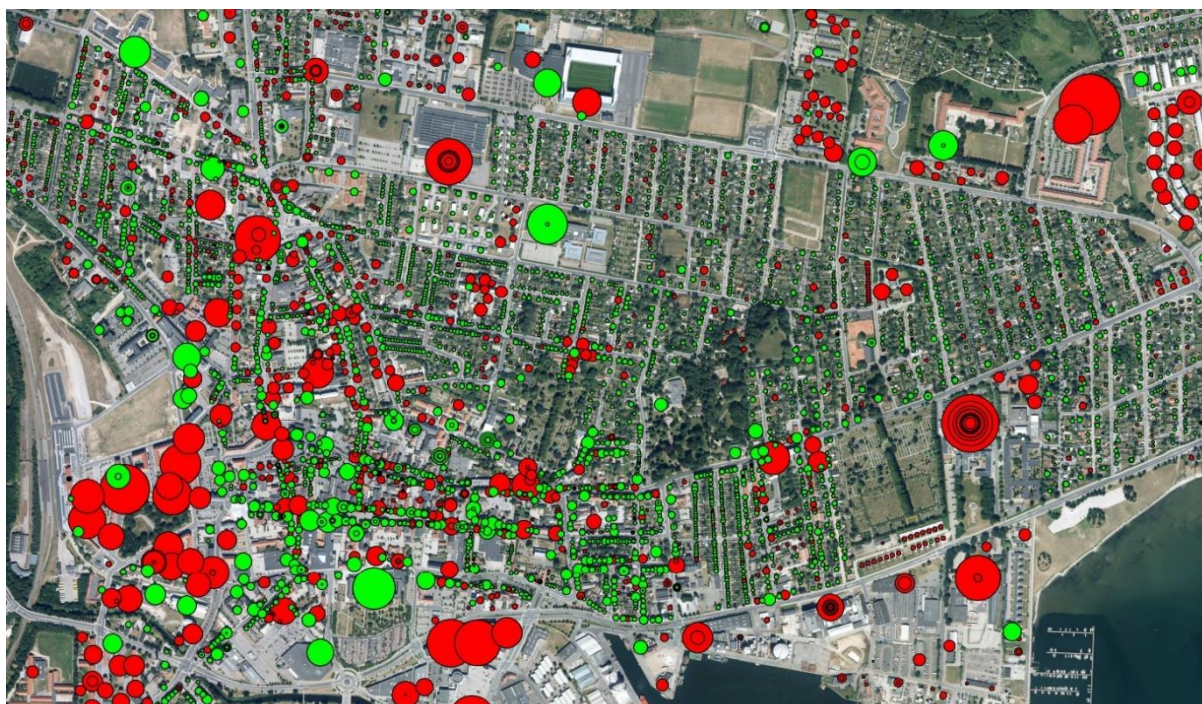
Kod ugradnje **toplinske podstanice** je potrebno procijeniti utjecaj na ostatak mreže. Nadalje, moraju se procijeniti **padovi tlaka** zbog strujanja kroz regulacijske ventile i izmjenjivače topline. Pad tlaka na ventilu (KV vrijednost) bi trebao biti što viši (barem 2/3 pada tlaka u izmjenjivaču) uz uvjet da se ne stvara prevelika razina buke. Toplinske podstanice veći dio godine rade pri djelomičnom opterećenju, što znači da je pad tlaka na ventilu puno niži od projektnog. Budući da postoji kvadratni odnos između masenog protoka i pada tlaka, to znači da u slučaju smanjenja masenog protoka od 50%, pad tlaka iznosi samo 25% nazivnog iznosa. To pak može dovesti do vrlo nestabilnog rada ventila (zablokiranost u otvorenom ili zatvorenom položaju ventila) te može uzrokovati oštećenje izmjenjivača topline ili imati i negativne posljedice na mrežu.

Mapiranje toplinskih potreba na nekom području može pružiti vrijedne ulazne informacije o potrošnji energije. Slika 23. prikazuje potrošnju i proizvodnju toplinske energije u CTS-u. Veličina točkica označava ukupnu potrošnju topline u zgradi, dok boja označava da li se napajaju putem CTS-a (zelena boja) ili na druge načine (crvena boja). Ovakva karta daje za područja za koja su dostupni podaci dobar vizualni prikaz dijelova na koje se potrebno fokusirati u svrhu smanjenja toplinskih potreba i uvođenja nisko-ugljičnog CTS-a.

Uvođenje **nisko-temperaturnih sustava grijanja** može predstavljati potencijalne probleme. Potrebno je pažljivo razmotriti zgrade koje će se opskrbljivati nisko-temperaturnim sustavima grijanja kako bi se osigurala odgovarajuća razina toplinske ugodnosti te kako bi se osigurala isporuka potrošne tople vode bez rizika od legionele.

U slučaju izgradnje novih zgrada i njihovog spajanja na CTS, potrebno je na prikladan način izraditi sustave grijanja u samim zgradama (za niske temperature). Upute kod izrade takvih sustava:

- Korištenje podnih ili površinskih ogrjevnih tijela
- U slučaju nemogućnosti izvedbe podnog grijanja je potrebno ugraditi radijatore odgovarajuće veličine
- Trebalo bi izbjegavati spremnike i duge cjevovodne instalacije za skladištenje i transport potrošne tople vode zbog legionele



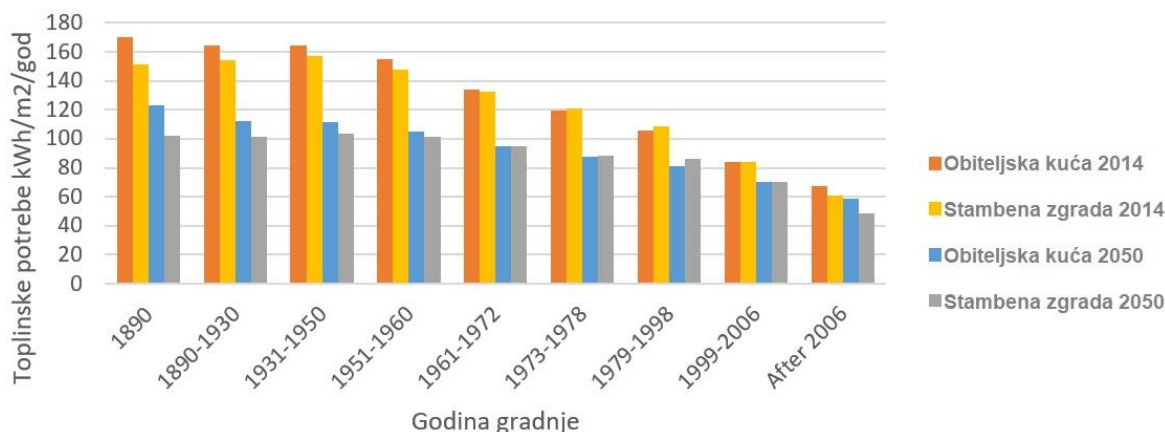
Slika 23: Potrošnja i proizvodnja energije (Izvor: COWI A/S)

Izazov može predstavljati spajanje **postojećih zgrada** na nisko-temperaturne sustave grijanja jer su one bile projektirane sa svrhom grijanja pri puno višim temperaturama. Ipak, kod energetske obnove starijih zgrada može doći do predimenzioniranosti ogrjevnih tijela nakon obnove pa se u tom slučaju mogu primijeniti nisko-temperaturni sustavi grijanja, dok je kod nekih uvođenje nisko-temperaturnih sustava moguće tek nakon sveobuhvatne obnove istih.

Drugi mogući problem je opskrba potrošnom toplom vodom jer niske temperature u sustavu potrošne tople vode predstavljaju rizik od bakterije legionele. Ovaj se problem može riješiti korištenjem posebnog izmjenjivača topline sa ugrađenim električnim grijačem samo za pripremu PTV-a.

Poboljšanje **energetske učinkovitosti postojećih zgrada** je teško provesti u privatnom sektoru. Iako građevinski propisi, politike i poticaji nastoje potaknuti poboljšanje energetske učinkovitosti, mnoge zgrade su i dalje energetske neučinkovite. Dugi vijek trajanja samih zgrada u usporedbi sa sporom obnovom znači da se energetske karakteristike postojećih zgrada sporo mijenjaju.

Studija sa Sveučilišta Aalborg u Danskoj (Wittchen, 2014) daje projekciju očekivane potrošnje energije postojećih zgrada u 2050. godini, uz pretpostavku provedbe energetske obnove u skladu s građevinskim propisima. To prikazuje Slika 24.



Slika 24: Potencijal smanjenja potražnje za energijom do 2050. (Izvor: Wittchen et al. 2014)

Navedena studija pokazuje kolike se uštede potrošnje energije mogu postići, posebice kod stambenih kapaciteta sagrađenih prije 1970-ih koji pružaju smanjenje toplinskih potreba do 30% po m². Iako se ta studija temelji na danskim podacima i stopama poboljšanja energetske učinkovitosti, ona prikazuje općenitu sliku o iznosu postizivih ušteda.

Sveukupna obnova (cjelokupna strategija nadogradnje) u odnosu na postupna poboljšanja, pruža mogućnost poboljšanja u svim područjima učinkovitosti te olakšava razvoj nisko-temperaturnog CTS-a. Na taj se način provodi obnova u Albertslundu u Danskoj, gdje je zadani cilj upravne jedinice da cijela njihova opskrba toplinskom i električnom energijom do 2025. godine bude ugljično neutralna. Dio navedenog projekta uključuje zamjenu cjelokupne mreže CTS-a (položene 1964. s radnim temperaturama od približno 90°C) s nisko-temperaturnom mrežom (s radnom temperaturom od 50-60 °C).

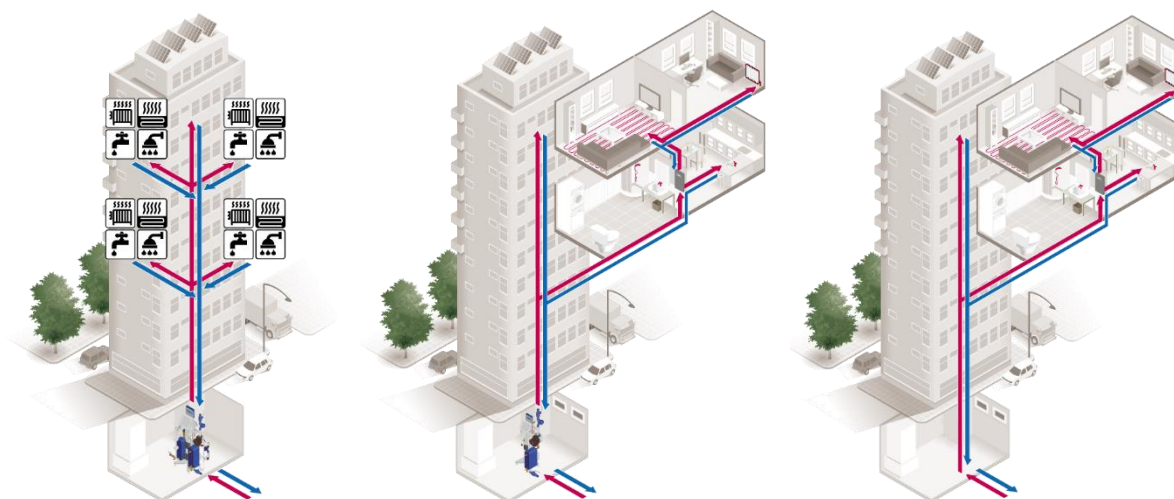
Većina stanova u Albertslundu prikazanih na Slika 25 je izgrađena za vrijeme 1960-ih i 70-ih godina i stoga predstavljaju svojevrsan izazov kod uvođenja nisko-temperaturnih sustava grijanja. Korištena izolacija i instalacije grijanja nisu predviđeni za korištenje u kombinaciji s vodom niske temperature polaza (u ovom slučaju 50°C) u sustavu grijanja pa se samo promjenom temperaturnog režima sustava grijanja ne može osigurati dobava potrebnog iznosa toplinske energije. Općina ima ambiciozan program obnove zgrada prema visokim standardima energetske učinkovitosti, što uključuje poboljšanja izolacije kao i ugradnju sustava podnog grijanja. Stambene se jedinice spajaju u fazama u skladu s planom obnove. Nisko-temperaturna se voda u sustavima grijanja stambenih jedinica dobiva miješanjem polaznog i povratnog voda „starog“ sustava tako da se dobiva voda temperature 55°C.



Slika 25: Zgrade prije (lijevo) i poslije (desno) obnove, Albertslund, Danska, (Izvor: COWI)

5.1.2 Mogućnosti obnove toplinskih podstanica

Postoji nekoliko različitih mogućnosti priključenja potrošača na CTS. Može se napraviti podjela na sljedeće tri **mogućnosti spajanja**, kao što je prikazano za slučaj zgrade na primjeru na Slika 26. Prva opcija je tipična s centralnom toplinskom podstanicom u podrumu višestambene zgrade. U drugoj se varijanti uz centralnu podstanicu u podrumu dodaju takozvane mikro toplinske podstanice u stanovima. Treća je mogućnost korištenje samo podstanica u samim stanovima.



Slika 26: Načini spajanja kućanstva na CTS (Izvor: Alfa Laval / Cetetherm – COOL DH projekt)

Klasične toplinske podstanice često sadržavaju spremnike za skladištenje potrošne tople vode u svrhu snižavanja opterećenja sustava uslijed vršnih opterećenja i za osiguravanje dovoljno niske temperature povrata. Međutim, za slučaj obiteljskih kuća je dovoljan samo izmjenjivač topline (5 cijevnih priključaka). Na lokacijama gdje je voda „tvrda“ se preporučuje ugradnja „omekšivača“ vode prije izmjenjivača topline za potrošnu toplu vodu kako bi se izbjeglo taloženje kamenca na izmjenjivačkim površinama.

Prednost korištenja dobro izoliranih **mikro izmjenjivača topline** u stanovima je ta da se temperatura isporuke vode u CTS-u može smanjiti na oko 8°C iznad potrebne temperature PTV-a, koja se je u nekim slučajevima snizila na 45°C. Naglašava se da se takav režim rada može koristiti u stanovima jer se postavlja ograničenje na volumen tople vode u cijevima izmjenjivača topline ispod 3 litre.

Kombinacija smanjenja broja vertikalna (Slika 26), te izostanka potrebe za spremnikom PTV-a i nižih temperatura u sustavu grijanja smanjuje ukupne toplinske gubitke. Međutim, trošak takvog sustava će biti nešto viši od tradicionalnog rješenja.

Izravan spoj ogrjevnih tijela na CTS podrazumijeva rad radijatora pod visokim tlakom i korištenje čiste vode u sustavu. Prednost takvog sustava je niža temperatura povrata i manji trošak. Ovakvi sustavi su danas rijetkost te se koriste na samo nekoliko mjesta, npr. u Danskoj.

Kod ovakvih je sustava potrebno imati dva nadzirana mjerila protoka, jedan za dolazni vod, a drugi za povratni vod. Osim toga, potrebni su i zaporni ventili za automatsko zatvaranje priključka na CTS u slučaju propuštanja.

Pametni sustavi mjerenja potrošnje energije s prijenosom podataka u stvarnom vremenu mogu osim informacija o korištenju energije i uzorcima, dati informacije o malim padovima temperature, visokim temperaturama povrata, kao i neželjenim fluktuacijama koje se mogu riješiti od strane toplinarskog poduzeća. Nadalje, prikupljeni se podaci mogu koristiti za otkrivanje mjesta curenja iz cijevi u tlu koje može uzrokovati velike gubitke.

Sustavi daljinskog upravljanja mogu sadržavati upravljački uređaj za uključivanje ili isključivanje grijanja prostora na način da se kod vršnih opterećenja za potrošnom toplom vodom može dio opterećenja zadovoljiti iz same zgrade tako da se smanji grijanje u isto vrijeme.

5.2 Distribucija topline i toplovodi

Bitan dio CTS-a je distribucijska mreža kojom se povezuju proizvodni i potrošački dio sustava. Obično se distribucijska mreža za grijanje sastoji od polazne cijevi koja dovodi vruću vodu (Toplovod ili vrelovod) ili paru (parovod) iz izvora topline do korisnika, kao i paralelnu povratnu cijev koja vraća „iskorištenu“ ili hladnu vodu natrag do proizvodnog postrojenja. Cilj je osigurati pouzdanu opskrbu toplinom koja je prilagođena potrebama mreže i koja je što učinkovitija.

Dostupne su različite **tehnologije toplovoda**, koje se razlikuju po veličini i karakteristikama. U povijesti su u CTS-ima korištene mnoge različite tehnologije toplovoda. Neke od tehnologija nisu preživjele jer se ispostavilo da su cijevi prerano propale ili zbog nezadovoljavajuće energetske učinkovitosti, dok su druge dokazale svoju robusnost i pouzdanost tijekom desetljeća. (Frederiksen i Werner, 2013)

Na izbor odgovarajućeg sustava toplovoda uglavnom utječu medij (para ili voda), temperaturni režim rada, količina topline koju treba transportirati i dužina mreže. Razvojni ciljevi novih tehnologija distribucije topline su obično smanjenje investicijskih troškova, potrebnog prostora, vremena instalacije i operativnih troškova.

5.2.1 Procjena stanja distribucijske infrastrukture

Podaci o **duljini mreže** daju informacije o širenju i raširenosti mreže. Ova informacija je važan element za izračunavanje pokazatelja učinkovitosti kao što je gustoća potrošnje topline. Pri tome, važniji podatak od ukupne duljine mreže je duljina određenih tipova cijevi određenog promjera.

Sveukupna **instalirana snaga** odražava zbroj ukupnog toplinskog opterećenja svih zgrada. Uvodi se faktor istovremenosti koji daje odnos sume svih ulaza (maksimalna suma snaga svih proizvodnih postrojenja u protekloj godini, MW) i sume svih izlaza (u MW). To je vrlo važan faktor ocjene rada sustava. Faktor bi trebao biti manji od "1". Što je manji faktor, to je bolja i ekonomičnija izvedba.

Starost i stvarno tehničko stanje toplinske mreže daju naznaku o prihvatljivosti načina rada sustava te upućuju na mogućnosti poboljšanja. Važno je znati je li se način rada (temperature, tlakovi, itd.) u prošlosti promijenio, koji su troškovi rada i održavanja, dob i sadašnje stanje, što sve može pomoći u izradi plana ulaganja u mrežu.

Trebaju biti poznate **opće karakteristike mreže** npr. dali se radi o primarnoj ili sekundarnoj mreži, vrsti instaliranih cijevi (pred-izolirane, kanalski tip ili površinske cijevi, itd.)

Sljedeći indikatori daju informacije o **kvaliteti** sustava:

- **Broj punjenja godišnje:** broj punjenja označava koliko se često ukupna količina vode svih cijevi mijenja u jednoj godini. To pretpostavlja da su gubici vode izmjereni. Gubici vode se mogu mjeriti mjerenjem količine obrađene i ponovno napunjene vode u mreži na postrojenju za pripremu vode, koja se naziva i voda za nadopunu.
- **Korozija:** unutarnja ili vanjska korozija. U slučaju unutarnje korozije, potrebno je poboljšati kakvoću vode na postrojenju za pripremu vode (AGFW FW 510 2018). Vanjska korozija se može pojaviti u cijevima kanalskog tipa ili u ukopanim cijevima. Unutarnja korozija se nikada ne bi smjela pojaviti.
- **Stanje kanala u slučaju korištenja cijevi u kanalima:** Vrlo se često može desiti da cijevi kanalskog tipa znaju biti potopljene ili su bile potopljene. Do toga može doći uslijed korozije, ili zbog poplavlivanja uslijed kiše ili podzemnih voda. Jednom poplavljeni kanal gubi toplinska svojstva tako da rastu gubitci topline. Potopljeni kanali se mogu detektirati termografskom kamerom. Takve je sustave potrebno kod obnove zamijeniti pred-izoliranim cijevima.
- **Toplinski gubici:** Toplinski bi se gubici trebali što više sniziti. Stoga je bitno znati koliki je njihov iznos te kako se došlo do tog podatka (pogledaj „broj punjenja godišnje“).
- **Temperaturni režim sustava:** Što je niža temperatura sustava, to je veća učinkovitost i jednostavnija je integracija obnovljivih izvora energije. Gubici topline se smanjuju sniženjem radnih temperatura. Ukoliko je temperatura polaza klizeća, potrebno je navesti kakva je promjena temperature. Na primjer, promjena vanjske temperature za 1 K uzrokuje promjenu temperature polaza od 3,5 K, itd. CTS-i gotovo uvijek koriste promjenjivu temperaturu polaza.
- **Broj prestanka rada:** U slučaju prestanka rada sustava zbog održavanja, moraju se odrediti dilatacijske zone (U-cijevni ekspanzijski spojevi) prije nego se temperatura spusti ispod 80°C. U suprotnom, nakon ponovnog puštanja u rad može doći do statičkih kvarova. Posebne metode popravka se koriste u slučaju potpunog prestanka rada.
- **Broj kvarova po kilometru:** Broj kvarova/nepravilnosti po kilometru cijevi se treba svesti na najnižu moguću razinu.
- **Kvaliteta vode:** Kvaliteta vode podliježe standardima, kao npr. AGFW FW 510 2018 standard u Njemačkoj.
- **Statistički podaci:** Broj spojeva, snaga priključaka po kilometru ili gustoća toplinskih potreba po km² služe kao statistički pokazatelji gustoće toplinskih potreba.

Pumpe su jedan od glavnih potrošača električne energije. Korištenje predimenzioniranih pumpa ili zastarjele tehnologije često rezultira visokim pogonskim troškovima. Nadalje, pumpe jako utječu na pokazatelja učinkovitosti kWh_{el}/MWh_{th} kao omjer utrošene električne energije po dostavljenoj toplinskoj energiji. Visoke vrijednosti ovog omjera ukazuju na probleme s radom mreže ili radom pumpa. Stoga je način upravljanja radom pumpi vrlo važan. Frekvencijski upravljane pumpe su najmodernije. Veličinu mrežnih pumpi je potrebno pomno izračunati pomoću bilo kojeg pouzdanog hidrauličkog modela proračuna i treba ih kontrolirati prema točki u mreži s najnižim diferencijalnim tlakom, koji ne smije biti manji od 0,7 bara.

5.2.2 Vijek trajanja cijevi

Procjena preostalog radnog vijeka cijevi razvodne mreže CTS-a se može lako procijeniti ispunjavanjem upitnika ili putem predloška. **Životni vijek cijevi** ovisi o faktorima povezanim s okolišnim uvjetima te sa upravljanjem radom sustava. Na primjer, to ovisi o temperaturnim režimima rada, varijacijama temperature i kvaliteti vode u sustavu. Prekoračenja životnog vijeka može rezultirati curenjem, ali i toplinski uzrokovanim umorom materijala ili pojavama termo-oksidacijskog starenja što dovodi na primjer do smanjenja ili gubitka izolacijskih svojstava. Proračunati vijek trajanja cijevi sa plastičnim omotačem je najmanje 30 godina (AGFW FW 401, 2018), ali postoji mnogo primjera instalacija koje rade mnogo duže bez ikakvih problema.

Dugoročno ponašanje cijevi ovisi uglavnom o termodinamičkoj stabilnosti krute poliuretanske pjene i načinu na koji je vezana sa cijevi. Dugotrajno izlaganje visokim temperaturama uzrokuje toplinsku degradaciju, što dovodi do smanjenja čvrstoće (AGFW FW 401, 2018). Međutim, zbog kratkog vijeka trajanja postojećih toplinskih mreža u usporedbi s drugim infrastrukturnim sustavima, nedostaje dugogodišnje iskustvo za procjenu vijeka trajanja komponenti sustava. Postoje različiti pristupi za procjenu životnog vijeka infrastrukturnih mreža. To uključuje statističke modele vijeka trajanja, modele termičkog starenja i teorije o akumulaciji oštećenja. Sve metode za procjenu (preostalog) vijeka su podložne nesigurnostima.

Važna karakteristika cijevi u CTS-u je njena tolerancija na promjene temperature radnog medija za prijenos topline (voda u sustavu). Temperaturne promjene uzrokuju velike sile između tla i cjevovoda, jer se cijevi šire ili skupljaju kod promjene temperature. Indikator koji opisuje ovu toleranciju je minimalan broj ciklusa potpunog opterećenja koji bi sustav trebao izdržati prije oštećenja. **Ciklus punog opterećenja** je najveći raspon temperature između temperature tijekom instalacije sustava i maksimalne radne temperature. Apsolutni broj prihvatljivih ciklusa punog opterećenja uvelike varira između različitih tipova toplovoda i daje pokazatelje koji se mogu koristiti u izradi sustava. S povećanjem udjela obnovljivih izvora energije u CTS-u se očekuje promjena radnih temperatura sustava (Sauerwein, 2013a, 2013b).

Broj ciklusa punog opterećenja ovisi o projektnom radnom vijeku cijevi. Tablica 4. prikazuje podatke za radni vijek cijevi od 30 do 50 godina.

Tablica 4: Broj ciklusa punog opterećenja u ovisnosti o vremenu i tipu cijevi (prema AGFW FW 448, 2018; i prema EN 13941)

	Izračunat broj ciklusa punog opterećenja za vijek od 30 godina	Izračunat broj ciklusa punog opterećenja za vijek od 50 godina
Transmisijski cjevovodi	100 – 250	170 – 420
Distribucijski cjevovodi	250 – 500	420 – 840
Kućni priključci	1,000 – 2,500	1,700 – 4,200

Ne postoji 100% ispravan postupak procjene stanja infrastrukture za distribuciju topline koji se može predložiti. U tijeku su istraživanja kojima je cilj poboljšati kvalitetu procjene preostalog vijeka trajanja ili procjenu trenutnog stanja (AGFW, 2015, 2018a). Međutim, postoje neki postupci koji omogućuju donošenje zaključaka o trenutnom stanju cijevi CTS-a (sustava).

Jedna mogućnost je provođenje jednostavne **provjere stanja toplovoda**. U tu svrhu, vizualno promatranje i provjera važnih karakteristika kao što su gubitci topline i vode te padovi tlaka mogu pružiti početne informacije. Primjenjive metode i tehnologije za postupke provjere stanja i utvrđivanje odstupanja od normalnih vrijednosti u toplovodima su propisane u provjerenim pravilima o provedbi inspekcije CTS-a, CRS-a te za kogeneraciju. One se periodički obnavljaju

te se objavljuju ažurirane metode od strane AGFW-a (2018.). Uključene procedure (AGFW FW 435, 2018) su svrstane u sedam skupina:

1. Metode zasnovane na radnim parametrima

U ovim se metodama koriste parametri sustava i podaci dobiveni mjerenjem u svrhu otkrivanja curenja. Indikatori curenja mogu biti česti nagli padovi tlaka ili potreba za nadopunjavanjem vode u sustavu. Primjenom ovih metoda se može doći do lokalizacije problema i učinkovite implementacije mjera sanacije.

2. Vizualne metode

Vizualni pregled stanja cjevovoda je bitan za procjenu provođenja održavanja cjevovodnih sustava. Uočeni nedostaci koji još nisu doveli do propuštanja se mogu istražiti i procijeniti. Ti nedostaci utječu na planiranje mjera i strategija održavanja. Osim u preventivne svrhe, vizualni postupci se mogu primijeniti kako bi se locirala stvarna mjesta propuštanja u sustavu. Za vizualni pregled se mogu koristiti instrumenti kao „Crawler-Eye“, opisan detaljnije u katalogu „Upgrading instruments“ (Upgrade DH, 2018c) projekta „Upgrade DH“. U praksi je najkorisnije snimanje termalnim kamerama iz zraka. Dodatna prednost ovog postupka je što se osim detekcije mjesta propuštanja snimanjem iz zraka može dokumentirati stvarna slika sustava. Ovo je od osobite koristi za stare sustave gdje je dokumentacija često neadekvatna, netočna ili čak izgubljena.

3. Mehaničko-tehnološke metode

Mehaničko tehnološke metode se oslanjaju na mjerenje debljine stjenke cijevi putem ultrazvuka. Dobiveni podaci o debljini se kasnije mogu koristiti za procjenu stanja materijala cijevi, preostalog životnog vijeka, te utječu na planirane zahvate na održavanju mreže.

4. Prijenosne metode

Primjenjuju se termografske metode i korelacijska analiza kako bi se otkrilo stvarno mjesto istjecanja (na temelju procijenjene lokacije prethodno primijenjenih metoda baziranih na radnim parametrima). Obje metode omogućuju preciznu lokalizaciju problema, ali rade s različitim principima. Termografsko snimanje iz zraka pripada u skupinu termografskih metoda te je također je opisano u katalogu instrumenata za nadogradnju (Upgrade DH, 2018c).

5. Tvari za praćenje

Tvari za praćenje se koriste u svrhu određivanja točnog mjesta curenja (okvirna lokacija se određuje gore nabrojanim metodama). Korištenje ove metode ne utječe na rad sustava.

6. Robotsko mjerenje debljine stjenke cijevi

Koriste se inspekcijski roboti koji pomoću ultrazvuka mjere debljinu stjenke cijevi. Ovom se metodom dobivaju vrlo kvalitetni podaci te se omogućuje pouzdanije određivanje stanja toplovoda.

7. Posebni (integrirani) sustavi motrenja

Tokom ugradnje i izrade dijelova mreže je moguće ugraditi sustave motrenja. Tako se može npr. kod pred-izoliranih cijevi u toplinsku izolaciju ugraditi žice. Pomoću tih se žica može dobiti informacija o tome je li voda došla do izolacije. Slika 29. prikazuje pred-izoliranu cijev u čijoj su izolaciji vidljive žice.



Slika 27 Vizualna inspekcija pomoću uređaja “Crawler Eye” razvijenog u „Institut für Angewandte Bauforschung Weimar gmbH“ (Izvor: AGFW)



Slika 28: Termografske snimke iz zrakoplova (Izvor: SCANDAT GmbH)

Nadalje, na kvalitetu cjevovoda u CTS-u utječe i kvaliteta **radnog medija za prijenos topline** koji je opisan u (AGFW FW 510, 2018). Kvaliteta vode utječe na radni vijek cjevovoda, jer utječe na brzinu korozije čelične cijevi. Voda loše kvalitete može uzrokovati kvarove na mreži uzrokovane naslagama u cjevovodima ili ventilima. Za ocjenu kakvoće vode se razmatraju pojedinačne tvari u vodi i njihov sastav. Voda koja se koristi u CTS-u se dijeli na dvije vrste: voda s visokim udjelom otopljenih soli i voda s niskim udjelom otopljenih soli prema (AGFW FW 510, 2018). Granične se vrijednosti kod ove dvije vrste pojedinih parametara razlikuju, ali se ocjenjuju isti kriteriji:

- Električna vodljivost pri 25°C
- Izgled
- pH vrijednost pri 25°C
- Kisik
- Tvrdća vode
- Željezo
- Bakar
- Sulfidi
- Sulfati
- Alkalitet $K_{S8.2}$
- Alkalitet $K_{S4.3}$

Savjetuje se praćenje kvalitete vode ili implementacija periodičkih provjera jer je karakteristike vode mogu mijenjati tokom vremena. Stoga je provjera kvalitete vode kao preventivne metode u održavanju jedan od prvih pokazatelja budućih kvarova (primjerice zbog korozije). Voda se u CTS-u koristi u zatvorenom krugu te se u što većoj mjeri trebaju izbjeći propuštanja iz mreže. (AGFW FW 510, 2018)

5.2.3 Pregled suvremenih tehnologija polaganja cijevi

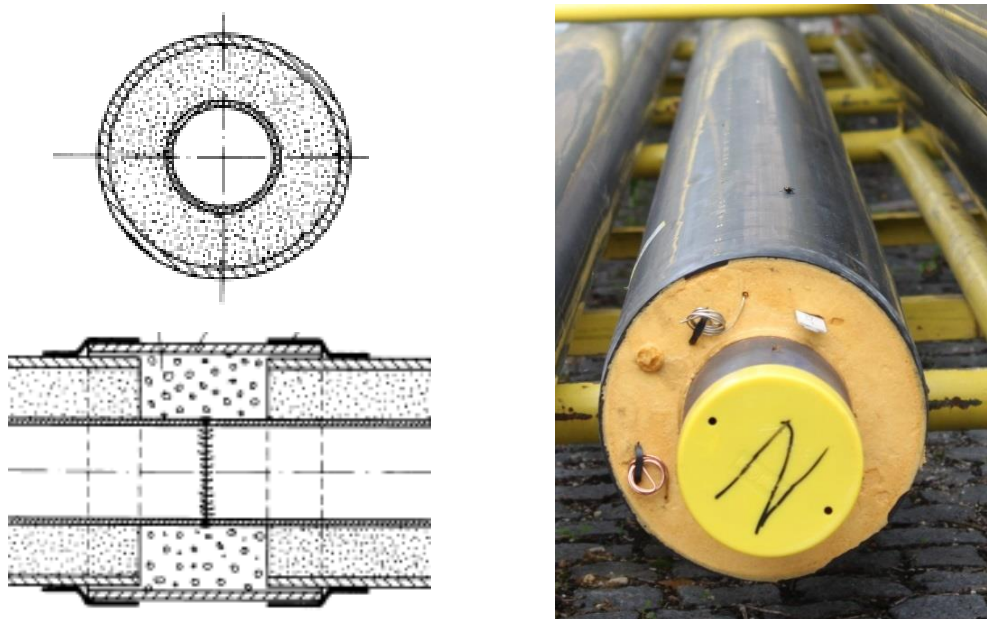
Najveći je dio CTS-a položen ispod površine (većinom u zemlji), a tek mali dio iznad površine, u tunelima ili u zgradama.

Cijevi položene pod zemljom

Osnovni koncept najčešće korištenih tehnologija se sastoji od dvije koncentrično položene cijevi (Slika 29). Unutarnja cijev (sivo) služi za transport radnog medija i osiguranje od curenja. Unutarnja cijev je okružena izolacijskim materijalom (žuto) koji služi smanjenju toplinskih gubitaka. Vanjska stjenka cijevi ili omotač (crno) je zadužena za osiguranje izolacije i unutarnje cijevi od utjecaja vode i oštećenja s vanjske strane. Moderni toplovodi osim spomenutih dijelova imaju i u izolaciju ugrađene dvije žice pomoću kojih se mogu detektirati pojave curenja. (AGFW, 2013)

Kod različitih se vrsta cjevovoda za tri gore nabrojane komponente koriste različiti materijali. Najčešće se koriste pred-izrađene cijevi s plastičnim omotačem koje se mogu direktno zakopati. Navedene se cijevi mogu vidjeti kod promatranih projekata nadogradnje u „Upgrade DH“ projektu (Upgrade DH, 2018b).

Kod **cijevi s plastičnim omotačem (PJP)** je cijev koja transportira radni medij uobičajeno izrađena od čelika, ali i plastike posebice uslijed porasta broja nisko-temperaturnih sustava. Omotač cijevi se izrađuje od polietilena (PE) ili polietilena visoke gustoće (PEHD), a do konačnog se oblika dovodi utiskivanjem izolacijskog materijala u obliku poliuretanske pjene (PUR-pjena) između unutarnje cijevi i omotača. (Frederiksen i Werner, 2013). Stoga se segmenti cjevovoda ovog tipa proizvede pred-izolirani.



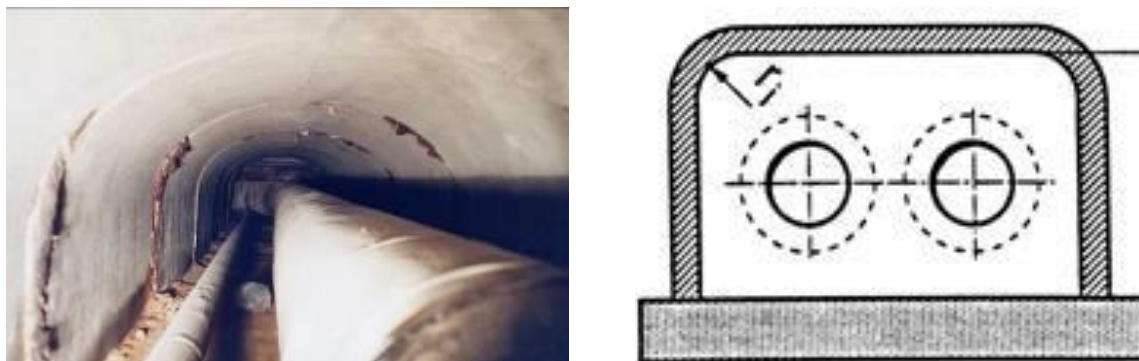
Slika 29: Tehnički crtež pred-izolirane cijevi s plastičnim omotačem (PJP), spoj te vrste cijevi (Izvor: AGFW, 1993) (lijevo) te slika cijevi (Izvor: D. Rutz) (desno)

Kod spajanja dviju ovakvih cijevi se unutarnje cijevi zavare, a vanjske se cijevi spoje rukavcem „engl. *sleeve*“. PJP cijevi nisu prikladne za kontinuiranu primjenu u uvjetima transporta radnog medija sa temperaturom iznad 120 °C, ali se mogu koristiti kratkotrajno kod temperatura od 130 °C do 140 °C. Uobičajeno se koriste PJP cijevi u rasponu dimenzija do DN 600, ali ponekad i do DN 1200. Ista se tehnologija može koristiti i za izradu dvostrukih cijevi manjih promjera. Tad se unutar iste vanjske cijevi i izolacijskog materijala postavljaju i polazna i povratna cijev (AGFW, 2013; AGFW FW 401, 2018)

Povijesni razvoj, zglobovi, spojevi i ostali elementi u CTS-u su detaljnije opisani od strane Frederiksen i Wernera (2013) te u normi „EN 13941 – Projektiranje i montaža sustava pred-izoliranih cijevi za CTS“ ili „DIN EN 253 – Pred-izolirane cijevi za ukopane CTS-e“.

Također se koristi, iako ne tako često i varijacija PJP tehnologije koja vanjski plastični omotač zamjenjuje **čeličnim omotačem**. Učinak toplinske izolacije se ostvaruje ugradnjom vlaknastog izolacijskog materijala na unutarnju cijev ili stvaranjem vakuuma u prostoru između unutarnje cijevi i vanjskog omotača. Vanjski je omotač zbog izloženosti na utjecaj okoliša potrebno zaštititi od korozije kako bi se osigurao dugi životni vijek. Ova je tehnologija pogodna za primjenu s temperaturama polaza iznad 130 °C. Najčešće se koristi u mrežama s malim brojem grananja od glavnog cjevovoda te je najpogodnija za izradu transmisijskih vodova velikih promjera. (AGFW, 2013)

Mogu se koristiti i **toplovodi postavljeni u kanale**. Oni se također ukopavaju. Ulogu osiguranja mehaničke zaštite u ovom tipu toplovoda osigurava betonski kanal unutar kojeg su položene cijevi. Također se osigurava od prodiranja vode što pridonosi očuvanju izolacijskih svojstava. Za slučaj ugradnje u područja s visokim vodostajima podzemnih voda je potrebno osigurati dodatne mjere zaštite od vlage. Mogu se koristiti kanali različitih oblika, a jedan od uobičajenih primjera je kanal s kapuljačom (Slika 30). (AGFW, 2013)



Slika 30: Podzemni kanal u obliku kapuljače s položenim cjevovodom (AGFW, 2013) (lijevo) i kanal u obliku pravokutne kapuljače prema DIN 18178 (AGFW, 1993) (desno)

Ovakvi kanali se sastoje od dva djela. Donji dio „bazna ploča“ se izrađuje na licu mjesta lijevanjem betona, a pokrovni „kapuljačasti“ dio se sastoji od pred-izrađenih betonskih elemenata. Cijevi se unutar kanala polažu na ležaje. Ovakvi su toplovodi zbog tehničkih ograničenja u izradi spojeva slabije primjenjivi kod područja gdje se zahtjeva veliki broj koljena te u područjima s visokim vodostajem podzemnih voda. (AGFW, 2013)

Nadzemni se toplovodi zbog niže cijene od ukopanih koriste u područjima kod kojih ne postoje prostorna ograničenja. Kod korištenja ove vrste toplovoda je potrebno paziti na urbanističke zahtjeve i zaštitu okoliša. Toplovodi se mogu montirati na betonske ili čelične stupove/konstrukcije. Ovisno o okolnostima, mogu se koristiti i varijante s ovješeno konstrukcijom ili mosnom konstrukcijom. U tom se slučaju cjevovodi mogu postaviti duž ulica, dok se ovještene konstrukcije mogu postavljati ispod mostova. Iako je njihova primjena vrlo praktična, potrebno je uzeti u obzir njezin negativan izgled, osobito u urbanim i naseljenim područjima. (AGFW, 2013)

Toplovodi se također mogu instalirati u obliku cjevovoda postavljenih na strop unutar zgrada (Slika 31). Primjenom te tehnologije je moguće postići značajno smanjenje troškova izgradnje. Najpovoljnije je takvu vrstu toplovoda primijeniti u slučaju zgrada koja se nalaze u neposrednoj blizini te ih postaviti na strop njihovih podruma ili podzemnih parkirališta. Kod razmatranja ugradnje u zgradu ovog tipa toplovoda je potrebno razmotriti njegov utjecaj na statiku same zgrade. Također je potrebno obratiti pažnju na dostupnost elemenata regulacije (AGFW, 2013).

Potrebno je također napomenuti da se u mnogim CTS-ima koriste različite vrste cijevi s obzirom na razvoj sustava kroz povijest.



Slika 31: Primjeri nadzemnih i stropnih toplovoda (Izvor: AGFW, 1987)

5.2.4 Mogućnosti poboljšanja u CTS-u

Mogućnosti nadogradnje postojećeg toplovoda su poprilično ograničene. U slučaju otkrivenog propuštanja su potrebni znatni naponi da se dosegne mjesto curenja, posebice kod ukopanih toplovoda. U tom je slučaju potrebno iskopati rov. Najčešće se modernizacija provodi zamjenom dotrajale tehnologije novom kao što je opisano u primjerima dobre prakse „Upgrade DH“ projekta (Upgrade DH, 2018a).).

Posljednjih nekoliko desetljeća je došlo do zamjetnog napretka u tehnologijama toplovoda te su razvijene i nove tehnologije. Korištenjem novih cijevi se mogu sniziti operativni troškovi, smanjiti toplinski gubitci i rizik za havarijom. Stoga se **zamjena cijevi** često primjenjuje kao mjera poboljšanja sustava.

Pod određenim je okolnostima moguće ugraditi potpuno novu toplovodnu mrežu bez iskapanja stare kao što prikazuje projekt proveden u Danskoj (Energy Renovation with Focus on Low-Temperature DH in Albertslund; Upgrade DH, 2018a). Tim je projektom također omogućeno sniženje temperaturnog režima sustava te time kao i korištenjem novih toplovoda smanjenje toplinskih gubitaka. Ipak, provedivost ovakvog projekta ovisi o zakonskim propisima države u kojoj se projekt namjerava provesti jer neke države ne dozvoljavaju ostavljanje ukopanih toplovoda nakon prestanka korištenja.

Jedna o mjera poboljšanja učinkovitosti distribucijskog sustava je **smanjenje potrebe za električnom energijom** potrebnom za pogon pumpa u mreži. Njihovu potrošnju energije nije moguće eliminirati, ali je nekoliko projekata pokazalo značajne potencijale za optimizacijom rada i smanjenjem potrošnje električne energije na minimum. Taj je minimum povezan s minimalnim potrebnim tlakom u sustavu. Vrijednost tlaka u sustavu na mjestu s najnižim tlakom mora biti veća ili jednaka vrijednosti minimalnog propisanog tlaka da bi se osigurala ispravna funkcionalnost. Modernizacijom sustava upravljanja i nadzora „SCADA“ je moguće kontinuirano kontroliranje nametnutih tlakova u sustavu s obzirom na padove tlakova

uzrokovane hidrauličkim nesavršenostima sustava. Korištenjem SCADA sustava i također naknadno ugrađenih pumpa s promjenjivim brojem okretaja je moguće smanjiti potrošnju električne energije za distribuciju toplinske energije, a da se pritom ne smanji sigurnost opskrbe. Općeniti opis primjenjivih metoda se može pronaći u skupu primjera dobre prakse “Mass flow adjustment to the actual needs/demands, to save pumping energy and to achieve low return temperatures”(Upgrade DH, 2018c).

Druga mogućnost nadogradnje distribucijskih sustava je **spajanje dva zasebna CTS-a**, kao što je prikazano u jednom projektu kod primjera najbolje prakse nadogradnje CTS-a (interkonekcija dvije odvojene mreže u Italiji; Upgrade DH, 2018a). U tom su projektu povezane dvije zasebne i međusobno neovisne mreže, svaka s svojim proizvodnim postrojenjima. Proširenjem distribucijske mreže se postižu višestruke dobiti kao što su diversifikacija proizvodnje, bolje iskorištenje korištenih izvora energije kao što su postrojenja za proizvodnju energije iz otpada te pridobivanje dodatnih kupaca. Novi kupci su pridobiveni zbog činjenice da spojni toplovod prolazi kroz stambeno područje s potencijalnim potrošačima što je također jedan od parametara koji se razmatrao tokom procesa planiranja. Planiranje projekta se provodilo putem posebnih softverskih alata, kao što je optimizacijski alat razvijen od tvrtke Optit. Ostali softverski alati i načini optimizacije su pomnije opisani u „Upgrade DH“ (2018c).

Mjere praćenja rada i prikupljanja podataka su mjere nadogradnje pomoću kojih se planira ispunjavanje srednjoročnih i dugoročnih ciljeva. Ove mjere same po sebi ne utječu izravno na rad sustava, ali se njihovim korištenjem mogu donositi odluke o održavanju i nadogradnji sustava. U ove metode pripadaju softverski alati, sustavi praćenja rada i nadzora te prikupljanja podataka. (Upgrade DH, 2018b)

5.3 Tehnologije proizvodnje toplinske energije

Općeniti je trend u energetske sektoru vezan uz povećanje korištenja obnovljivih izvora energije te cilj od 100% energije iz OIE do 2050. godine. Ovdje se uklapaju i projekti nadogradnje CTS-a. Svaki razmatrani projekt nadogradnje bi trebao barem u nekoj mjeri sadržavati mjere uvođenja obnovljivih izvora energije u proizvodnju energije. Strateško planiranje omogućuje dugotrajno sniženje troškova nadogradnje jer se svi dijelovi nadogradnje moraju planirati s zajedničkim ciljevima te se na taj način mogu izbjeći mjere nadogradnje koje se međusobno suprotstavljaju.

Na primjer, u dugoročnoj se strategiji postupno ukida proizvodnja energije iz ugljena i zatvaraju se elektrane na ugljen te će to zahtijevati korištenje nekih drugih tehnologija kao zamjena za postojeće. S obzirom da su elektrane na ugljen bile građene na specifičnim lokacijama uvjetovanim korištenjem ugljena, može se pretpostaviti da te iste lokacije nisu najbolje rješenje za instalaciju novih postrojenja na obnovljive izvore energije. Tako, proizvodna postrojenja na OIE mogu biti u idealnom slučaju raspoređena na nekoliko decentraliziranih lokacija manjih blokova, a ne na lokaciji elektrane na ugljen. Iz tog razloga bi moglo doći do suprotstavljenosti mjera nadogradnje ako bi se na istoj lokaciji instaliralo proizvodno postrojenja na OIE čak i ako bi to rješenje kratkoročno snizilo troškove jer u tom slučaju primjerice nisu potrebne modifikacije toplovodne mreže kao što je slučaj kod uvođenja decentraliziranih postrojenja. Nadalje, u nekim bi se slučajevima postojeća kogeneracijska postrojenja na ugljen mogla modificirati na način da se ugljen kao gorivo zamijeni biomasom te da se na taj način iskoristi već izgrađeno postrojenje i sam CTS. Ovaj se model detaljnije razmatra u poglavlju **Error! Reference source not found.**

Nadalje, kod novih CTS-a je za razliku od starijih puno važnija povezanost između proizvodnih postrojenja s mjestima korištenja topline. Primjerice, solarnu je energiju učinkovitije koristiti u sustavima relativno niske temperature, iako je korištenje i u visoko-temperaturnim sustavima općenito moguće. Stoga je vidljiva međuovisnost potrebe za toplinskom energijom od strane potrošača, temperaturnog režima sustava i proizvodnje topline u proizvodnom postrojenju te se nameće potreba za zajedničkim planiranjem svakog od ovih dijelova zbog njihove međuovisnosti.

U sljedećim se poglavljima daje pregled trenutno dostupnih tehnologija obnovljivih izvora energije i pohrane toplinske energije koje je moguće koristiti u postepenom prelasku CTS-a na potpuno obnovljive izvore energije. Zatim se poglavlju 5.3.8 daju neke smjernice za određivanje vrste korištenih tehnologija te maksimizacije koristi.

5.3.1 Procjena stanja postojećih proizvodnih postrojenja

Kod procjene stanja postojećih proizvodnih kapaciteta topline je vrlo važno imati **karte s označenim svim postrojenjima** i toplinskom mrežom. Karte bi osim svih proizvodnih postrojenja trebale uključivati i sve pumpne stanice u sustavu. Trebali bi biti dostupni podaci o proizvodnji toplinske energije, potrošnji električne energije i goriva te njihove vrste. Pomoću tih se podataka mogu procijeniti tehnički parametri kao što su npr. toplinska i električna učinkovitost svakog proizvodnog postrojenja. Tad se izračunate učinkovitosti mogu usporediti s najmodernijim postrojenjima i tako dati predodžbu o karakteristikama sustava.

Nadalje, važno je znati **starost** važnih komponenti, kao što su kotlovi, turbine, postrojenja za pročišćavanje i pripremu vode te mrežnih pumpa. Uzimajući u obzir podatke o radu, starosti, kao i stvarne troškove rada i održavanja, moguće je izraditi investicijski plan.

Spremnici topline služe poboljšanju fleksibilnosti rada postrojenja za proizvodnju toplinske energije, posebice ako se koriste kogeneracijska postrojenja. Ovisno o veličini i trenutnoj napunjenosti spremnika topline npr. za vrijeme niskih cijena električne energije, nema potrebe za radom kogeneracijskog postrojenja te se tako mogu postići uštede. U vrijeme viših cijena električne energije, kogeneracijsko postrojenje će raditi i nadopunjavati spremnik topline s viškom generirane toplinske energije, dok će ostatak topline biti izravno isporučen u CTS. Ovakav način rada postaje sve češći s obzirom na česte promjene cijene električne energije. Kapacitetom spremnika i trenutnim toplinskim potrebama se određuje mogući vremenski period rada CTS-a bez pogona kogeneracijskog postrojenja.

Jedna od mjera povećanja prihoda toplinarskog društva je **uvođenje hlađenja** tokom ljeta. Specifični toplinski gubici su veći tokom ljeta u usporedbi sa zimom jer se tokom ljeta koristi u svrhu pripreme potrošne tople vode svega 10 do 15 % maksimalne vršne snage korištene tokom zime. Također, zbog smanjene potrebe za toplinskom energijom te potrebom za radom u djelomičnom opterećenju, mnoga kogeneracijska postrojenja rade na nižim učinkovitostima u usporedbi s načinom rada tokom zime. Uzevši to u obzir, dodatna potreba za toplinom tijekom ljeta povećava profitabilnost sustava.

Tokom ljetne je sezone tipična polazna temperatura u sustavu 80 °C. Na tržištu postoje apsorpcijski hladnjaci koji mogu učinkovito raditi koristeći vodu te temperature u svrhu hlađenja. Prema iskustvu iz provedenih projekata je vidljivo da je bolje prodavati vodu visoke temperature za hlađenje putem apsorpcijskih hladnjaka, nego za hlađenje i klimatizaciju prostora.

Važno je poznavanje podataka o **toplinskim gubitcima** u CTS-u. Da bi se točno odredili toplinski gubici, potrebno je imati podatke o proizvodnji topline (hladnoće), kao i o prodanoj toplini/hladnoći kupcima. Najvažnije je da se podaci izravno izmjere pomoću odgovarajuće opreme. Bilo koji drugi postupak određivanja prodane toplinske energije kao što je npr. po m² stambene površine nije točan. Također je važno mjerenja na obje strane provesti u točno isto vrijeme kako bi se odredili toplinski gubici. To znači da se trenutni iznos dostavljane energije mora kod svih kupaca očitati u isto vrijeme.

Budući da mjere poboljšanja mogu uzeti u obzir integraciju obnovljivih izvora energije, potrebno je izraditi procjene utjecaja na rad postojećih proizvodnih postrojenja u ovisnosti o udjelu OIE u proizvodnji. Potrošnja primarne energije u usporedbi s ukupnom proizvodnjom daje pokazatelj o **udjelu obnovljivih izvora energije** u proizvodnji. Što je ta vrijednost manja, to je sustav ekološki prihvatljiviji. Da bi se dobila potpuna slika o sustavu, potrebno je razmotriti i njegovu veličinu. Korištenjem omjera primarne i ukupne energije se mogu uspoređivati sustavi različitih veličina. Također, kao i odnos primarne i ukupne energije, emisije stakleničkih plinova isto daju predodžbu o ekološkoj prihvatljivosti sustava. S obzirom na korištena različita

goriva i njima povezane emisije različitih stakleničkih plinova, potrebno ih je na neki način svesti u oblik u kojem se mogu uspoređivati. To se provodi korištenjem veličine ekvivalenta CO₂ svih sudionika te međusobnim zbrajanjem. Nadalje, podrijetlo korištenih goriva daje predodžbu o ovisnosti ili neovisnosti o uvozu iz drugih država.

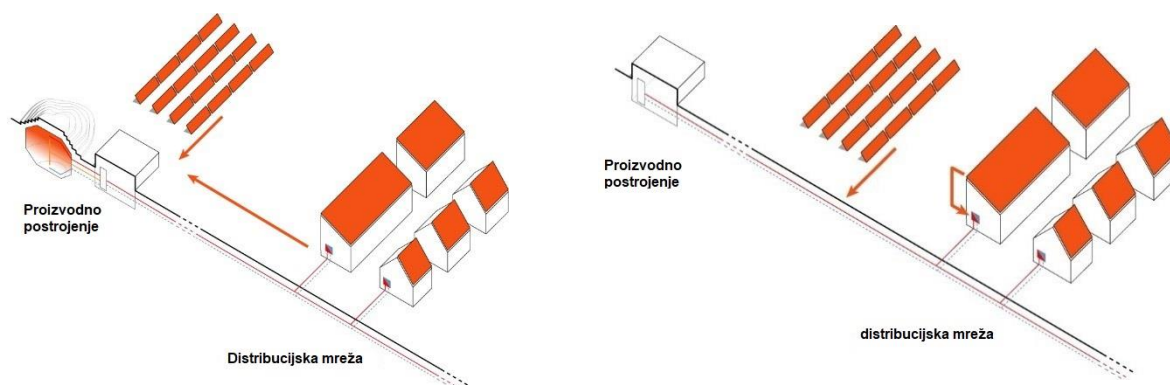
5.3.2 Integracija solarnih toplinskih sustava

Solarni se toplinski kolektori u velikoj mjeri koriste za pripremu potrošne tople vode i sudjelovanje u sustavima grijanja u kućanstvima, npr. u Njemačkoj. Ova je tehnologija dobro razvijena te ju je moguće koristiti čak i u hladnijim predjelima. Na području Europe je do sada izvršena implementacija sustava solarnih kolektora u više od 200 CTS-a s najmanjom instaliranom snagom sustava od 700 kW. Kratak pregled tehničkih karakteristika ovih sustava daje Rutz (2017.).

Solarni CTS-i (*engl. Solar district heating – SDH*) se sastoje od velikih polja solarnih kolektora spojenih na CTS. Mogu se postaviti na tlo ili na krov. Današnji najveći sustavi mogu imati i do 100 MW_{th} instalirane snage. Udio solarne energije u CTS-u koji ih implementiraju se danas kreće oko 20% te ti sustavi omogućuju pokrivanje svih potreba za potrošnom toplom vodom tijekom ljetne sezone isključivo iz solarnih kolektora. Veći udjeli do 50% se mogu postići uz korištenje velikih spremnika topline kao što su spremnici koji se koriste za optimizaciju rada kogeneracijskih postrojenja ili za implementaciju „power to heat“ rješenja. Trenutno se mogu postići konkurentni iznosi cijene toplinske energije iz solarnih kolektora u iznosima ispod 50 €/MWh zahvaljujući padu cijena zbog masovne proizvodnje same opreme i optimizaciji rada sustava.

Postoje različiti koncepti integracije solarnih sustava u CTS:

- **Integracija solarnih sustava u CTS:** centralizirana ili decentralizirana integracija (Slika 32)
- **Vrsta i veličina CTS-a u koje se integriraju:** mali područni sustavi, naselja, veliki gradovi



Slika 32: Koncepti mogućnosti integracije solarnih sustava u CTS: kod centraliziranih sustava kolektori dostavljaju toplinsku energiju izravno u glavno distribucijsko postrojenje (lijevo), dok se kod decentraliziranih sustava nalaze na prikladnim lokacijama te dostavljaju toplinsku energiju u pojedine dijelove mreže (desno). (Izvor: Solites)

Solarni CTS koji opskrbljuje dio naselja

Primjena solarnih CTS-a je dobra opcija za slučaj grijanja energetski obnovljenih zgrada ili novih dijelova naselja. Uobičajeno se sunčeva energija može integrirati u CTS do 20%, a uz korištenje sezonskih spremnika topline i do 50 %. Kao primjer solarnih CTS-a može poslužiti sustav u stambenoj četvrti Vallda Heberg u Švedskoj iz 2013. godine. Taj sustav se bazira na

biomasi i sunčevoj energiji koja se sakuplja pomoću 680 m² solarnih kolektora postavljenih na krovove.



Slika 33: Solarni CTS u stambenoj četvrti Vallda Heberg u Švedskoj (Izvor: Jan-Olof Dalenbäck)

Solarni CTS u ruralnim naseljima/područjima

Solarni se CTS može primijeniti i kod ruralnih područja gdje se njegovom primjenom omogućuje brz i sveobuhvatni prelazak na obnovljive izvore energije. Npr. u Büsingen-u u Njemačkoj, sustav površine kolektora 1.090 m² pokriva cjelokupne toplinske potrebe 100 zgrada tokom ljeta te time sprječava rad kotla na biomasi u lošoj radnoj točki niske snage. Ovaj sustav je u pogonu od 2013. godine.



Slika 34: Proizvodno postrojenje s solarnim kolektorima u naselju Büsingen u Njemačkoj (Izvor: lijevo: Solites; desno: D. Rutz)

Solarni CTS u urbanim sredinama i gradovima

Veliki se CTS-i energijom napajaju iz kogneracijskih postrojenja, kotlovnica ili industrijske otpadne topline. Jedan od načina povećanja udjela obnovljivih izvora u takvim sustavima je uvođenje solarnih sustava grijanja uz uvjet dostupnosti potrebne površine. Tako je npr. u Grazu

u Austriji instalirano više od 16.500 m² solarnih kolektora na više lokacija diljem grada putem kojih se dostavlja toplinska energija u CTS.



Slika 35: Polje solarnih kolektora spojenih na CTS, Graz, Austrija (Izvor: lijevo: SOLID; desno: D. Rutz)

Pametni CTS

Velika se solarna postrojenja mogu kombinirati s drugim tehnologijama za proizvodnju toplinske i električne energije. Danska ima nekoliko „pametnih“ proizvodnih postrojenja u svojim CTS-ima. Jedna od njih je instalirana u Gramu i opremljena sa 44.800 m² solarnih toplinskih kolektora, dizalicom topline, kogeneracijom na prirodni plin, kotlovima s električnim grijačima te pomoćnim kotlovima na fosilna goriva. Postrojenje također sadrži i spremnik toplinske energije u obliku jame volumena 122.000 m³ što omogućuje fleksibilnost u korištenju navedenih tehnologija kako bi se izbjegle nepovoljne cijene električne energije.



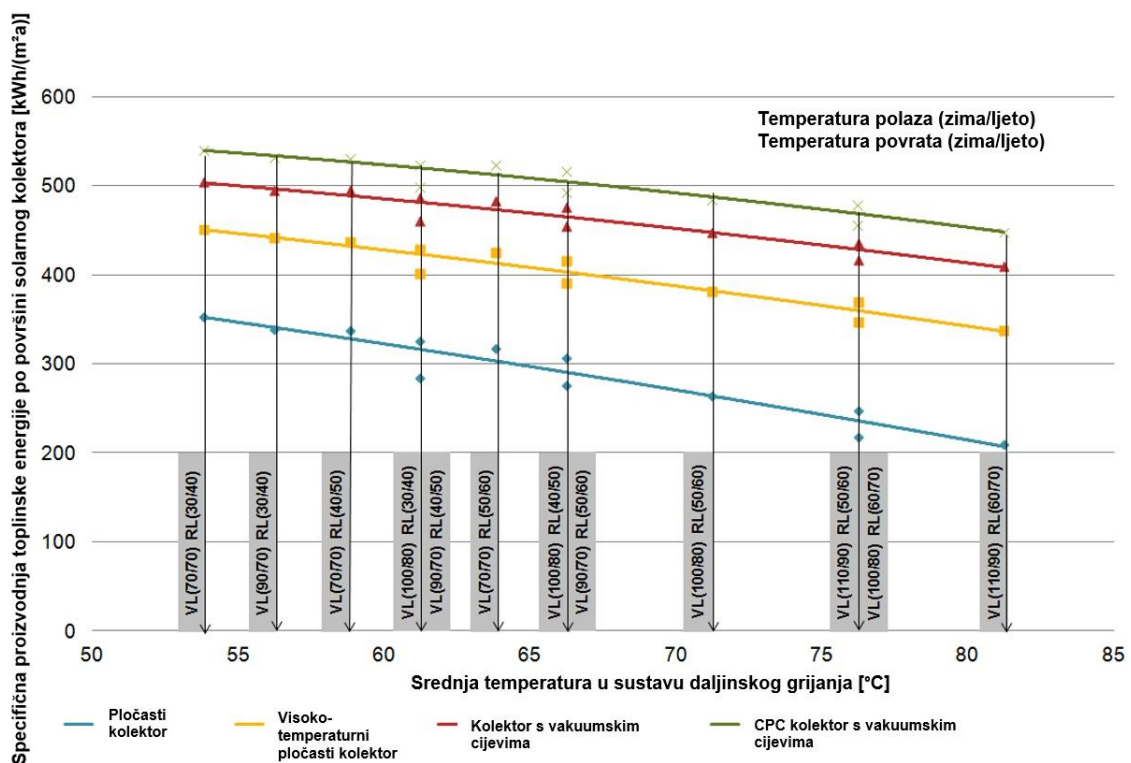
Slika 36: Polje solarnih toplinskih kolektora i sezonski toplinski spremnik u obliku jame, Gram, Danska (Izvor: lijevo: Gram Fjernwärme, desno: D. Rutz)

Općenito gledano, korištenje solarnih toplinskih kolektora je moguće gotovo svugdje. Kretanjem prema južnim dijelovima Europe, raste ozračenje te time i proizvedena toplinska energija. Glavni problem solarnih toplinskih sustava je **dostupnost zemljišta**. Kao pravilo se može uzeti godišnja proizvodnja po jednom hektaru površine od 2 GWh. Na taj se način putem solarnih toplinskih kolektora po jedinici površine može generirati najviše toplinske energije od svih obnovljivih izvora energije, npr. u usporedbi s usjevima korištenim u energetske svrhe. Ipak, često postoje problemi s pronalaženjem dovoljno velikih površina, kao kod urbanih područja gdje postoji velika konkurencija kad je u pitanju dodjela zemljišta. Sljedeće korake je potrebno slijediti kako bi se premostila ta prepreka u realizaciji velikih solarnih CTS-a:

- Analiza mogućih zemljišta s obzirom na političke i pravne aspekte
- Uključivanje svih dionika, uključujući političare i građane
- Razmatranje sveukupnog ekološkog utjecaja na područje kod prenamjene u kolektorsko polje

Dodatan izazov solarnih sustava je **sezonalnost i promjenjiva** proizvodnja toplinske energije u ovisnosti o vremenskim prilikama. Tokom ljeta je zbog visokog ozračenja moguće sakupiti više topline, dok je tokom zime uslijed najvećih potreba za toplinskom energijom ozračenje niže. Nadalje, potrebno je izbalansirati i dnevne varijacije u ozračenju. Taj se izazov rješava integracijom raznih spremišta toplinske energije kao što je objašnjeno u poglavlju **Error! Reference source not found.**

Kod implementacije solarnog CTS-a je važno razmotriti **temperaturni režim** sustava u koji se integrira. Kao pravilo se može smatrati da se sniženjem temperaturnog režima povećava učinkovitost solarnog sustava i njegove integracije u CTS. Slika 37. prikazuje ovisnost proizvodnje o vrsti kolektora i temperaturnom režimu sustava svedenu na površinu kolektora za vremenske uvijete u Njemačkoj.

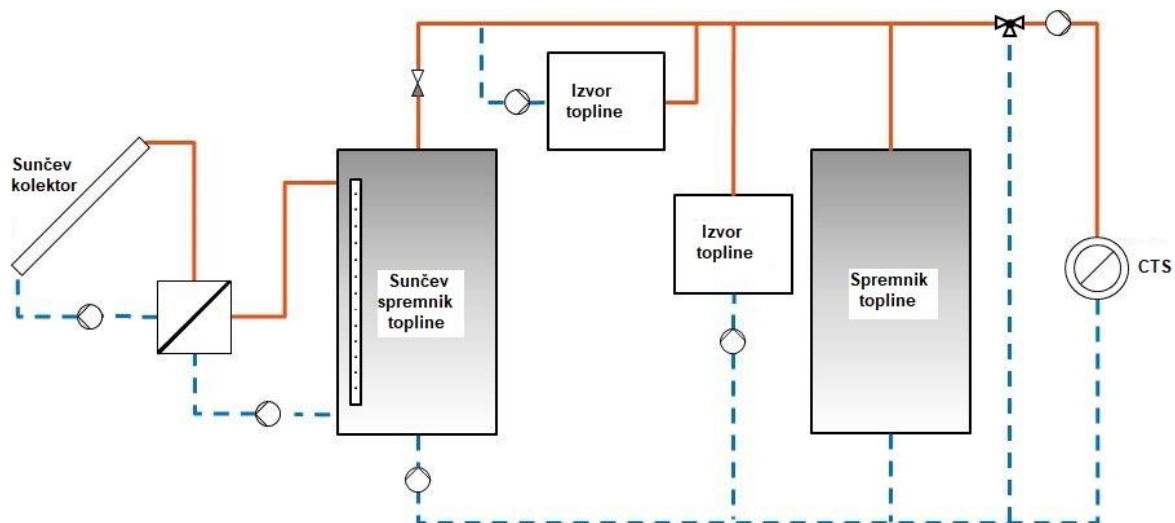


Slika 37: Specifična proizvodnja energije svedena na površinu kolektora u ovisnosti o temperaturnom režimu sustava i vrsti korištenih kolektora (Za slučaj vremenskih prilika južne Njemačke) (Izvor: Solites)

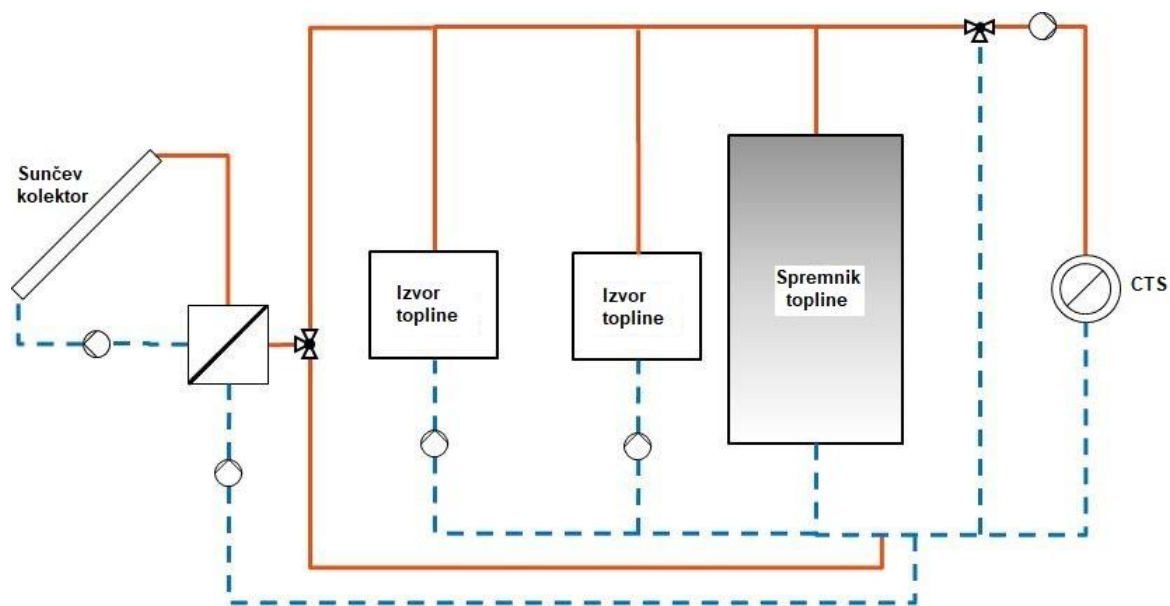
Integracija solarnih sustava zahtjeva pomno planiranje cijelog sustava zbog cilja dostizanja niskih temperatura povrata da bi se kolektori maksimalno iskoristili. Većina ovakvih postrojenja se spaja u sustav na **centralnoj lokaciji**. U slučaju ovog načina spajanja, postoje različite verzije samog spoja. Može se spojiti u seriju ili paralelu kao što prikazuju Slika 38 i Slika 39.

Decentralizirana integracija solarnih sustava se može provesti za slučaj korištenja više manjih distribuiranih kolektorskih polja. U tom slučaju je moguće koristiti princip direktnog napajanja CTS-a bez toplinskog spremnika. Za primjenu u takvim situacijama su razvijene

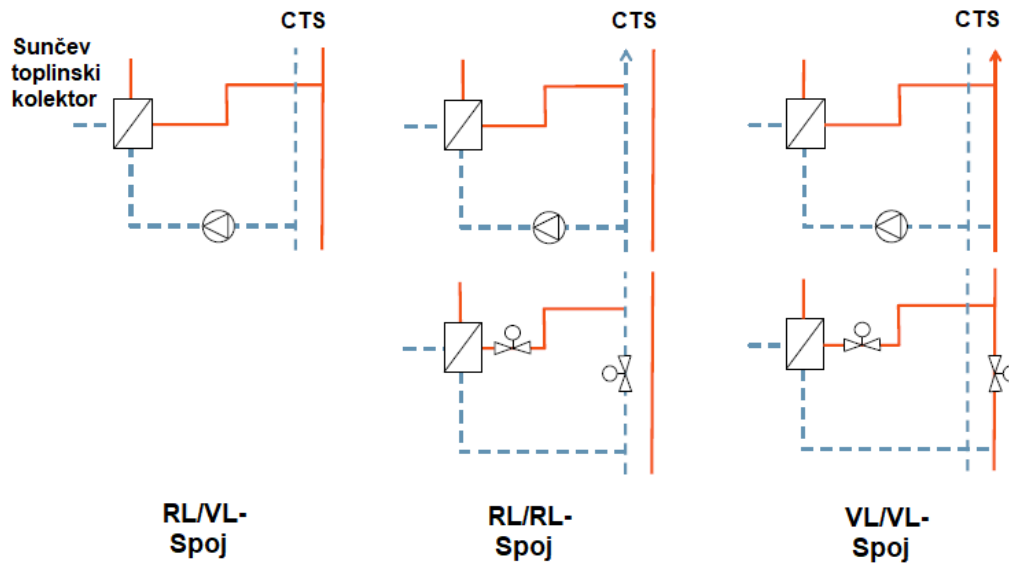
posebne toplinske podstanice koje omogućuju dostavu toplinske energije pri konstantnoj temperaturi čak i za slučaj velikih varijacija u solarnom ozračenju



Slika 38: Serijski spoj sunčevih toplinskih kolektora u CTS-u sa dodatnim izvorom topline izvan spremnika topline (Izvor: SOLITES)



Slika 39: Paralelni spoj sunčevih toplinskih kolektora u CTS-u (Izvor: SOLITES)



Slika 40: Tri koncepta decentraliziranog spoja sustava sunčevih kolektora na CTS s pumpom (gornji red) ili sa podesivim ventilima (donji red) (izvor: SOLITES)

5.3.3 Integracija biomase

Biomasa je **organska tvar** koju stvaraju živi (biljni materijal, ljudi i životinje i njihove izlučevine) ili do nedavno živi organizmi. Također uključuje i sekundarne proizvode korištenja biomase, kao što su biološki otpad, papir, drveni proizvodi, itd. Primarna organska tvar nastaje fotosintezom kod biljaka koje uzimaju CO₂ iz atmosfere, vodu iz tla i zraka, te energiju iz sunčeve svjetlosti i stvaraju spojeve na bazi ugljika. Ti spojevi ugljika sadrže pohranjenu energiju sunca, koja se može ponovno osloboditi izgaranjem. Više informacija o uporabi biomase u malim modularnim i obnovljivim CTS-ima se može pronaći u CoolHeating priručniku „Mali modularni obnovljivi centralizirani toplinski i rashladni sustavi“ (Rutz et al. 2017).

Biomasa je trenutno daleko **najveći obnovljivi izvor energije** u EU. U 2012. su biomasa i otpad činili oko dvije trećine ukupne potrošnje obnovljive energije u EU. Kako bi bila učinkovita u smanjenju emisija stakleničkih plinova, biomasa mora biti proizvedena na održiv način. Proizvodnja biomase uključuje skup aktivnosti od uzgoja same biomase do konačne pretvorbe energije. Svaki korak na tom putu može predstavljati različite izazove u smislu održivosti na koje je potrebno obratiti pažnju. (EC, 2019).

Europska Komisija je usvojila ne-obvezujuće preporuke za **kriterije održivosti** biomase (EC, 2019). Ti se kriteriji odnose na postrojenja od najmanje 1 MW instalirane električne ili toplinske snage.

- 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

Korištenje biomase u CTS-ima je vrlo zanimljivo jer pruža mnoge različite mogućnosti integracije u sustav. Odabir same tehnologije ovisi o vrsti i stanju sustava te o željenim ciljevima.

Biomasa može **potjecati** iz mnogih različitih izvora sirovine, tehnologija pridobivanja i kao nusproizvod raznih procesa. To omogućuje integraciju biomase u mnoge CTS-e što također ovisi i o potrebama samog sustava. Kod većih se CTS-a može koristiti sljedeća biomasa: glomazni otpad drvnog podrijetla (namještaj, konstrukcijski elementi, obojeno drvo, itd.); piljevina, drvena sječka (drvni otpad, energetsko drvo), drvena sječka iz brzo rastućih nasada (SRC)², industrijski peleti (drvni peleti, mješoviti peleti iz biomase), toreficirana biomasa, biometan (iz anaerobne digestije biološkog otpada) i ulje nastalo pirolizom. Ključni izazov kod korištenja biomase, osobito kod većih postrojenja, je logistika. Stoga su novi pristupi, kao što je upotreba posrednih bioenergetskih sudionika (toreficirana biomasa, biometan, peleti, biometan) od velikog interesa, jer smanjuju logističke probleme.



Slika 41: Tipičan oblik goriva iz biomase koja se koriste u CTS-u: drvena sječka (gore lijevo), peleti (gore desno i dolje lijevo), ulje iz pirolize (dolje desno) (Izvor: D. Rutz)

Iako je biomasa obnovljiv izvor energije, u budućim bi se CTS-ima trebalo fokusirati i na druge obnovljive izvore energije te tako **smanjiti potrebu za biomasom**. Ovo je važno jer se povećanjem korištenja biomase, ona počinje u smislu korištenja zemljišta natjecati s biomasom korištenom u prehrambenoj industriji ili u neke druge svrhe.

Postoje dva pristupa nadogradnje CTS-a uz korištenje biomase. Prvi je instalacija novih kotlova i kogeneracijskih postrojenja na biomasu, a drugi zamjena postrojenja na fosilna goriva s postrojenjima na biomasu.

U prvom pristupu, za **slučaj ugradnje novih kotlova na biomasu ili kogeneracijskih postrojenja**, se omogućuje maksimalna fleksibilnost u odabiru odgovarajućih tehnologija jer se radi o potpuno novom sustavu. Nove se instalacije ukoliko je to moguće smještaju u

² Za više detalja vidi Rutz (2015.) „Sustainable Short Rotation Coppice - A Handbook“ https://www.srcplus.eu/images/Handbook_SRCplus.pdf

neposrednoj blizini potrošača topline kako bi se smanjila potrebna količina cijevi. Kod nekih slučajeva je bolje instalirati nekoliko proizvodnih postrojenja na različitim mjestima. U većini slučajeva će se odabrana tehnologija sastojati od jednog ili više manjih kotlova na drvenu sječku ili kogeneracijskih postrojenja (plinifikacija drvene sječke ili parni ciklus ili organski Rankineov ciklus (ORC)). S ekološkog gledišta, potpuno nova instalacija je najčešće najbolje rješenje. Međutim, potrebno je pronaći nove lokacije za izgradnju proizvodnih postrojenja što može biti izazov u projektima bioenergije. Nadalje, troškovi investicije mogu biti veći nego za slučaj zamjene kotlova ili postrojenja na fosilna goriva sa postrojenjima na biomasu.

Kod drugog se pristupa zadržava status centraliziranog postrojenja te se biomasa može uvesti kao **potpuna zamjena** prijašnjeg goriva ili se može **susagorijevati** zajedno s originalnim gorivom. Krajnji je cilj potpuna zamjena fosilnog goriva biomasom ili nekim drugim obnovljivim izvorom energije, ali neka poduzeća često znaju pribjeći rješenju susagorijevanja kao prijelaznom rješenju.

Susagorijevanje je proces sagorijevanja prvobitnog goriva sa biomasom u istom vremenu i mjestu (ali ne nužno u istom postrojenju). Susagorijevanje se može provesti direktno (ista komora izgaranja), neizravno (nakon predobrade goriva), ili u paralelnom principu (razdvojeno sagorijevanje)

Izravno susagorijevanje biomase je relativno jednostavno i ekonomski opravdano, ali je osjetljivije na varijacije u kvaliteti goriva i neujednačenosti svojstava. Do smanjenja udjela biomase u susagorijevanju može doći uslijed tehničkih problema kao što su: povećano taloženje pepela i mineralnih ostataka te korozija. To može skratiti vijek trajanja dijelova postrojenja u izravnom kontaktu s plinovima izgaranja kao što su pregrijači, izmjenjivači topline, dijelovi uređaja za selektivnu katalitičku redukciju (SCR), itd. Sljedeća se tehnička rješenja primjenjuju u sustavima koji koriste izravno susagorijevanje:

- *Zajedničko mljevenje*: miješanje ugljena i biomase u procesu mljevenja. Zajedničko ubacivanje u sustav dovoda goriva i komoru izgaranja
- *Miješanje u dovodu goriva*: odvojeno mljevenje ugljena i biomase te miješanje u sustavu dovoda goriva
- *Kombinirani plamenik*: biomasa i ugljen se melju odvojeno i transportiraju do plamenika, gdje ugljen koristi izvorne ulaze, a biomasa nove ili prije ne korištene kanale. Iako u se ovom slučaju ne provodi fizičko miješanje goriva, faze izgaranja oba goriva se odvijaju istodobno i sa sličnim aerodinamičkim uvjetima kao i kod izvornog načina sagorijevanja.
- *Novi plamenici*: koriste se dva odvojena sustava dostave goriva. Ugljen se dostavlja putem originalnog sustava dostave goriva, dok se biomasa dostavlja posebnim plamenicima koji se koriste samo u sagorijevanju biomase. To mogu biti novi plamenici instalirani na novim lokacijama u komori izgaranja ili mogu zamijeniti neke od plamenika za ugljen. Kod ove se metode mogu koristiti različiti načini paljenja goriva.

Osnovni sustavi **neizravnog susagorijevanja** su:

- *Odvojeno sagorijevanje*: sagorijevanje biomase u odvojenom kotlu ili sustavu te ubacivanje tih plinova u glavni sustav poslije konvektivnog djela komore izgaranja.
- *Spojeni sustav*: sagorijevanje biomase u potpuno odvojenom kotlu te korištenje dimnih plinova izgaranja kod zagrijavanja radnog medija u određenim dijelovima postrojenja na način da se u jednom djelu postrojenja radni medij zagrijava od strane dimnih plinova originalnog goriva, dok se u drugom zagrijava dimnim plinovima od sagorijevanja biomase. Dimni se plinovi ne miješaju te se odvojeno tretiraju prije ispuštanja u atmosferu.
- *Sustavi rasplinjavanja*: transformacija biomase u plin postupkom rasplinjavanja. Dobiveni se sintetski plin može prvo tretirati te zatim ubaciti u originalnu komoru izgaranja putem novog sustava ubacivanja plina.

- *Piroliza*: transformacija biomase u mješavinu plinova, ulja te čađe. Različite se frakcije razdvajaju te ubacuju u kotao na različitim mjestima.

Kod kogeneracijskih se postrojenja često koriste različiti kotlovi i kogeneracijski blokovi. Na taj se način omogućuje fleksibilizacija postrojenja te se smanjuju rizici (kod održavanja ili kvarova). U tom se slučaju biomasa može koristiti u **paralelnom susagorijevanju** u raznim blokovima.

Zaključno, prednosti izravnog susagorijevanja su niski investicijski troškovi, ali se može postići tek mali udio biomase u proizvodnji energije (manje od 20%), dok se kod neizravnih sustava susagorijevanja mogu postići znatno viši udjeli biomase (do 50%), ali uz više investicijske troškove. Paralelni način susagorijevanja je najfleksibilniji način rada postrojenja.

Industrija ugljena ima upravo zbog relativno niskih kapitalnih investicija, neovisnosti tehnologije o snazi te različitim korištenim tehničkim rješenjima već visoku razinu iskustva u susagorijevanju biomase s ugljenom. Trenutno postoji 150 postrojenja s inicijativom u smislu susagorijevanja biomase prema IEA Bioenergy Task. Dobar je primjer jedna od najvećih elektrana u Europi - elektrana Drax. Drax većim djelom kao gorivo koristi biomasu. Međutim, u budućnosti se očekuje da će biti provedena potpunija rekonstrukcije postojećih elektrana (potpuna konverzija).



Slika 42: Kogeneracijsko postrojenje u kojem se instalacijom kotla na biomasu snage 5 MW_{th} zamijenio jedan kogeneracijski blok na prirodni plin. Preostala dva kogeneracijska bloka imaju toplinske snage od 3.5 MW_{th} i 6 MW_{th}, Salcininkai, Litva (Izvor: D. Rutz)



Slika 43: Kogeneracijsko postrojenja poduzeća Ena Energie koje koristi otpadnu drvnu sječku i brzo rastuću biomasu (SRC), Enköping (Izvor: D. Rutz)



Slika 44: Kogeneracijsko postrojenje pogonjeno drvnom sječkom i pripadajuća parna turbina (kapacitet: 80.000 tona drvene sječke godišnje; 7.8 MWel; 15 MWth), Stadtwerke Augsburg Energie GmbH u Njemačkoj (Izvor: D. Rutz)

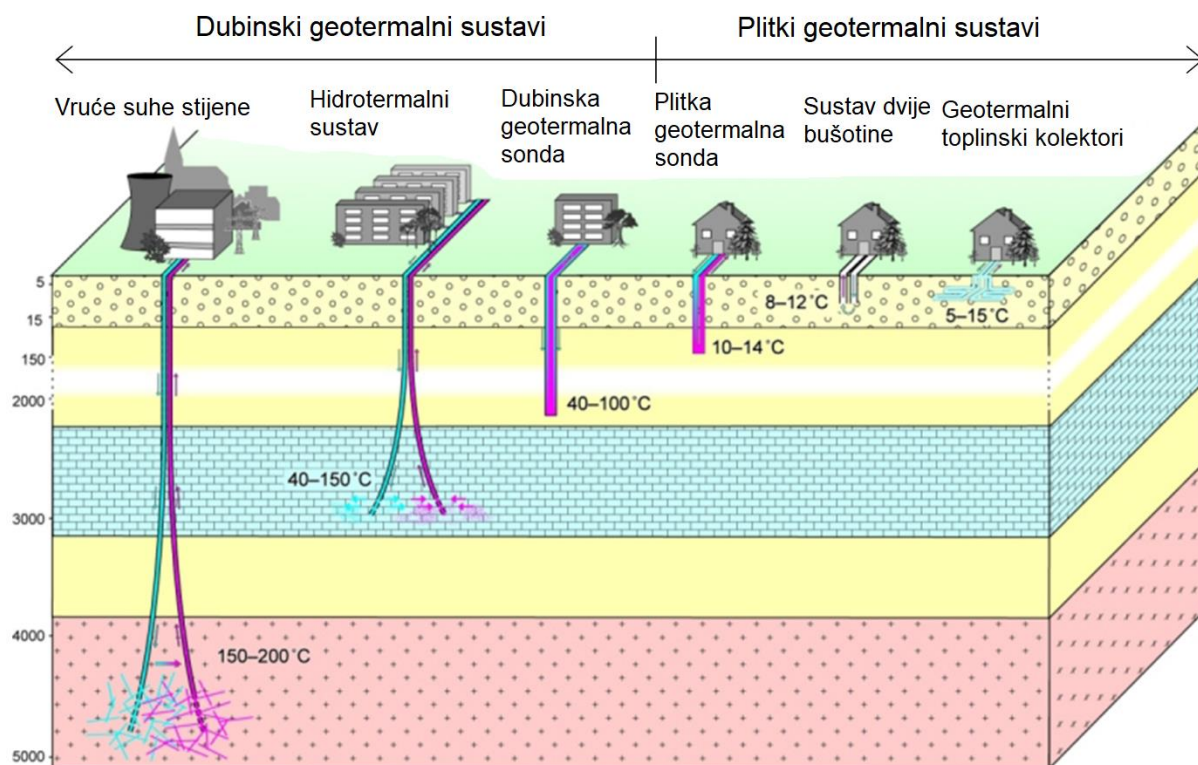
5.3.4 Integracija geotermalne energije

Geotermalna energija je energija pohranjena u obliku topline ispod površine zemlje. Ovisno o dubini, geotermalna se energija može podijeliti na dvije vrste: iz plitkih i iz dubokih izvora. Najčešće korišteni sustavi plitke i duboke geotermalne energije su prikazani na Slika 45.

Geotermalna energija iz plitkih izvora je geotermalna energija do dubine od približno 400 m. Kod ove se vrste geotermalne energije najčešće primjenjuje upotreba bušotina, ukopanih kolektora te geotermalnih sonda. Geotermalna se energija iz ove vrste izvora može koristiti u svrhu grijanja i hlađenja u nisko-temperaturnom CTS-u ili CRS-u te u sustavima s dizalicama topline.

Geotermalna energija iz dubinskih izvora se odnosi na toplinsko iskorištavanje geotermalnih izvora topline na više od 400 m ispod površine. Energija iz ovakvih se izvora može koristiti u otvorenim sustavima (petrotermalni i hidrotermalni sustavi) kao i u zatvorenim sustavima (dubinske geotermalne sonde). Dubinske geotermalne sonde nude prednost neovisnosti o lokaciji, tj. smanjuje se rizik u istraživanju, ali su uobičajeno ekonomski isplative tek ako bušotina već postoji. Bitna je prednost otvorenih sustava značajno veća mogućnost pribavljanja toplinske energije (od oko 1 do više od 50 MW_{th}) u usporedbi sa zatvorenim sustavima (maks. nekoliko stotina kW_{th}). Otvoreni geotermalni sustav je prikladan za CTS zbog mogućnosti zadovoljavanja visoke potražnje za energijom. Kod otvorenih se geotermalnih sustava toplinska energija dobiva putem vode iz podzemlja koja izlazi na površinu (hidrotermalni sustav), dok se kod umjetno stvorenih sustava voda pumpa kroz vruće suhe stijene (petrotermalni sustav). Termalna voda se u oba sustava pumpa na površinu putem proizvodne bušotine te se zatim odvodi do izmjenjivača topline gdje se dio njene toplinske energije odvodi. Nakon hlađenja u izmjenjivaču topline se termalna voda utiskuje opet u podzemlje putem utisne bušotine. Najčešće se te bušotine na površini izrađuju u relativnoj blizini, ali se povećanjem dubine razilaze. Bušotine dosežu dubinu od 2.000 do 4.000 m, a ovisno o geotermalnom sustavu, (geološki, hidrološki i operativni aspekti) može se koristiti kombinacija nekoliko proizvodnih i utisnih bušotina.

Geotermalna se energija osim u svrhe grijanja u CTS-u, može koristiti i u svrhu **proizvodnje električne energije**. Geotermalna postrojenja zahtijevaju minimalnu temperaturu termalne vode od 100°C i dovoljno velike protoke iste vode. Uobičajeno se kod geotermalnih postrojenja za proizvodnju električne energije iz ovakvih nisko-temperaturnih izvora postižu učinkovitosti od tek 10%.



Slika 45: Različiti načini korištenja geotermalne energije (prema: Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2016)

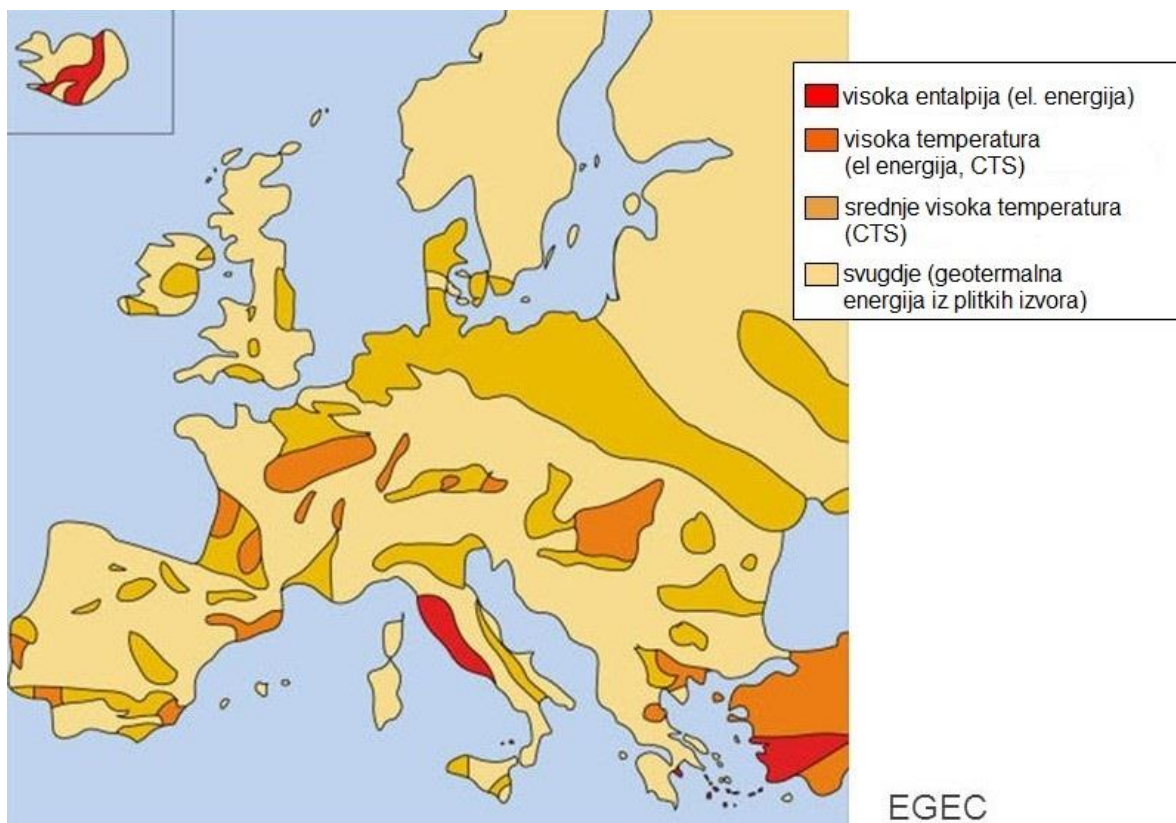
Geotermalni potencijal uvelike ovisi o lokalnoj geologiji i hidrogeologiji. Slika 46. prikazuje područja Europe s visokim geotermalnim potencijalima. Izvori visoke entalpije se povezuju s vulkanski aktivnim područjima kao što su Island, Turska i Italija. Izvori srednje entalpije koji su okarakterizirani podzemnim vodama visoke temperature u sedimentarnim stijenkama se nalaze u raznim geološkim područjima kao što je kotlina Molasse na sjevernom podnožju Alpa. Geotermalni CTS-i se većinom koriste na područjima s povoljnim geotermalnim uvjetima i izvorima visokih temperatura.

Interaktivna GeoDH³ karta daje pregled i procjenu geotermalnih resursa na područjima gdje postoji potencijal za geotermalni CTS. GeoDH karta na temelju geoloških podataka i postojećih CTS-a, te potražnje za toplinskom energijom, pokazuje potencijal u 14 europskih zemalja (Italija, Francuska, Njemačka, Nizozemska, Irska, Velika Britanija, Slovačka, Slovenija, Češka, Rumunjska, Bugarska, Poljska, Danska i Mađarska) (GeoDH, 2014.).

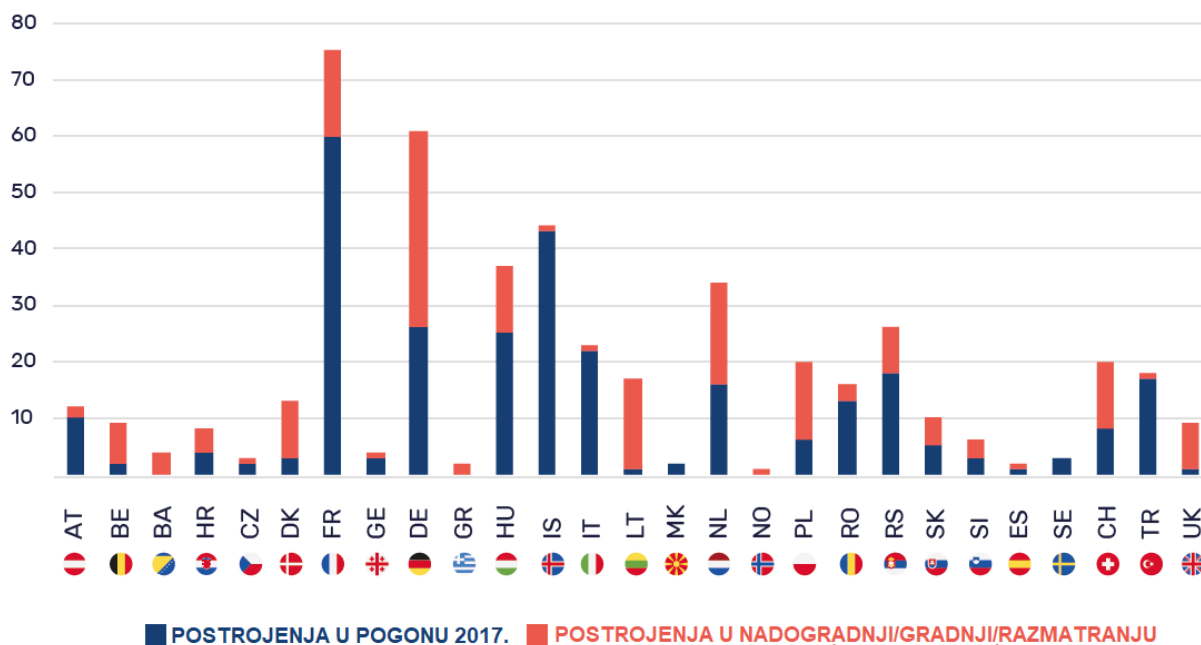
Primjena geotermalne energije iz dubinskih izvora zahtjeva preklapanje visoke potrebe za toplinskom energijom i visokog geotermalnog potencijala na promatranj lokaciji.

2017. je instalirana snaga geotermalnih CTS-a iznosila 4.9 MW_{th} te 11,7 GWh_{th} u ukupnoj proizvodnji diljem Europe. Prosječan je godišnji rast oko 10%, a ukupan broj postrojenja u radu je krajem 2017. iznosio 294 (Slika 47).

³ https://map.mbfisz.gov.hu/geo_DH/



Slika 46: Pojednostavljeni prikaz geotermalnih potencijala u Europi (Izvor: EGECE, 2014)



Slika 47: Broj geotermalnih CTS-a u funkciji i u raznim fazama nadogradnje, razvoja ili planiranja u Europskim državama (Izvor: EGECE, 2018)

Temperaturni raspon dubinskih geotermalnih izvora može značajno varirati. Izvori visoke entalpije mogu doseći temperature iznad 180°C (Arnórsson, 1995). Stoga ih je moguće koristiti i u opskrbi toplinskom energijom čak i CTS-a druge generacije ili barem u svrhu djelomičnog zagrijavanja radnog medija u sustavu (Sandrock et al., 2019).

Za slučaj nedovoljno visoke temperature termalne vode, mogu se koristiti dizalice topline za podizanje temperature do željenog iznosa.

Geotermalna energija iz dubinskih izvora je u mogućnosti preuzeti ulogu pokrivanja baznog opterećenja u CTS-u bez proizvodnje emisija. Kod uključivanja geotermalne energije u CTS, potrebno je obratiti pažnju na određene **specifične zahtjeve**.

Najveći investicijski trošak dubinskih geotermalnih sustava je uz uvjet korištenja već izgrađene distribucijske mreže CTS-a, izrada samih bušotina. Kod izrade bušotina postoje rizici kao što su nedostatni maseni protoci termalne vode ili nedostatno visoke temperature. Stoga je prije izrade bušotina preporučljivo sklopiti ugovor o osiguranju kod istraživačkih radova.

Najčešći su tehnički problemi u iskorištavanju geotermalne energije povezani s kemijskim svojstvima geotermalnih tekućina koje ponekad sadrže znatne koncentracije minerala i plinova koje mogu uzrokovati taloženje i koroziju u bušotinama i površinskim instalacijama kroz koje prolaze te tekućine (Gunnlaugsson, 2014). Kako bi se spriječili takvi problemi, moraju se poduzeti odgovarajuće mjere poput odabira odgovarajućih materijala i komponenti. Vrlo važna komponenta je električna potopiva pumpa u proizvodnim bušotinama.

5.3.5 Integracija otpadne topline

Prema rezultatima EU projekta STRATEGO⁴, 2010. je od strane 1.222 promatranih postrojenja (ne uključujući termoelektrane) u Europi u okoliš ispušteno 2.943 PJ otpadne topline (Persson 2015). Teoretski bi ovaj iznos otpadne topline mogao pokriti više od 30 % utrošene energije u svrhu grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode u stambenom sektoru što odgovara 9.349 PJ u 2016 (EC, 2018d).

Otpadna se toplina može karakterizirati prema temperaturi, količini energije, vrsti industrije i procesa iz kojeg potječe, te načinu mogućeg korištenja. U ovom se priručniku detaljnije razmatra otpadna nisko-temperaturna toplina iz industrije te se u tu svrhu razmatraju dva primjera.

Općenito se otpadna toplina može koristiti na različite načine ovisno o tome dali se može koristiti u nekim drugim procesima u istom postrojenju, ili izvan postrojenja. Vanjska uporaba otpadne topline može biti izvan lokacije nastajanja, ali ipak u blizini, ili na drugoj lokaciji kao što je slučaj kod korištenja u CTS-u što se kasnije detaljnije razmatra.

Na potencijalnu upotrebu otpadne topline utječe niz faktora koje je potrebno razmotriti (Hirzel, 2013):

- **Količina energije:** Količina energije ovisi o toplinskom kapacitetu medija koji se može koristiti i o protoku, kao i o temperaturnoj razlici između temperature izvora topline i minimalne potrebne temperature u CTS-u.
- **Temperaturna razina:** Otpadnu je toplinu lakše koristiti u drugim procesima, što je viša temperatura samog izvora topline. Uz veću razliku temperature između izvora i ponora topline se dimenzije izmjenjivača topline mogu smanjiti.
- **Sastav i vrsta:** (agregatno stanje i kemijska svojstva): sastav i vrsta medija izvora topline se mora 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. U slučaju prirodnog plina, ova minimalna temperatura je definirana kao 120 °C. Osim toga, neke tekućine

⁴ <http://stratego-project.eu/>

mogu ugroziti taloženje što smanjuje protok, ali i učinkovitost izmjenjivača topline i drugih komponenti.

- **Vrsta:** otpadna se topline može bazirati na zračenju ili konvekciji što je zahtjevnije za iskoristiti od topline sadržane primjerice u tekućini.
- **Istovremenost:** U idealnom bi se slučaju otpadna topline pojavila u istom trenutku kao i potreba za toplinom. Kod pojave u različitim trenucima se mogu koristiti toplinski spremnici u svrhu balansiranja proizvodnje i potražnje.
- **Trajanje:** Ovisno o svrsi za koju se koristi otpadna topline, 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 su troškovi u infrastrukturu i toplinski gubitci niži za slučaj male udaljenosti između lokacije izvora i potrošača.

Slika 48 prikazuje različite načine korištenja otpadne topline te pripadajuće tehnologije.



Slika 48: Upotreba otpadne topline i pripadajuće tehnologije (Prema (Hirzel et. al., 2013))

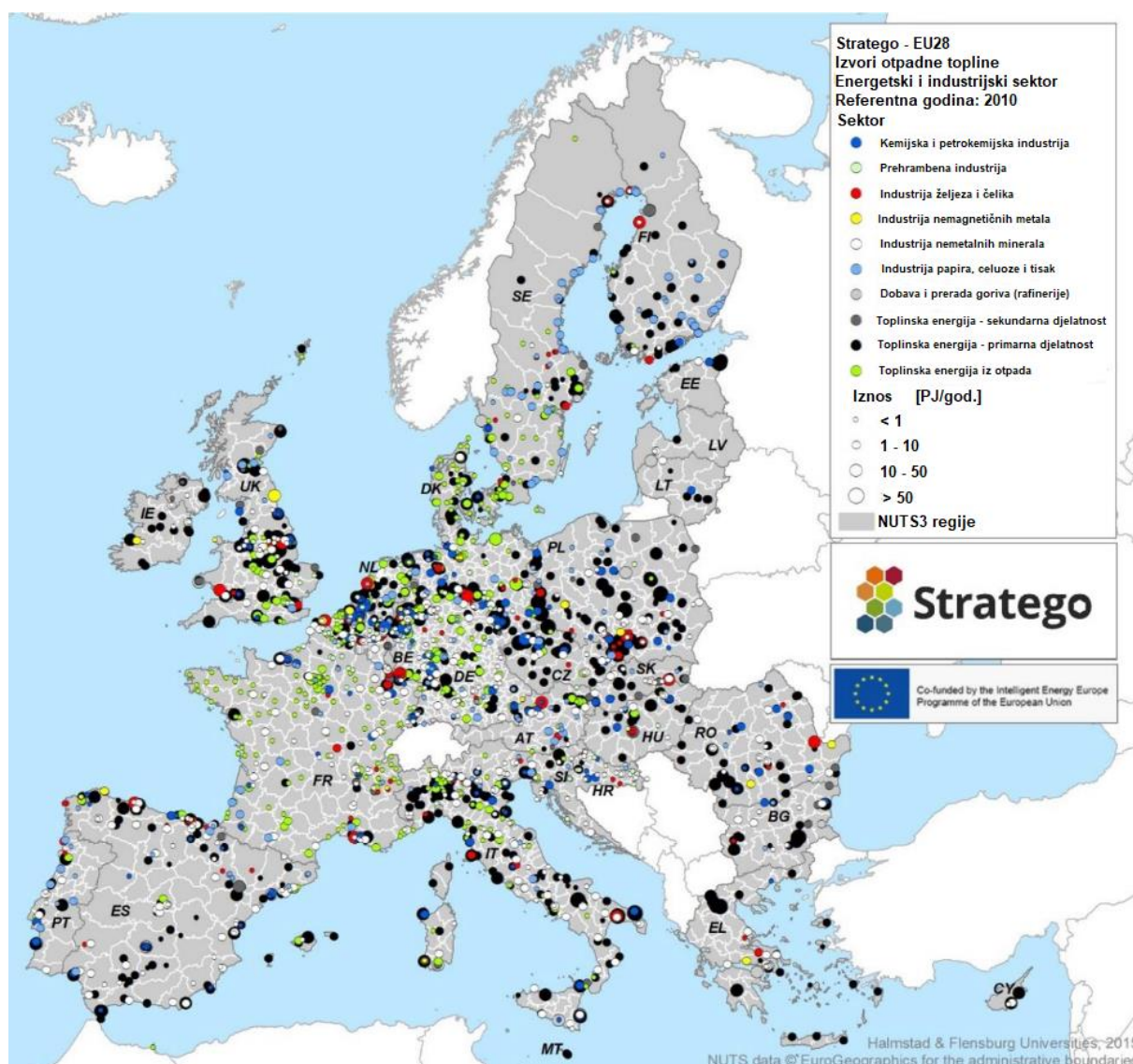
Industrijska otpadna topline

Industrijska otpadna topline može imati razna svojstva kao što je u gornjem odlomku nabrojano. Prednost ovog oblika otpadne topline je što se često pojavljuje u velikim količinama te ponekad pri visokim temperaturama.

STRATEGO projekt je u svrhu procjene dostupne otpadne topline u Europi, razradio dostupnost otpadne topline prvenstveno u sektoru industrije. Analizirala se kemijska industrija, petrokemija, industrija prehrane i pića, prerade i dostave goriva, proizvodnje željeza i čelika, ne-magnetičnih materijala, minerala, papira i tiskarska industrija.

Od nabrojanih kategorija, na obradu i dostavu goriva otpada 1.059 PJ (36%) otpadne topline. Većina izvora otpadne topline se nalazi u blizini većih gradova te time i područjima s visokom potražnjom za toplinskom energijom (Persson, (2014)).

Slika 49 prikazuje razmatrana postrojenja u Europi u sklopu STRATEGO projekta. Osim samog pregleda postrojenja, može se uočiti da neke industrijske grane ne postoje u određenim državama.



Slika 49: Mapiranje različitih izvora otpadne topline iz industrije u EU28 u sklopu STRATEGO projekta (Izvor: STRATEGO projekt)

Kao što prikazuje karta izrađena u sklopu STRATEGO projekta, mnoga postrojenja u **industriji željeza i čelika** mogu poboljšati svoju energetska učinkovitost na račun smanjenja otpadne topline. Analizu integracije otpadne topline iz dviju čeličana u CTS u Kini daje Li (2016).

U navedenom se slučaju analiziralo tri izvora otpadne topline:

- 1) Zagrijana voda uklanjanjem troske iz visokih peći (<100°C)
- 2) Rashladna voda visokih peći (35-45°C)
- 3) Para niskog tlaka u zasićenom području (143°C)

Odabran je kaskadni sustav pripreme vode za CTS i tražene temperature. U prvom se stupnju koristi toplina dobivena od vode kojom se uklanja troska iz visoke peći i od niskotlačne vodene pare. U toj fazi grijanja, voda dostiže temperaturu od oko 67 °C. U drugom se stupnju koristi apsorpcijska dizalica topline koja koristi rashladnu vodu visoke peći te povisuje temperaturu vode u CTS-u na 75 °C. Također se koriste i apsorpcijske dizalice topline u toplinskim podstanicama koje snižavaju temperaturu povratnog voda na 30 °C.

Kod ovog je slučaja problem u varijabilnom opterećenju CTS-a, pa čak i prestanku rada tokom ljetnih mjeseci. Bez obzira na to, po završetku projekta bi te dvije čeličane mogle obližnjem naselju godišnje isporučivati 2,35 PJ toplinske energije.

Nisko-temperaturna otpadna toplina

Integracija otpadne topline u CTS predstavlja veliki potencijal u gradovima. Na mnogim su mjestima dostupni nisko-temperaturni izvori između 20 i 40 °C, kao što će biti pokazano preko dva primjera u ovom poglavlju.

Za razliku od otpadne topline iz velikih postrojenja, europski projekt ReUseHeat⁵ je analizirao četiri različita slučaja korištenja otpadne niskotemperaturne topline u CTS-u. Ti se sustavi nazivaju sustavima niske eksergije (engl: *Low-Ex*), u kojima su dizalice topline jedini izvor topline.

U **podatkovnim se centrima** utrošena električna energija oslobađa kao toplina u prostorijama u kojima se nalaze podatkovni centri. Kod primjene hlađenja zrakom, zagrijani se zrak može provoditi kroz izmjenjivač topline kako bi se koristio kao izvor topline u isparivaču dizalice topline. Tad se predana toplinska energija na strani kondenzatora može upotrijebiti za podizanje temperature vode u CTS-u s temperature povrata na temperaturu polaza. Također se može koristiti i međuspremnik topline kako bi se balansirala vršna opterećenja sustava ili u svrhu pokrivanja opterećenja za vrijeme izostanka opskrbe toplinskom energijom iz podatkovnog centra. U slučaju prestanka opskrbe iz podatkovnog centra može se koristiti i pričuvni sustav. U takvim sustavim dizalica topline obično zauzima ulogu pokrivanja baznog opterećenja

U skandinavskim je zemljama, a posebice u Švedskoj raširena upotreba velikih dizalica topline snage veće od 1 MW koje koriste **kanalizacijske vode** kao izvor topline za CTS. Većina velikih dizalica topline je instalirana 1980-ih u vrijeme viška proizvodnje električne energije. Od tada se instalirani kapacitet malo smanjio, ali su sada te dizalice topline u konkurentnom odnosu s kogeneracijskim postrojenjima na otpad i biomasu, te se suočavaju s problemom promjenjivih cijena električne energije i poreza.

Temperatura kanalizacijskih voda se na ulazu u dizalice topline kreće između 12 i 20 °C. Uobičajeno se u dizalicama topline koriste dvostupanjski kompresori pomoću kojih se ostvaruje tražena temperatura polaznog voda oko 86 °C, a u povratnom 47 °C (Averfalk, 2017).

Lygnerud (2017.) je analizirao rizike korištenja industrijske otpadne topline u CTS-u na temelju švedskog iskustva. Potrebno je u obzir uzeti sljedeće **čimbenike** da bi se procijenio potencijalni poslovni model integracije industrijske otpadne topline:

- Nesigurnost koliko će dugo izvor otpadne topline biti dostupan
- Promjene cijene korištenja izvora topline. Npr. uslijed promjene poreza.
- Udaljenost CTS-a
- Različita stajališta industrije i toplinarskog poduzeća o namjeni korištenja izvora otpadne topline
- Cilj neovisnosti opskrbe o industriji
- Varijabilna isporuka topline od strane industrije
- Nemogućnost sklapanja ugovora povoljnog za obje strane
- Potrebni su rezervni izvori topline

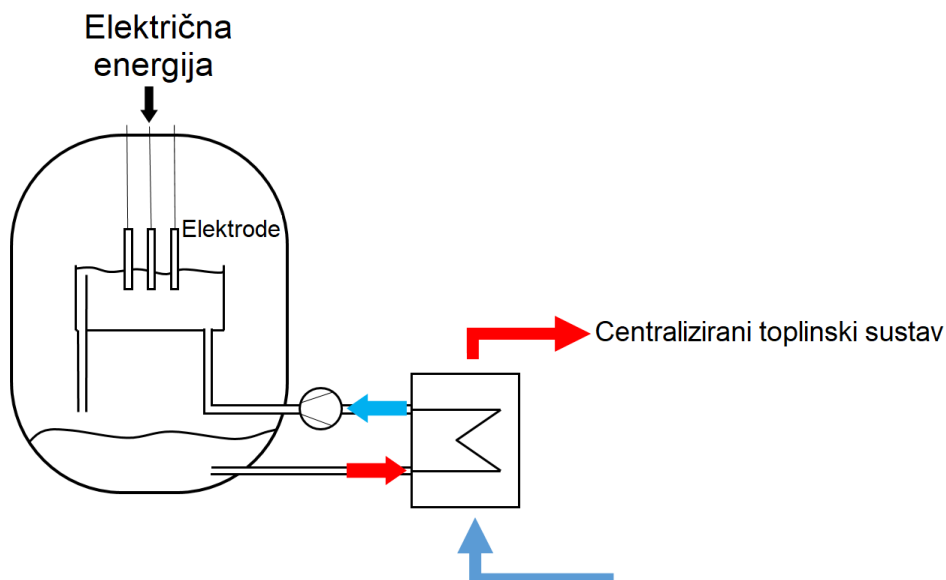
⁵ <https://www.reuseheat.eu/>

5.3.6 „Power-to-Heat“

„Power-to-Heat“ tehnologije pretvaraju električnu u toplinsku energiju. Dakle, tehnologija „Power-to-Heat“ pruža mogućnost međusobnog povezivanja elektroenergetskog sektora s sektorom grijanja, što je poznato i pod nazivom povezivanja sektora. „Power-to-Heat“ se koristi u kućanstvima, poduzećima ili industriji. Jedna od specifičnih primjena je integracija u CTS za što se koriste električni kotlovi i dizalice topline što je detaljnije opisano u nastavku.

Električni kotlovi pretvaraju električnu energiju izravno u toplinsku energiju. U tu je svrhu moguće koristiti kotlove s elektrodama ili električni kotao s grijačem protočnog tipa. Odabir tehnologije koja se koristi u određenom slučaju ovisi o lokalnim uvjetima i zahtjevima. Pomoću obje ove tehnologije može se postići kontrola rada električne mreže. Investicijski troškovi ovise o traženim kapacitetima i potrebnim pomoćnim uređajima.

Glavne komponente elektrodnih kotlova su njihove elektrode. Elektrode su okružene vodom te se koriste fizička svojstva vode za generiranje toplinske energije. Ako su elektrode uključene, električni otpor vode dovodi do njezinog zagrijavanja. Zatim se ta toplinska energija putem izmjenjivača topline prenosi u CTS. Izmjenjivač topline je uveden jer je potrebno odvojiti sam kotao i CTS zbog vrlo različitih traženih svojstava vode. Snaga kotla se može regulirati razinom vode te time i uronjenosti elektroda. Snage elektrodnih se kotlova kreću između 5 i 50 MW (AGFW, 2017). Slika 50. prikazuje shematski prikaz kotla s elektrodama.

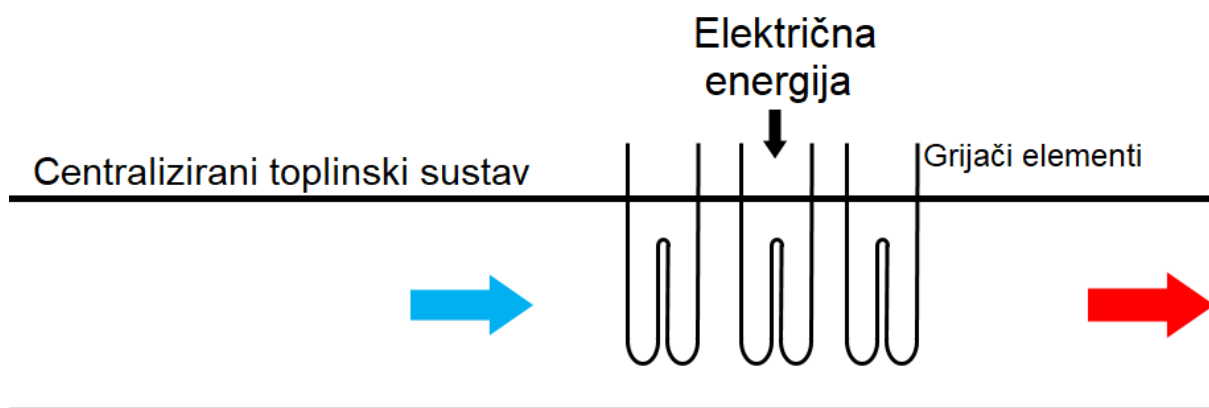


Slika 50: Shematski prikaz elektrodnog kotla (Izvor: AGFW)



Slika 51: Elektroodni kotao snage 10 MW i zapremnine 14.4 m³ solarnog CTS-a, Gram, Njemačka (Izvor: D. Rutz)

Električni protočni grijači pružaju mogućnost zagrijavanja vode u CTS-u bez potrebe za dodatnim hidrauličkim krugom. Sastoje se od jednog ili više grijaćih elemenata koji su uronjeni u struju vode. Grijači se element kad je uključen zagrijava te predaje toplinsku energiju struji vode. Regulacija predane energije se vrši reguliranjem snage samog grijaćeg elementa, dok se kod sustava s višestrukim grijačima može regulirati broj uključenih grijača pa je stoga ta metoda regulacije manje prilagodljiva. Snaga ovakvih se sustava kreću između 100 kW i 10 MW (AGFW, 2017). Slika 52. prikazuje pojednostavljeni prikaz električnog protočnog grijača.



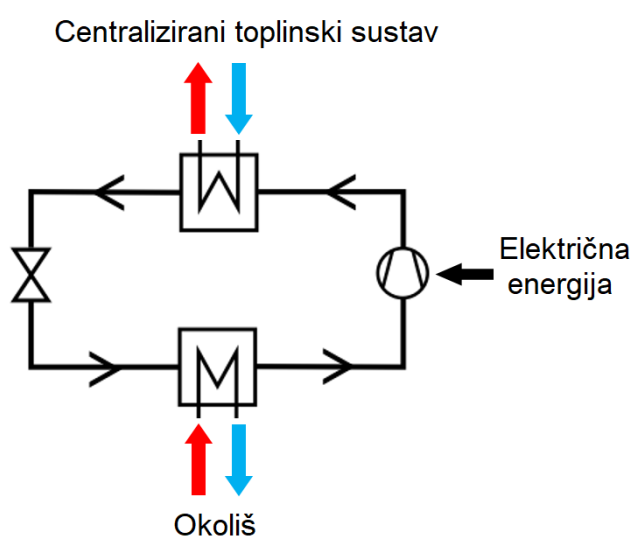
Slika 52: Shematski prikaz električnog protočnog grijača (Izvor: AGFW)



Slika 53: Električni protočni grijač (Izvor: Klöpper-Therm GmbH i Co.KG)

Dizalice topline se mogu podijeliti na kompresijske, apsorpcijske i adsorpcijske dizalice topline. Kompresijske su dizalice topline najprimjerenije i najčešće korištene u CTS-u te imaju ulogu „Power to heat“ uređaja. (AGFW, 2017)

Kompresijske dizalice topline kao izvor toplinske energije koriste nisko-temperaturne izvore kao što su zrak, geotermalna energija, voda ili otpadna toplota, te dostavljaju toplinsku energiju više temperature za daljnje primjene (korisna energija). U ovom tipu dizalice topline se električna energija koristi za pogon kompresora kao što prikazuje Slika 54. Kompresor transportira radni medij kroz zatvoreni sustav. Taj se radni medij odabire u ovisnosti o promatranom izvoru topline i temperaturama u pojedinim dijelovima sustava. Prijenos topline se ostvaruje s dva izmjenjivača topline od kojih se jedan nalazi kod izvora topline, a drugi služi za prijenos toplinske energije u CTS. (AGFW, 2017.; Wesselak et al., 2013)



Slika 54: Princip rada kompresijske dizalice topline (prema (AGFW, 2017))

Potrebno je spomenuti **dodatnu primjenu** električnih kotlova što se tiče njihovog rada. Električni se kotlovi u CTS-u koriste u svrhu balansiranja elektroenergetske mreže te su zbog toga vrlo fleksibilni u radu. Npr. ako u električnoj mreži postoji višak električne energije, električni kotlovi se mogu uključiti kako bi se potrošio višak električne energije te pretvorio u toplinsku energiju i time se uravnotežila elektroenergetska mreža. Prednost ovakvih sustava je dodatna zarada od usluge balansiranja mreže te dodatna isplativost ove tehnologije jer može iskoristiti promjenjive cijene električne energije.

Dizalice topline se u suprotnosti koriste samo za pokrivanje baznog opterećenja. Učinkovitost dizalice topline je definirana pomoću faktora grijanja (COP) (engl. *coefficient of performance*) koji označava omjer dobivene korisne toplinske energije i utrošene električne energije (donja jednadžba, prema AGFW, 2017).

$$COP = \frac{|\dot{Q}_{korisna}|}{P_{električna}}$$

Budući da se korišteni izvori topline (zrak, geotermalna energija, voda i višak topline) smatraju besplatnim, njihova se potrošnja ne uzima u obzir u izračunu učinkovitosti i izračunu pogonskih troškova. Stoga je moguće imati vrijednosti učinkovitosti veće od jedan. Zbog tih razloga, proizvodnja toplinske energije pomoću dizalica topline može biti vrlo energetska učinkovita i isplativa. Te se prednosti mogu dodatno povećati ako je za neki sustav ili proces korisno i hlađenje izvora topline. Tako se npr. za pogon dizalice topline može iskoristiti nisko-temperaturna otpadna toplina proizvedena od strane rashladnog uređaja.

Glavne prepreke u implementaciji dizalica topline u CTS je njihova visoka cijena investicije i ovisnost profitabilnosti o cijenama električne energije. Investicijski su troškovi približno ujednačeni širom svijeta, ali su troškovi električne energije uvelike različiti. Zbog visokih se investicijskih cijena, dizalice topline većinom koriste samo za pokrivanje baznog opterećenja, dok se vršno opterećenje pokriva putem nekog drugog izvora topline. Također iz istih razloga dizalice topline nije prikladno primijeniti kao jedinu tehnologiju proizvodnje toplinske energije u CTS-u.

5.3.7 Integracija tehnologija pohrane toplinske energije

Opterećenje CTS-a konstantno varira. Tokom dana se pojavljuju brojna vršna opterećenja te postoji velika razlika u opterećenju tokom zime i ljeta. Također, uz opterećenje, varira i cijena proizvodnje toplinske energije. Dio ovih problema se može riješiti primjenom toplinskog spremnika topline (TES) (od engl. *Thermal energy storage*). Primjenom toplinskog se spremnika može vremenski odmaknuti vršna potrošnja od vršne proizvodnje tako da se proizvodnja odvija u vremenu kad pruža najveću ekonomsku dobit.

Kratkotrajna pohrana toplinske energije

Uobičajeno se kratkotrajna pohrana pojavljuje u obliku **spremnika pod atmosferskim tlakom**. Ti su spremnici toplinski izolirani, a svrha im je pomicanje vršnih opterećenja. Voda se u tim spremnicima pohranjuje na nešto nižoj temperaturi od 100 °C. Postoje slučajevi prenamjene starih naftnih spremnika u toplinske spremnike u CTS-u.

Spremnici pod tlakom mogu sadržavati vodu temperature iznad 100 °C. Potreba za skladištenjem toplinske energije na tim temperaturama može doći zbog toplinskih potreba potrošača, ili zbog korištenja spremnika u kombinaciji s „Power to heat“ opcijama pa se u tom slučaju treba omogućiti dodatno zagrijavanje vode. Zbog više temperature vode u spremniku, spremnici pod tlakom mogu kod istog volumena sadržavati više pohranjene toplinske energije u odnosu na spremnike na atmosferskom tlaku. Također, zbog viših tlakova, spremnici pod tlakom podliježu strožim sigurnosnom propisima što rezultira višim troškovima investicije i održavanja.



Slika 55: Toplinski spremnik pod atmosferskim tlakom u CTS-u grada Zagreba (Izvor: www.pogledaj.to)

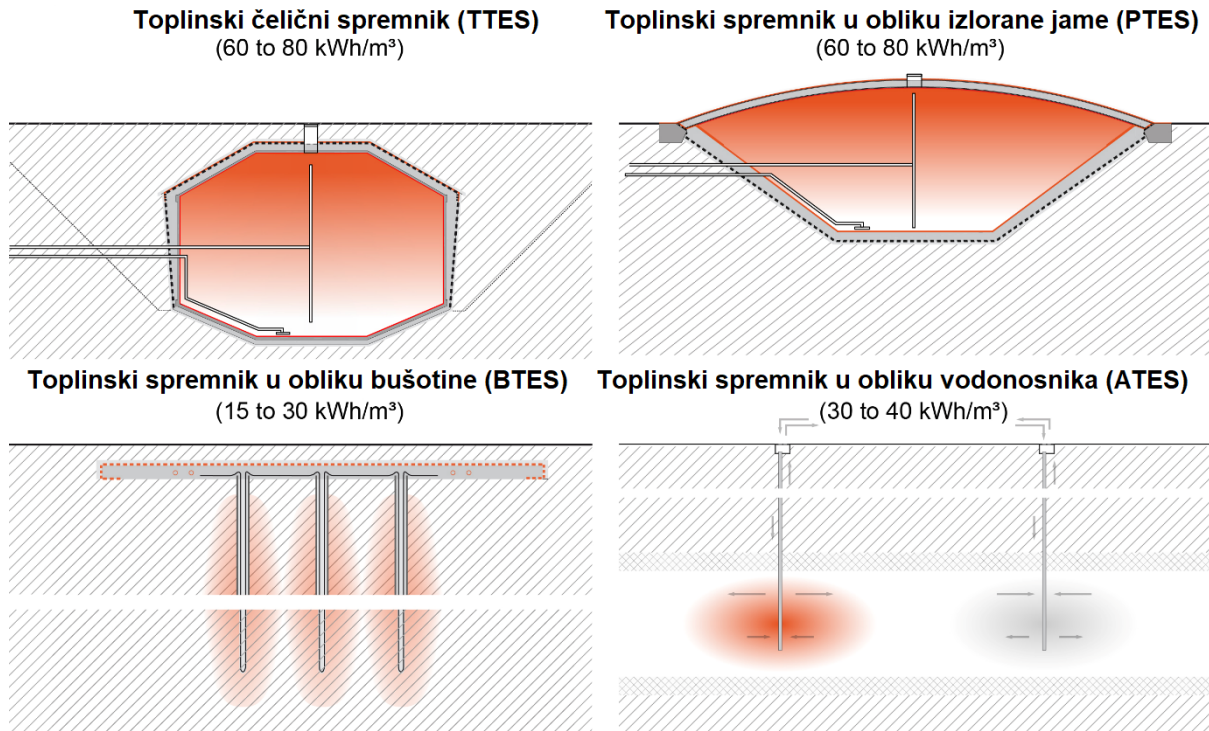
2015. je u pogon pušten prvi dvozonski toplinski spremnik u Nürnbergu u Njemačkoj. Sustav je izumljen od strane Dr. Hedbäck-a, a patentiran od strane Bilfinger VAM. U spremniku su gornja i donja zona odvojene fleksibilnim slojem. Težina gornje zone stvara pritisak na donju zonu, što omogućuje zadržavanje vode u donjoj zoni s temperaturama iznad 100 °C. Temperatura vode u gornjoj zoni je niža.

Prednost dvozonskih sustava u usporedbi s spremnicima pod atmosferskim tlakom je mogućnost pohrane veće količine energije te smanjeni troškovi sigurnosnih mjera u usporedbi s spremnicima pod tlakom.

Veliki podzemni toplinski spremnici – sezonski toplinski spremnici

U posljednjih su nekoliko desetljeća razvijena i puštena u rad četiri glavna koncepta velikih podzemnih toplinskih spremnika (TES), kao što prikazuje Slika 56. Svaki od ovih koncepta ima različite mogućnosti s obzirom na kapacitet skladištenja, učinkovitost, moguće kapacitete punjenja i pražnjenja, zahtjeve na lokalne uvjete tla i granične uvjete sustava (npr. temperaturni režimi).

Najprikladniji koncept toplinskog spremnika se uvijek pronalazi putem tehno-ekonomske analize uz zadane uvjete. U sljedećim su poglavljima ukratko predstavljene različiti tipovi velikih toplinskih spremnika.



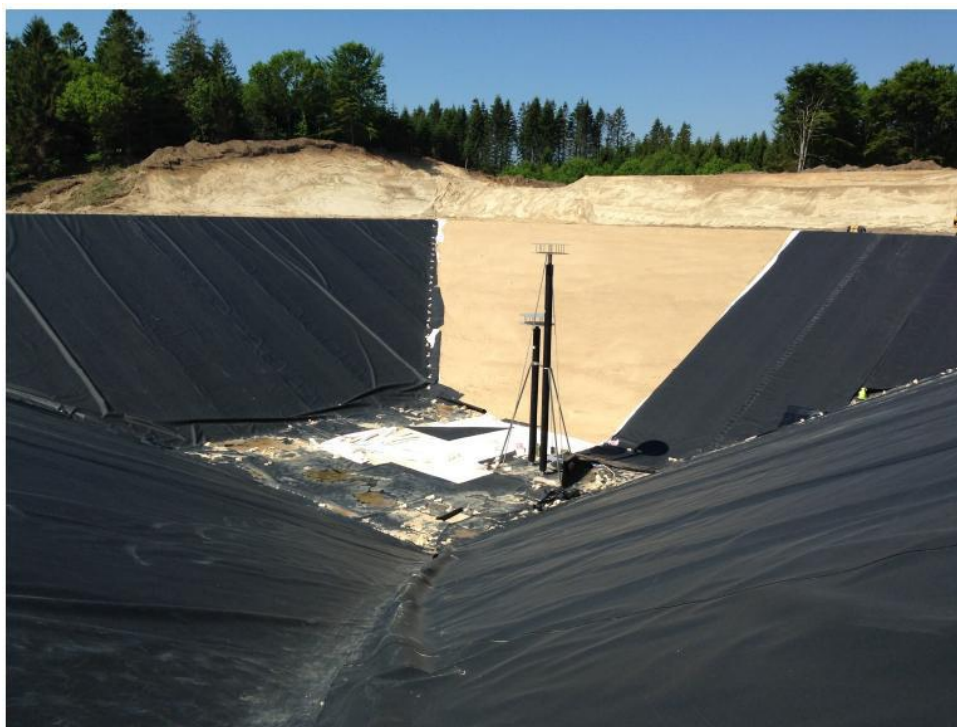
Slika 56: Pregled dostupnih koncepata podzemnih toplinskih spremnika (Izvor: Solites)

Toplinski spremnik u obliku čeličnog spremnika ima konstrukciju izrađenu iz betona, čelika ili vlaknima ojačane plastike (sendvič spojevi). Betonski se spremnici mogu izraditi na samom mjestu instalacije ili korištenjem pred-izrađenih betonskih segmenata. Uobičajeno se s unutrašnje strane postavlja dodatni sloj (polimer ili nehrđajući čelik) da osigura strukturu od prodiranja vlage. Toplinska se izolacija postavlja na vanjsku stjenku spremnika.



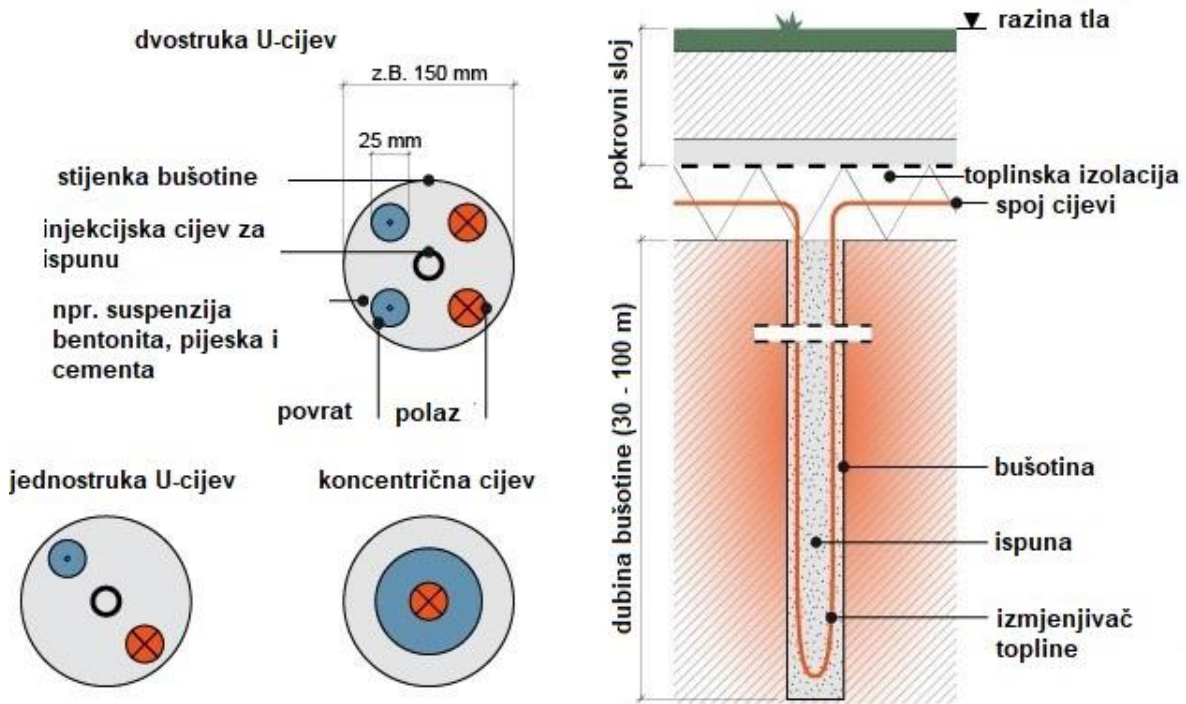
Slika 57: Spremnik za pohranu toplinske energije zapremnine 5.700 m³ iz pred-izrađenih betonskih elemenata, München, Njemačka (tokom izgradnje – lijevo, gotov- desno, Izvor: Solites)

Spremnik u obliku izolirane jame se izrađuje bez ugradnje statičke konstrukcije, već se u iskopanu jamu postavlja vodonepropusna obloga. Konstrukcija pokrovnog djela spremnika ovisi o mediju koji se skladišti i geometriji samog spremnika. Za slučaj korištenja vode u kombinaciji s šljunkom, zemljom i pijeskom kao medijem pohrane se pokrovni dio često izrađuje iz istog materijala kao i stjenke spremnika. Kod spremnika s pohranom vode, najskuplji i najzahtjevniji dio spremnika je izrada pokrovnog djela. Taj dio većinom nije poduprt nosivom konstrukcijom, već pluta na vodi. Temperature medija u spremniku su većinom ograničene na oko 80 do 90 °C. Ti su sustavi u potpunosti ukopani u zemlju, a kod nekih se koristi iskopana zemlja kod izrade jame za izradu nasipa što podiže razinu samog spremnika.



Slika 58: Izgradnja SUNSTORE 3 pohrane toplinske energije u obliku jame, Dronninglund (Dronninglund Fjernvarme)

Kod **toplinskog spremnika u obliku bušotine** se u svrhu pohrane toplinske energije koriste geološke formacije. Ne postoji točno definirani volumen koji se koristi. Pogodne geološke formacije su stjenovitog tipa ili vodom natopljeni slojevi zemlje s zanemarivim kretanjem podzemnih voda. Toplinska se energija pohranjuje i crpi pomoću izmjenjivača topline postavljenih unutar bušotina na dubinu između 30 i 100 m. ti izmjenjivači topline mogu biti u obliku jednostruke ili dvostruke U cijevi ili koncentričnih cijevi napravljenih iz sintetičkih materijala.



Slika 59: Česte vrste i prikaz bušotinskih izmjenjivača topline (Izvor: Solites)

Toplinski spremnik u obliku vodonosnika su šupljine ispunjene vodom ispod površine zemlje koje se sastoje od slojeva pijeska, šljunka, pješčenjaka ili vapnenca s visokom hidrauličkom vodljivošću. Vodonosnici su prikladni za skladištenje toplinske energije ako postoje nepropusni slojevi iznad i ispod, a prirodni protok podzemnih voda je zanemariv. U tom se slučaju u sloj vodonosnika buše dvije bušotine (ili nekoliko skupina) te služe za utiskivanje i vađenje pohranjene vode. Tijekom procesa pohrane topline, iz hladnog se izvora izvlači hladna podzemna voda te se zagrijava putem toplinskog izvora i ubrizgava se u topli izvor. Za slučaj crpljenja topline je smjer rada suprotan. Topla voda se izvlači iz tople bušotine, ohladi u ponoru topline te se ubrizgava u hladni izvor. Obje bušotine su zbog potrebe za radom u oba smjera opremljene pumpama, proizvodnim i injekcijskim cijevima.

Specifičnosti

Najčešći ciljevi korištenja sustava pohrane toplinske energije u CTS-u su:

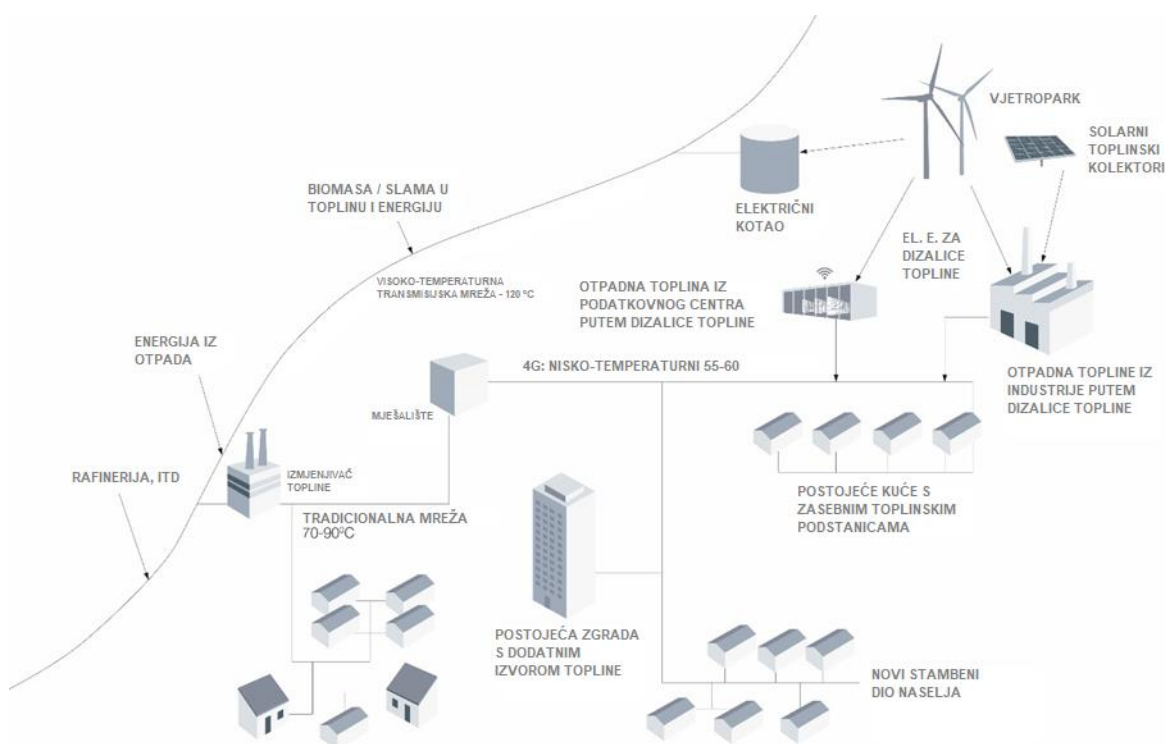
- Kratkoročna pohrana u svrhu optimizacije rada sustava (uklanjanje vršnih opterećenja)
- Dugoročna pohrana ili sezonska pohrana. Npr. solarna energija ili otpadan toplina
- Poboljšanje rada kod korištenja niza proizvodnih tehnologija kao što su kogeneracija, solarna toplinska energija, dizalice topline i otpadna industrijska toplina
- Pohrana hladnoće. Npr. okolišna hladnoća (zrak, voda) ili hladnoća nastala kao nusproizvod korištenja dizalica topline

Integracija cjelokupnog sustava opskrbe energijom je ključna za učinkovit rad velikog toplinskog spremnika. Ona podrazumijeva pravilan rad sustava s hidrauličke strane, pažljivo projektiranje ne samo pohrane, već i komponenata sustava kao što su dodatni toplinski izvori ili ponori, same distribucijske mreže i toplinskih podstanica. Poseban se naglasak stavlja na vođenje samog procesa pohrane s ciljem maksimizacije koristi korištenja tog sustava. Ta se optimizacija sustava može voditi s ciljem npr. povećanje udjela obnovljivih izvora energije ili povećanje proizvodnje električne energije u kogeneracijskom postrojenju.

Temperatura skladištenja, kvaliteta stratifikacije i temperature povratnog voda izrazito utječu na učinkovitost toplinskog spremnika. Ti parametri ne ovise samo o sustavu pohrane, već i o cijelom sustavu. Dakle, tijekom postupka projektiranja sustava pohrane je potrebno točno predvidjeti cjelokupne karakteristike sustava što uključuje temperature skladištenja i njihovo kretanje tijekom cijele godine, brzine punjenja i pražnjenja spremnika, temperatura povratnog voda. Nabrojani parametri zajedno s maksimalnim temperaturama punjenja spremnika definiraju iskoristivu temperaturnu razliku i prema tome toplinsku zapreminu spremnika. Neki sustavi mogu sadržavati i kratkoročne spremnike te dizalice topline ukoliko se to pokaže kao smisleni dodatak s ekonomske strane.

5.3.8 Nadogradnja korištenjem obnovljivih izvora energije – pronalazak ispravne kombinacije

Obnovljivi izvori energije mogu osigurati CO₂ neutralan i održiv izvor topline. Međutim, njihova integracija i regulacija rada unutar CTS-a može dovesti do specifičnih izazova. Uobičajeno su se CTS-i sastojali od izvora toplinske energije, distribucijske mreže i krajnjih korisnika. U suprotnosti tome, suvremene mreže moraju biti „pametnije“ s više integriranih izvora topline različitih veličina te temperaturnih režima i lokacija u mreži. U tom slučaju, sama regulacija ponude i potražnje mora biti „pametnija“ i integriranija kako bi se zadovoljili zahtjevi potrošača topline uz maksimalno korištenje varijabilnih obnovljivih izvora energije. CTS s usvojenim gore navedenim faktorima može izgledati kao sustav na Slika 60.



Slika 60: CTS s varijabilnim izvorima topline (Izvor: COWI)

Bazni dio toplinskog opterećenje bi trebao osigurati pouzdan izvor toplinske energije s mogućnošću kontrole snage. U tu kategoriju se mogu svrstati spalionice otpada koje rade kontinuirano i ne mogu se jednostavno ugaziti. Također je otpadna toplina visoke temperature iz teške industrije, kao što su rafinerije, kontinuirani izvor toplinske energije visoke temperature. Kotlovi na biomasu i kogeneracijska postrojenja su fleksibilniji (iako se ne mogu

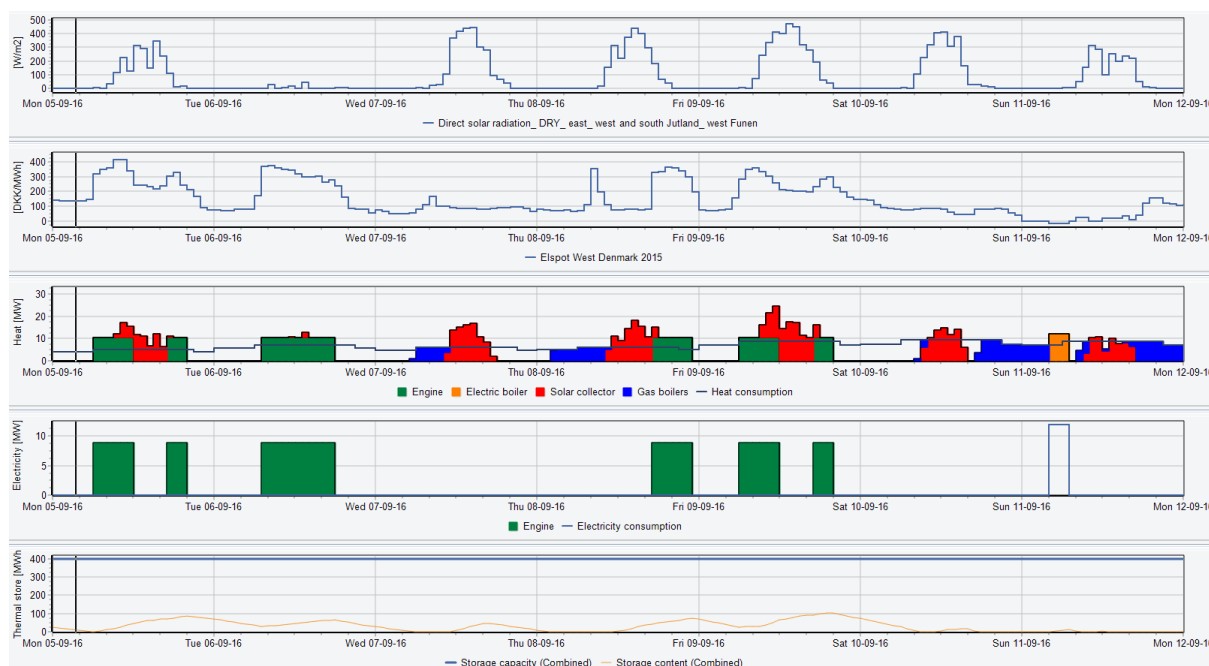
pokrenuti velikom brzinom) i mogu se koristiti za povećanje opskrbe kada je to potrebno. Za razliku od otpada, biomasa se može skladištiti i koristiti prema potrebi.

Obnovljivi izvori energije kao što su energija vjetera i sunca su po svojoj prirodi varijabilni resursi. Iz tog ih je razloga potrebno spojiti i koristiti kad god su dostupni, po mogućnosti u kombinaciji s toplinskim spremnicima.

Ovakav sustav zahtijeva sofisticirani sustav upravljanja kako bi se osiguralo da svi dijelovi rade zajedno, a ne jedan neovisno od drugog. Primjerice, sustav mora znati da postoji dostupna toplinska energija iz solarnog toplinskog postrojenja ili dizalice topline te s obzirom na to prilagoditi količinu topline pribavljane iz izvora visoke temperature.

Mapiranje opcija i postizanje optimalnog rješenja može biti složen proces. CTS-i se obično izgrađuju tijekom dugog vremenskog perioda, s dodacima i poboljšanjima koja se povremeno dodaju na postojeću mrežu. Softverski paketi za modeliranje različitih rješenja mogu biti korisni kod procjene optimalne kombinacije tehnologija opskrbe toplinskom energijom određenog područja s obzirom na lokalna ograničenja.

Jedan od takvih programskih paketa je **EnergyPro**, koji se može koristiti kod simulacije CTS-a i njegovih komponentata. Pomoću programa EnergyPro se mogu optimizirati radni parametri opskrbe toplinskom energijom. Slika 61 prikazuje sučelje programa EnergyPro za slučaj analize rada mreže danskog gradića u kojem se nalazi solarni toplinski sustav, kao i kogeneracija i kotlovi na prirodni plin. Prvi graf prikazuje satno sunčevo ozračenje lokacije, koje se zatim koristi za izračun proizvodnje topline iz solarnih kolektora. Drugi graf prikazuje satnu razdiobu cijena električne energije. Treći prikazuje razdiobu potreba za toplinom i proizvodnju u različitim dijelovima postrojenja. Četvrti pokazuje proizvodnju električne energije, a peti prikazuje stanje napunjenosti toplinskog spremnika na satnoj bazi.



Slika 61: EnergyPro model (EMD international A/S)

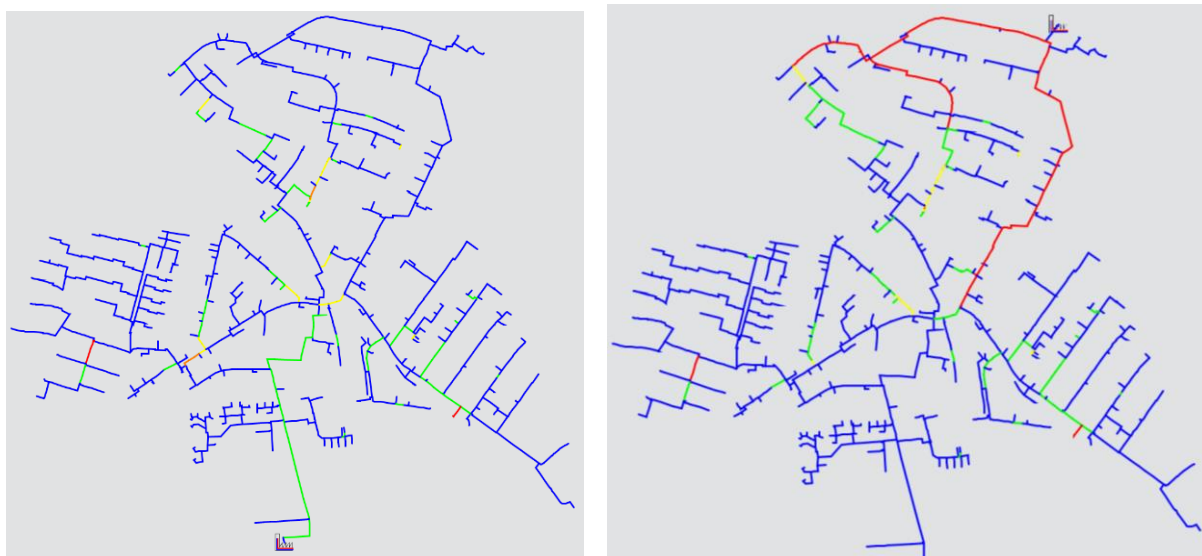
Drugi je primjer **Optit-ov alat za optimizaciju proizvodnje energije** (Upgrade DH 2018c). Taj se alat već sad svakodnevno koristi u nekoliko CTS-a u Italiji. On omogućuje vremensku optimizaciju rada pojedinog dijela sustava kako bi se maksimizirali kratkoročni i dugoročni prihodi.

Termodinamičko modeliranje pomoću programskog paketa kao što je **TERMIS** može biti korisno kod procjene utjecaja promjena kod izvora topline i potrošnje na sam CTS. Ovo metoda

modeliranja uzima u obzir veličinu i radne parametre novog izvora topline zajedno s njegovim fizičkim položajem u mreži, tj. izrađeni se model sustava u ovom programu može koristiti za procjenu rada cijele mreže kod promjena uslijed nadogradnja i slično. Na primjer, mogu se dobiti odgovori na sljedeća pitanja:

- Jesu li cijevi dovoljno velikih dimenzija za transport toplinske energije od mjesta proizvodnje do potrošača spojenih na mrežu?
- Postoje li kritična mjesta gdje bi trebalo ugraditi dodatne pumpe da se zadrži dovoljno visok tlak unutar mreže?

Slika 62 prikazuje slučaj analize dodavanja novog proizvodnog postrojenja na mrežu. Iako bi sustav profitirao od priključenja novog izvora topline, vidljivo je da bi u tom slučaju bilo potrebno nadograditi veliki dio mreže.



Slika 62: Spajanje novog izvora toplinske energije u sustav, TERMIS (Izvor: COWI)

5.4 Motrenje tehničkih parametara, kontrola i digitalizacija

Učinkovit se rad CTS-a temelji na složenoj interakciji niza različitih generatora topline s različitim vrstama potrošača. U budućim će se energetske sustavima osim korištenja većeg broja različitih izvora topline u jednom sustavu, pružati i dodatne usluge, kao što je interakcija s elektroenergetskom mrežom. Primjerice, integracija solarnog sustava grijanja može zahtijevati toplinske spremnike, što povećava složenost cijelog sustava.

Praćenje tehničkih parametara je širok pojam s različitim područjima primjene koji bi mogli pomoći u rješavanju problema povezanih sa složenosti budućih energetske sustava. Na prvi je pogled cilj praćenja jednostavan – postizanje optimalnog načina rada sustava. No, optimalni način rada je drugačiji kod svakog sustava i može, između ostalog, biti pod utjecajem ekonomskih, energetske ili ekoloških čimbenika. Ipak, može se pretpostaviti bez obzira na različite ciljeve, da će bez **digitalizacije** budući sustavi teško moći funkcionirati.

Mogu se koristiti **pokazatelji rada** kako bi se operateru dala brza i jednostavna predodžba o stanju sustava bez potrebe za analizom velikog broja podataka. Ovi pokazatelji mogu biti parametri sustava koji se izravno mjere ili izračunavaju preko izmjerenih parametara. Neki od lako razumljivih i često korištenih parametara su temperaturni režimi rada sustava (temperatura polaza i povrata), tlak i potrošnja energije.

Kod budućih će sustava biti potrebno u svrhu digitalizacije prikupljati relevantne podatke instalacijom različitih **mjernih instrumenata** na različitim točkama sustava i mreže. Neki se parametri mogu pokazati bitnijim od drugih ovisno o rubnim uvjetima, složenosti sustava (broj proizvodnih postrojenja, kupaca, spojeva, itd.) te o optimizacijskim ciljevima. Međutim, razina automatizacije će utjecati na broj potrebnih mjernih točaka i prikupljenih parametara. Trenutno je u tijeku istraživanje (projekt NEMO⁶) od strane AGFW-a u Njemačkoj i Tehničkog fakulteta primijenjenih znanosti u Rosenheimu kojemu je cilj identificirati najrelevantnije parametre i ključne pokazatelje za praćenje energetske podataka.

Tablica 5 prikazuje potrebne tehničke zahtjeve za provođenje mjerenja i prikupljanja podataka u svrhu praćenja rada CTS-a. Ti su podaci rezultat vrlo uspješnog projekta praćenja energetske podataka pod nazivom „Mona“ (Bücker, 2015). U tom su projektu mjere ugradnje određene opreme razvrstane prema tome na koji se dio sustava odnosi, te na procijenjenu važnost same mjere.

Tablica 5: Potrebe za skupljanje podataka kod motrenja sustava u cijelosti (Prema Bücker, 2015)

Komponenta	Potrebna mjerna oprema	Važnost
Proizvodnja	Kalorimetar	Potrebno
	Protokomjer	Važno
	Električno brojilo	Poželjno
Toplinska pohrana	Termometar (4 komada)	Potrebno
Mreža	Kalorimetar	Potrebno
	Manometar	Potrebno
Mrežna pumpa	Električno brojilo ili indikator rada	Važno
Kotlovnica	Električno brojilo	Potrebno
	Termometar	Poželjno
Potrošač	Kalorimetar	Važno

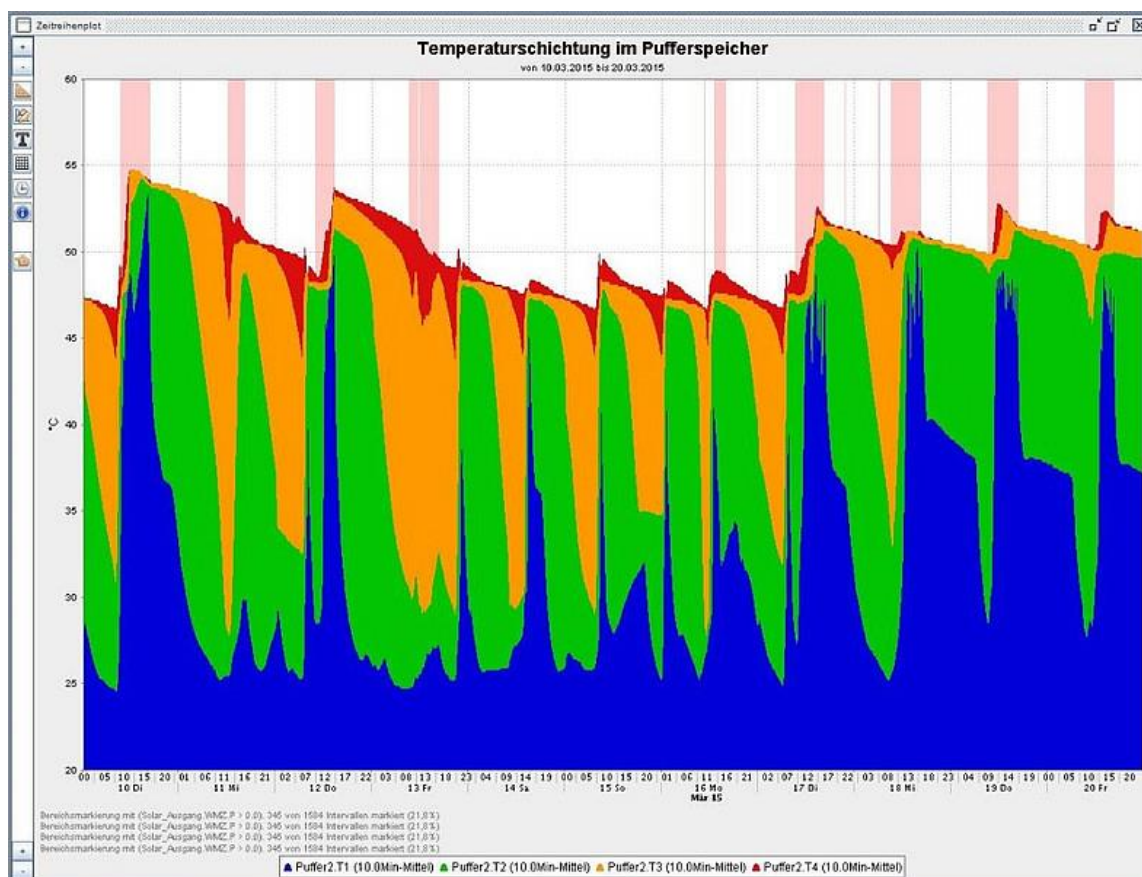
Uz primjenu **digitalizacije** je moguće mjeriti i automatski analizirati mnogo više parametara što može dovesti do postizanja značajnijih učinaka kod nadogradnje. Uz kvalitetnije je podatke moguće također napraviti kvalitetniju analizu i otkriti još ne iskorištene potencijale nadogradnje. Ipak, prednosti nadogradnje bi trebale opravdati uloženi napor prikupljanja podataka. Stoga je potrebno odrediti dobar omjer očekivane koristi i napora.

Potrebna **učestalost mjerenja** u gore navedenom projektu „Mona“ se pokazala u intervalima od 15 minuta (Bücker, 2015). U tom je slučaju taj interval dovoljno razlučiv da se vidi dinamika rada sustava, a bez da se generira prevelika količina podataka. Uslijed napretka u alatima obrade podataka i većim potrebama za analizu, se očekuje daljnje smanjenje tog intervala.

Nemoguće je dati potpun pregled **postojećih softverskih rješenja** korištenih u obradi i praćenju podataka. Neki od alata su opisani u “Best practice instruments and tools for diagnosing and retrofitting of district heating” (Upgrade DH, 2018c).

Primjer takvog softverskog rješenja je Monisoft, korišten i razvijen od strane Tehničkog fakulteta primijenjenih znanosti u Rosenheimu u Njemačkoj. Općenito, mogu se koristiti različiti alati u ovisnosti o potrebama. Slika 63 prikazuje vizualni prikaz prikupljenih podataka.

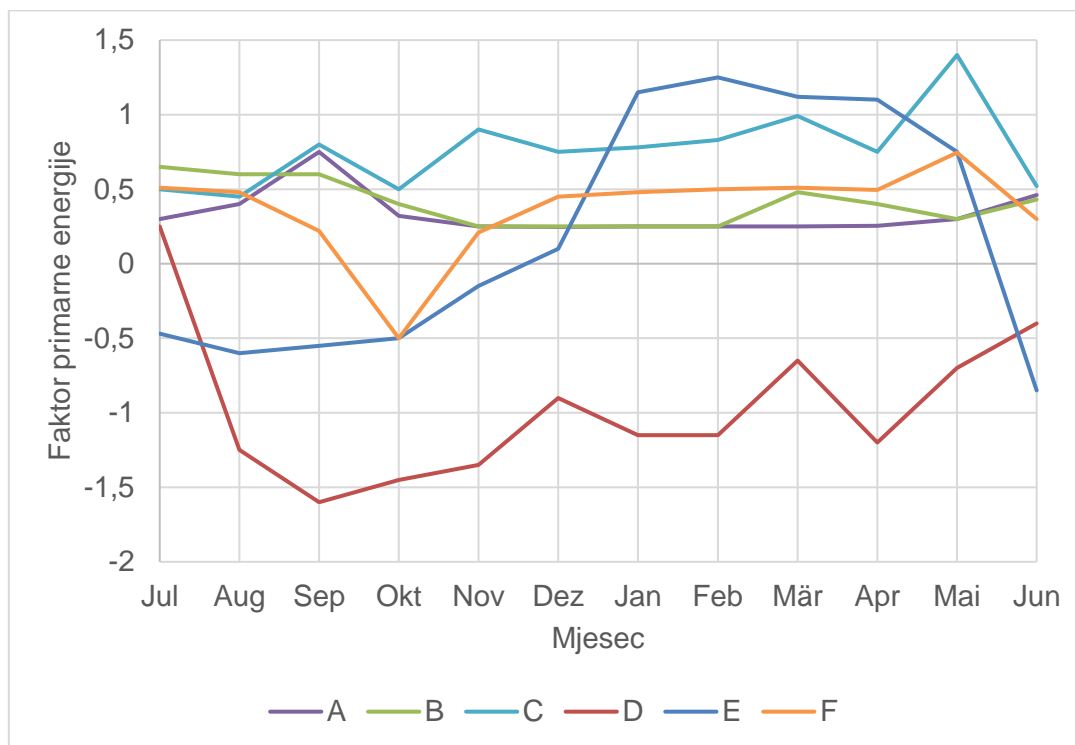
⁶ <https://www.agfw.de/nemo/>



Slika 63: Temperaturni slojevi u toplinskom spremniku motreni pomoću programa Monissoft (Izvor: Hochschule Rosenheim)

Razni se softverski alati mogu koristiti kod analize podataka. U sljedećem je primjeru prikazana usporedba potrošnje primarne energije u šest CTS-a (A, B, C, D, E, i F) preko dodijeljenih faktora primarne energije koji su određeni pomoću metodologije opisane u (AGFW FW 309, 2018). Slika 64 u grafičkom obliku prikazuje dobivene rezultate (negativni se rezultati pojavljuju uslijed metode proračuna AGFW FW 309, 2018, negativne se godišnje vrijednosti postavljaju na nulu)

Detaljnijim pregledom rezultata za sustav s oznakom C se uočavaju značajno viši rezultati za mjesec svibanj. Razlog tome je prestanak rada na biomasu u tom razdoblju. Stoga, se uočava potencijalna mjera nadogradnje sustava koja se fokusira na smanjivanje vremena u kojem kotao na biomasu ne radi te se time može smanjiti faktor primarne energije.



Slika 64: Faktor primarne energije CTS-a s oznakama A, B, C, D, E i F (Vlastiti graf, prema Bücker, 2015)

5.5 Tehnologije brzog odziva (engl: Demand-response options)

Često se u energetske sektoru raspravlja o tehnologijama brzog odziva (engl. *Demand-response*) (DR) te posebice u kontekstu električne energije. Također, često se koristi kao sinonim za upravljanje potražnjom energije (engl: *Demand Side Management*) (DSM). Ispravna definicija pojma tehnologije brzog odziva prema Istraživačkom centru za energetske ekonomiku (njem: *Forschungsstelle für Energiewirtschaft*) je:

Brzi odziv je kratkoročna i predvidiva promjena opterećenja na strani potrošača nastala kao odgovor na moguće promjene cijene usluge ili aktivacije ugovorom definiranog prelaska u drugi tarifni model koji pruža veći kapacitet. Te su promjene cijena aktivirane neplaniranim, neredovitim ili ekstremnim događajima povezanim s energetske sektorom.

Tehnologije brzog odziva kod CTS-a može smanjiti vršna opterećenja koja se događaju kad veliki broj potrošača ima povećane potrebe za toplinske energijom u isto vrijeme. To se događa, npr. kad mnoga priključena kućanstva trebaju potrošnu toplu vodu ujutro ili poslijepodne, npr. za tuširanje, ili kad istodobno velik broj potrošača pređe iz noćnog u dnevni režim rada (uključuje se grijanje). Zbog vršnih opterećenja, većina CTS-a ima kotlove koji služe samo za pokrivanje vršnog opterećenja. Ti kotlovi zbog toga rade mali broj sati godišnje. Problem je što oni uzrokuju znatne troškove i uobičajeno koriste fosilna goriva (loživo ulje, prirodni plin). Zbog toga postoje mnogi pristupi optimizaciji kako bi se smanjila ili čak izbjegla ova vršna opterećenja, kao na primjer primjena točnog predviđanja opterećenja (Faber, 2018) ili integracija kratkoročnog toplinskog spremnika.

Integracija „power to heat“ tehnologija za vrijeme sunčanih (FN) i vjetrovitih (energija vjetra) dana se isto može smatrati tehnologijom brzog odziva. U tom slučaju, povezivanje sektora uz korištenje viškova električne energije postaje od velike važnosti za cijeli energetske sektor. Viškovi električne energije se mogu koristiti za pogon „power to heat“ tehnologija u CTS-ima ili proizvodnju plina (engl: „power to gas“) koji se naposljetku može koristiti u kogeneracijskim postrojenjima.

Ipak, tehnologije brzog odziva u CTS-u koje mogu imati izravan utjecaj na potrošnju energije na strani potrošača se također istražuju na Europskoj razini u sklopu STORM projekta⁷. U tom se projektu razvija posebni STORM upravljački program (za CTS i CRS), a bazira se na strojnom učenju i primijenjenoj umjetnoj inteligenciji. Njegov je cilj povećanje korištenja otpadne topline i obnovljivih izvora energije te povećanje energetske učinkovitosti na razini cijele četvrti (Johansson, 2018).

⁷ <https://storm-dhc.eu/>

Pojmovnik i kratice

Popis pojmova i kratica opisuje i definira različite specifične ili česte, termine i riječi koje se koriste u ovom priručniku. Glavni cilj ovog popisa je olakšati prevođenje priručnika na nacionalne jezike. Neki su izrazi usvojeni iz Wikipedije i Rutza, (2017).

ΔT: vidi temperaturni diferencijal

Adsorpcija: prijanjanje atoma, iona ili molekula iz plina, tekućine ili otopljene krutine na čvrstu površinu

Anaerobna digestija: Također zvana digestijom ili fermentacijom: mikrobiološki proces dekompozicije organskih tvari bez prisustva kisika, a dešava se pod utjecajem skupa mikro-organizama. Postoje dva glavna proizvoda anaerobne digestije: bioplin (mješavina metana, ugljikovog dioksida i drugih plinova u tragovima) i digestat (digestirani supstrat). Digestacija je česti proces u prirodi te se danas primjenjuje u svrhu proizvodnje bioplina u zrako-nepropusnim reaktorskim spremnicima, često zvanim digesterima.

Apsorpcija: proces u kojem atomi, molekule ili ioni ulaze u neki volumen (plin, tekućina, ili krutina). Potrebno je razlikovati apsorpciju i adsorpciju jer kod apsorpcije molekule ulaze u volumen, a ne na površinu (kao kod adsorpcije).

ATES: (engl: *Aquifer thermal energy storage*) pohrana toplinske energije u toplinski spremnik u obliku vodonosnika

Biometan: prerađeni bioplin do kvalitete prirodnog plina sa udjelom metana CH₄ >95%

Bioplin: plin koji je rezultat anaerobne digestije, a sastoji se uglavnom od metana i ugljičnog dioksida uz male udjele vodikova sulfida, vodene pare i ostalih spojeva

BTES: (engl: *borehole thermal energy storage*) pohrana toplinske energije u toplinski spremnik u obliku bušotine

CAPEX: kapitalni trošak (engl: *capital expenditure*)

Centralizirani rashladni sustav: (engl: *District cooling*) je sustav distribucije hladne vode iz centraliziranog postrojenja do stambenih ili komercijalnih objekata u svrhu hlađenja prostora uz upotrebu klimatizacije.

Centralizirani toplinski sustav: (engl: *District heating*) je distribucija toplinske energije preko toplinske mreže do jedne ili više zgrada putem vruće vode ili pare proizvedene u centraliziranom postrojenju, često u kogeneracijskim postrojenjima, od otpadne industrijske topline ili kotlova. (EK, 2018c.)

CO₂: vidi: ugljikov dioksid

COP: vidi: faktor grijanja

CTS: (engl: *District heating*), ili centralizirani toplinski sustav

CTS: centralizirani rashladni sustav

Dodatna voda: dodatna voda je voda koju je potrebno dodavati u sustav daljinskog grijanja zbog gubitaka vode uslijed popuštanja.

DR: (engl: *Demand response*), tehnologije brzog odaziva

Duljina polaganja: (engl: *Trench lenght*) duljina usporedno položenih polaznih i povratnih cijevi u sustavu. npr. duljina polaganja od 100 m označava 100 m cijevi s polaznim vodom i 100 m cijevi s povratnim vodom.

Eksergija: U termodinamici je eksergija sustava definirana kao maksimalno mogući koristan rad koji se može obaviti u nekom procesu koji dovodi sustav u ravnotežu sa toplinskim spremnikom. Za slučaj toplinskog spremnika u obliku okoliša, eksergija je potencijal sustava za uzrokovanjem promjena za vrijeme postizanja ravnoteže s okolinom. Eksergija je energija koja je dostupna za korištenje. Nakon što sustav i okolina dosegnu ravnotežu, iznos eksergije je nula. Određivanje eksergije je bio prvotni cilj termodinamike.

Ekvivalent barela nafte: (engl: *Barrel of oil equivalent - boe*) količina energije sadržane u barelu sirove nafte, približno 6.1 GJ ili 1.700 kWh. „Naftni barel“ je mjera volumena jednaka 159 litara (42 američka galona ili 35 imperijskih galona); jednoj metričkoj toni odgovara 7.2 naftnih barela.

Entalpija: entalpija je mjera ukupne energije u termodinamičkom sustavu. Uključuje unutarnju energiju, što je energija koja je potrebna za napraviti sustav, te energiju koja se koristi za izradu mjesta u kojem se nalazi sustav utjecajem na svoj okoliš te definiranjem tlaka i volumena u sustavu.

Entropija: entropija je mjera ravnomjernosti distribuiranosti energije u sustavu. U fizikalnom smislu predstavlja mjeru energije koja je nedostupna u svrhu obavljanja rada.

Faktor grijanja: (engl: *Coefficient of performance - COP*): koeficijent koji opisuje učinkovitost rada dizalice topline. On je omjer topline na izlasku u odnosu na utrošen rad. COP služi za međusobnu usporedbu rada dizalica topline.

Fluid za prijenos topline: medij koji se koristi u transportu topline od izvora topline do mjesta korištenja. U sustavima daljinskog grijanja je to obično voda.

Fosilno gorivo: fosilna su goriva nastajala milijunima godina uslijed prirodnih procesa kao što je anaerobna dekompozicija mrtvih organizama.

Globalni pozicijski sustav: (engl: Global Positioning System – GPS) je sustav navigacije pomoću satelita koji pruža informacije o geolokaciji i vremenu bilo gdje na ili u blizini Zemlje.

god: godina

Hlađenje: hlađenje je prijenos toplinske energije zračenjem, provođenjem, ili konvekcijom te tim procesom promjena temperature hlađenog medija prema nižem iznosu.

Instalirani kapacitet: sveukupni instalirani električni ili toplinski kapacitet proizvodnih postrojenja.

Izmjenjivač topline: (engl: *Heat exchanger*) izmjenjivač topline je uređaj koji služi učinkovitom prijenosu toplinske energije s jednog fluida na drugi. Može se pojaviti u izvedbama gdje se dva fluida fizički ne miješaju jer su odvojena čvrstom stjenkom, a mogu se koristiti i izmjenjivači u kojima se dva fluida dovode u izravan kontakt.

Kapacitet: maksimalna snaga koju uređaj ili sustav može isporučiti u jednom trenutku. Kapacitet se običajeno iskazuje u kilovatima - kW ili megavatima MW.

Kilovat (kW): mjera električne ili toplinske snage jednak iznosu od 1.000 vata [W].

Kilovat-sat (kWh): najčešće korištena jedinica energije. Označava ispušeni jedan kilovat trajne snage tokom jednog sata.

Kogeneracija: (engl: *CHP, Combined heat and power*), Istovremena proizvodnja električne i korisne toplinske energije iz istog izvora energije. Višak topline iz industrijskih procesa se može koristiti za pogon električnog generatora (bottoming cycle). Obrnuto, višak topline iz elektrane se može koristiti za industrijske procese, ili za potrebe grijanja prostora i vode (topping cycle).

Kolektor s vakuumskim cijevima: solarni kolektor koji se sastoji od vakuumskih cijevi unutar kojih struji fluid koji preuzima toplinu.

Kondenzirajući kotao (ekonomajzer): Kondenzirajući kotlovi su grijači vode visoke učinkovitosti (obično više od 90%) koja se postižu korištenjem otpadne topline u dimnim plinovima za predgrijavanje hladne vode koja ulazi u kotao. Mogu koristiti plin ili ulje i nazivaju se kondenzacijski kotlovi, jer vodena para sadržana u dimnim plinovima kondenzira u vodu te odlazi iz kotla putem odvoda.

kW_{el}: električna snaga (kapacitet)

kWh: vidi kilovat-sat

kW_{th}: toplinska snaga (kapacitet)

Legionella: Patogena skupina bakterija koje mogu prouzročiti zdravstvene probleme.

Mini-mreža: integrirani sustav proizvodnje, transmisije i distribucije električne i toplinske energije kojim se služe mnogi potrošači na lokalnoj razini.

Mrežne cijevi: cijevi u CTS-u pomoću kojih se kupcima dostavlja toplinska energija. Sami kupci su spojeni servisnim cijevima.

Ogrjevna vrijednost: (engl: *Heating value*) ogrjevna je vrijednost količina topline oslobođena izgaranjem određene količine goriva (bioplina, biometana). Postoje gornje i donje ogrjevne vrijednosti.

ORC: vidi Organski Rankineov ciklus (engl: *Organic Rankine Cycle*)

Organski Rankineov Ciklus: ORC svoj naziv duguje činjenici da koristi organski fluid sa visokom molekularnom masom. Organski se fluid koristi zbog toga što se kod takvih fluida fazna promjena ili točka isparivanja događa kod nižih temperatura, nego fazna promjena voda-vodena para. To omogućuje Rankineovom ciklusu korištenje nisko-temperaturnih izvora topline kao što su npr. postrojenja na bioplin.

Otpadna toplina: (engl: *Waste heat*) toplina iz nekog procesa, kao što je kogeneracijsko postrojenje, koja se ispušta u atmosferu bez prethodnog iskorištavanja. Također se može nazivati i „višak topline“ jer se toplina kao oblik energije ne može nestati (potrošiti se) prema zakonu očuvanja energije.

Pametna mreža: (engl: *Smart grid*) Pametna mreža je električna mreža koja koristi informacijske i druge tehnologije kako bi prilagodila potražnju i dobavu na najučinkovitiji mogući način. Pomoću pametnih se mreža može poboljšati energetska učinkovitost i povećati stabilnost same mreže uslijed porasta udjela obnovljivih izvora energije u mreži.

Vodena para: (engl: *Steam*) para je tehnički pojam koji se koristi za vodenu paru, tj. paroviti fazni oblik vode.

Para: (engl: *Vapor*) Para je tvar koja se nalazi u obliku plinovite faze na temperaturi nižoj od temperature u kritičnoj točki. To znači da para može prijeći u tekućinu ili krutinu povećanjem tlaka bez sniženja temperature. Na primjer, voda ima kritičnu temperaturu od 374 °C (647 K), što je najviša temperatura pri kojoj voda u kapljevitom

agregatnom stanju može postojati. U atmosferi će pri normalnim temperaturama, voda u plinovitom stanju (poznata kao vodena para) kondenzirati u tekućinu ako se njezin parcijalni tlak dovoljno poveća. Para može koegzistirati s tekućinom (ili krutom).

PE: (engl: *polyethylene*) polietilen

PEHD: (engl: *high-density polyethylene*) polietilen visoke gustoće

PJP: (engl: *Plastic Jacket Pipes*) cijevi s plastičnim plaštom

Pločasti kolektor: Najčešća vrsta solarnog toplinskog kolektora

Povratni tok: hladna struja medija određenog protoka i temperature koja se vraća od lokacije potrošača topline prema lokaciji izvora topline.

Prirodni plin: prirodni plin je fosilno gorivo. Pripada skupini ugljikovodika, a nalazi se u plinovitom stanju. Glavni sastojak prirodnog plina je metan, ali mogu biti prisutni i drugi ugljikovodici, ugljikov dioksid, dušik i sumporovodik.

Procesna toplina: toplina korištena u industriji za različite unutarnje (vlastite) ili vanjske procese (npr. grijanje digestera).

PTES: (engl: *Pit thermal energy storage*) toplinski spremnik u obliku jame,

PTV: (engl: *DHW, Domestic hot water supply*) potrošna topla voda

PUR-pjena: poliuretanska pjena

SCADA: (engl: *Supervisory Control and Data Acquisition*) SCADA je sustav kontrole koji koristi računala, mrežne komunikacije i grafička korisnička sučelja za prikupljanje podataka, u ovom slučaju rada CTS-a.

SCOP: (engl: *Seasonal Coefficient Of Performance*) Sezonski faktor grijanja,

SDH: (engl: *Solar district heating*) solarni CTS,

Servisne cijevi: cijevi u CTS-u koje spajaju potrošače sa mrežnim cijevima sustava.

Sirovina: (engl: *Feedstock*) Sirovina je ulazni materijal u proces u kojem se taj materijal pretvara u neki drugi proizvod

Snaga: Količina obavljenog rada ili prenesene energije u jedinici vremena (definicija iz fizike). U energetske se definira kao prenesena električna energija kroz mrežu u jedinici vremena.

Staklenički plin: (engl: *Greenhouse gas -GHG*) Staklenički su plinovi, plinovi koji zarobljavaju sunčevu toplinu u Zemljinj atmosferi, uzrokujući efekt staklenika. Dva glavna staklenička plinova su vodena para i ugljikov dioksid. Ostali staklenički plinovi su metan, ozon, klorofluorouglijci i dušikovi oksidi.

Temperaturni diferencijal (ΔT): razlika dvije temperature pri čemu je rezultat uvijek pozitivnog predznaka.

TERMIS: TERMIS je softverski alat za matematičko modeliranje sustava grijanja. U TERMIS-u se mogu provesti simulacije rada modela CTS-a mapiranog i unesenog u sam program. Mogu se koristiti stvarni trenutni podaci, izračunati i analizirati trenutne parametre koji opisuju rad sustava. Za svaki se dio mreže mogu dobiti parametri koji govore o radu sustava.

TES: (engl: *Thermal energy storage*) toplinski spremnik

Tok: Određena količina transportnog medija određene temperature koji teče od izvora prema ponoru topline

Toplina: Toplina je oblik energije koji se prenosi iz jednog sustava u drugi toplinskom interakcijom. Za razliku od rada, prijenos topline uvijek prati i prijenos **eksergije**. Prijenos topline se odvija spontano od tijela visoke temperature do tijela niske temperature. Ovaj se prijenos energije može iskoristiti i djelomično pretvoriti u koristan rad pomoću toplinskog stroja. Drugi zakon termodinamike zabranjuje uspostavljanje toplinskog toka od tijela niske temperature prema tijelu visoke temperature, ali se uz korištenje dizalica topline ipak može naravno uz utrošak rada obaviti prijenos toplinske energije s tijela niske temperature do tijela visoke temperature. U svakodnevnom govoru, toplina ima mnoga različita značenja, među ostalim uključujući i temperaturu. U fizici je "toplina" po definiciji prijenos energije i uvijek je povezana s nekom vrstom procesa. "Toplina" se koristi naizmjenično s "toplinskim tokom" i "prijenosom topline". Prijenos topline se može odvijati na različite načine: provođenjem, zračenjem, konvekcijom, prijenosom mase, trenjem ili viskoznosti te kemijskom disipacijom.

Toplinska podstanica: toplinska podstanica je uređaj (najčešće izmjenjivač topline) u kojem toplinska energija prelazi iz CTS-a u sustav grijanja zgrade.

Transmisijski vodovi: cijevi većeg promjera koje dovode toplinu iz izvora topline do same distribucijske mreže CTS-a

TTES: (engl: *Tank thermal energy storage*) pohrana toplinske energije u cilindrični čelični toplinski spremnik

Učinkovitost prijenosa topline: omjer iznosa korisne topline i ukupne oslobođene topline u kotlu.

Ugljikov dioksid: CO₂ je prirodno pojavljujući kemijski spoj koji se sastoji od dva atoma kisika i jednog atoma ugljika međusobno povezan kovalentnim vezama. Pod standardnim se uvjetima (tlak i temperatura) nalazi u plinovitom obliku i u tom se obliku pojavljuje u Zemljinoj atmosferi u koncentraciji od 0.039% volumnog udjela.

Vat (W): standardna mjerna jedinica (SI sustav) za brzinu korištenja energije (npr. kod opreme ili transfer energije između dvije lokacije). Također je standardna mjerna jedinica za električnu snagu. Pojam „kW“ znači „kilovat“ ili 1.000 vata, a pojam „MW“ označava „megavat“ i iznosi 1.000.000 vata [W].

Višak topline: vidi otpadna toplina.

Voda u sustavu: pogledaj transportni medij

VSD: (engl: *variable speed driver pumps*) pumpe s kontrolom brzine vrtnje,

Literatura

- AGFW (Hg.) (1987): Freileitungen im Gelände und im Gebäude. Eine Sammlung von Beispielen für Planung und Realisierung. Unter Mitarbeit von Andreas Schleyer. Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V. Frankfurt am Main (AGFW Mitgliederinformation)
- AGFW (1993) Bau von Fernwärmenetzen. - Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke m.b.H – VWEW, Frankfurt am Main; 5. Aufl.
- AGFW (2013) Technisches Handbuch Fernwärme, 3. Auflage. Frankfurt am Main: AGFW-Projektgesellschaft für Rationalisierung, Information und Standardisierung mbH. ISBN:3-89999-039-0
- AGFW (Hg.) (2015): TGdA. Technische Gebrauchsdaueranalyse von Wärmenetzen unter Berücksichtigung volatiler erneuerbarer Energien. Forschungsvorhaben. Unter Mitarbeit von Stefan Hay. Projektgesellschaft für Rationalisierung, Information und Standardisierung. Online verfügbar unter <https://www.agfw.de/tgda/>, zuletzt geprüft am 02.01.2019.
- AGFW (Hg.) (2017): EnEff: Wärme. Einsatz von Wärmespeichern und Power-to-Heat-Anlagen. Frankfurt am Main: AGFW-Projektgesellschaft für Rationalisierung, Information und Standardisierung mbH.
- AGFW FW 401 (2018): Verlegung und Statik von Kunststoffmantelrohren (KMR) für Fernwärmenetze. Version: December 2007. Design and installation of preinsulated bonded pipes for district heating networks. In: AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (Hg.): Regelwerk Fernwärme. Frankfurt am Main: AGFW-Projektgesellschaft für Rationalisierung, Information und Standardisierung mbH.
- AGFW FW 435 (2018): Verfahren zur Zustandsermittlung von Fernwärmeleitungen und zur Feststellung / Einmessung von Abweichungen (Leckortung). Version: April 2010. Operations identify the conditions of district heating. In: AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (Hg.): Regelwerk Fernwärme. Frankfurt am Main: AGFW-Projektgesellschaft für Rationalisierung, Information und Standardisierung mbH.
- AGFW FW 448 (2018): Das Fernwärmenetz als thermischer Energiespeicher - Wirtschaftliche Aspekte, technische Lösungen, Beanspruchungen und Nutzungsdauern. Version: January 2016. District heating networks used as thermal energy storages. In: AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (Hg.): Regelwerk Fernwärme. Frankfurt am Main: AGFW-Projektgesellschaft für Rationalisierung, Information und Standardisierung mbH.
- AGFW FW 510 (2018): Anforderungen an das Kreislaufwasser von Industrie- und Fernwärmeheizanlagen sowie Hinweise für deren Betrieb. Version: December 2013. Requirements for circulation water in industrial and district heating systems and recommendations for their operation. In: AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (Hg.): Regelwerk Fernwärme. Frankfurt am Main: AGFW-Projektgesellschaft für Rationalisierung, Information und Standardisierung mbH.
- AGFW (Hg.) (2018a): Instandhaltung-FW. Entwicklung von neuen und verbesserten Instandhaltungsstrategien für kleine und große Wärmeverteilnetze durch Kombination statistischer Alterungsmodelle mit materialbasierten Nutzungsdauermodellen. Forschungsvorhaben. Unter Mitarbeit von Maximilian Seier. Projektgesellschaft für Rationalisierung, Information und Standardisierung. Online verfügbar unter <https://www.agfw.de/forschung/instandhaltung-fw/>, zuletzt geprüft am 02.01.2019.
- AGFW (Hg.) (2018b): Nemo. Wärmenetze im energetischen Monitoring. Unter Mitarbeit von Sebastian Grimm. Projektgesellschaft für Rationalisierung, Information und Standardisierung. Online verfügbar unter <https://www.agfw.de/nemo/>, zuletzt aktualisiert am 12/2018, zuletzt geprüft am 04.01.2019.
- Arnórsson (1995): Geothermal systems in Iceland: Structure and conceptual models – I. High-temperature areas. Geothermics, Volume 24, Issues 5-6
- Averfalk, H., Ingvarsson, P., Persson, U. Gong, M., Werner, S., (2017) Large heat pumps in Swedish district heating systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 79, p.1275-1284
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2016): Erdwärme – die Energiequelle aus der Tiefe, UmweltWissen – Klima + Energie
- BMJV (2019) Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme (AVBFernwärmeV). - [Directive on the general conditions for the supply of district heating] https://www.gesetze-im-internet.de/avbfernw_rmev/ [14.02.2019]
- Bücker, D., Jell, P., Botsch, R., Klingele, M., & (Keine Angabe). (2015). Monitoring von Nahwärmenetzen als Schlüssel zur Optimierung. Euro Heat and Power, (12), 37–39.
- Doračić, B.; Novosel, T.; Pukšec, T.; Duić, N. Evaluation of Excess Heat Utilization in District Heating Systems by Implementing Levelized Cost of Excess Heat. Energies 2018, 11, 575.
- EGEC European Geothermal Energy Council (2014): EGEC geothermal market report 2013
- EGEC European Geothermal Energy Council (2018): EGEC geothermal market report 2017 – key findings

- Euroheat & Power (2018a) European heating sector well positioned for renewables integration. - <https://www.euroheat.org/news/european-heating-sector-well-positioned-renewables-integration/> [14.09.2018]
- Euroheat & Power (2018b) Top District Heating Countries – Euroheat & Power 2015 Survey Analysis. - <https://www.euroheat.org/news/district-energy-in-the-news/top-district-heating-countries-euroheat-power-2015-survey-analysis/> [14.09.2018]
- Euroheat & Power (2017) Country by Country 2017. - <https://www.euroheat.org/publications/country-country-2017/> [23.01.2019]
- European Commission (2016) An EU Strategy on Heating and Cooling. - EC 16.2.2016 COM(2016) 51 final; https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1_EN_ACT_part1_v14.pdf
- European Commission (2018a) Heating and cooling. - <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/heating-and-cooling> [14.09.2018]
- European Commission (2018b) Energy consumption in households. - https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_consumption_in_households [14.09.2018]
- European Commission (2018c) Glossary: City heating. - https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:City_heating
- European Commission (2018d) Energy consumption in households, Source data for tables and figures https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/images/1/16/Energy_consumption_households_final.xlsx [22.01.2019]
- European Commission (2019a) New Renewables, Energy Efficiency and Governance legislation comes into force on 24 December 2018. - https://ec.europa.eu/info/news/new-renewables-energy-efficiency-and-governance-legislation-comes-force-24-december-2018-2018-dec-21_en [23.01.2019]
- European Commission (2019b) Biomass. - <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/biomass> [23.01.2019]
- European Commission (2019c) Energy consumption in households. - https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_consumption_in_households [11.02.2019]
- Eurostat (2019) CONCEPTS AND DEFINITIONS. – https://ec.europa.eu/eurostat/ramon/nomenclatures/index.cfm?TargetUrl=DSP_GLOSSARY_NOM_DTL_VIEW&StrNom=CODED2&StrLanguageCode=EN&IntKey=16452285&RdoSearch=&TxtSearch=&CboTheme=&IntCurrentPage=1%20https://www.google.de [23.01.2019]
- Faber, T., Groß, J., & Finkenrath, M. (2018). Innovative Last prognosen mit »Deep Learning«-Methoden. Euro Heat and Power, 47(1-2), 35–38. https://www.hs-kempen.de/fileadmin/fh-kempen/FZA/KWK-Flex/EuroHeat_Power_2018_1-2-18_S_35-38.pdf Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (2019). Demand Response. Retrieved from <https://www.ffe.de/publikationen/fachartikel/344-demand-response> [20.01.2019]
- Frederiksen, Svend; Werner, Sven (2013): District heating and cooling. Lund: Studentlitteratur.
- GeoDH (2014): Developing Geothermal District Heating in Europe, Eu-Funded Project
- Gerdvilla, Simas (2017): Country By Country Survey 2017. - <https://www.euroheat.org/publications/country-country-2017/> [08.01.2019]
- Gunnlaugsson, E., Ármannsson, H., Thorhallsson, S., Steingrímsson, B. (2014): Problems in geothermal operation – scaling and corrosion
- Hirzel, S., Sontag, B., Rohde, C., (2013) Industrielle Abwärmenutzung - https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2013/Kurzstudie_Abwaermenutzung.pdf [11.02.2019]
- Hungenberg, Harald; Wulf, Torsten (2015): Grundlagen der Unternehmensführung. Einführung für Bachelorstudierende. 5. Aufl.: Springer Gabler
- Johansson, C., Vanhoudt, D., Brage, J., & Geysen, D. (2018). Real-time grid optimisation through digitalisation – results of the STORM project. Energy Procedia, 149, 246–255.
- Kühne, Jens; Jan Hinz, Arne (2016): Softwaregestützte Kraftwerkseinsatzoptimierung von KWK-Anlagen. Optimierungstools mit großer Einsatzbandbreite. In: Euro Heat and Power 45 (4), S. 38–43
- Laurberg Jensen L., Rutz D., Mergner R., Doczekal C., Pukšec T., Sunko R., Sunko B., Redžić E., Merzić A., Gjorgievsk V., Batas Bjelic I. (2017) Guideline on drafting heat/cold supply contracts for small DHC systems. - https://www.coolheating.eu/images/downloads/CoolHeating_D5.3_Guideline_on_drafting_heat_cold_supply_contracts_for_small_DHC_systems.pdf [16.01.2019]
- Lund H. et al. (2014) 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. Energy. 68: 1–11. doi:10.1016/j.energy.2014.02.089.

- Lygnerud, K., Werner, S., (2017) Risk of industrial heat recovery in district heating systems. Energy Procedia 116 (2017) 152-157
- Makela, V.M. 2008. Bases for the recommendations for new norms in Russian district heating. Mikkeli University of Applied Sciences
- Miedaner O. Winterscheid C., Grimm S., Heiler D., Kazagic A., (2018) Template for the global assessment of the district heating system in _____. – Word document template; Upgrade DH Project https://www.upgrade-dh.eu/images/Publications%20and%20Reports/UpgradeDH_Del3.2_TemplateForGlobalAssessmentOfDemoCases_Solites%20%282%29.docx [21.01.2019]
- MVV Netze (2015) TAB Heizwasser Technische Anschlussbedingungen Heizwasser für Nah- und Fernwärme. - https://www.mvv-netze.de/medien/dokumente/bauen/technische-regelwerke/fernwaerme/tab_fernwaerme_2015.pdf
- Pauschinger et al. (2018), Design Aspects for Large-Scale Aquifer and Pit Thermal Energy Storage for District Heating and Cooling - https://www.iea-dhc.org/fileadmin/documents/Annex_XII/IEA_DHC_AXII_Design_Aspects_for_Large_Scale_ATES_PTES_draft.pdf [04.02.2019]
- Persson, U., Möller, B., Werner, S., (2014) Heat Roadmap Europe: Identifying strategic heat synergy regions. Energy Policy 74, 663-681.
- Persson, U., (2015) Quantifying the Excess Heat Available for District Heating in Europe - <http://stratego-project.eu/wp-content/uploads/2014/09/STRATEGO-WP2-Background-Report-7-Potenital-for-Excess-Heat.pdf> [22.01.2019]
- prEN 13941, 09/2016: Fernwärmerohre - Auslegung und Installation von gedämmten Einzel- und Doppelrohr-Verbundsystemen für direkt erdverlegte Heißwasser-Fernwärmenetze. DIN EN 13941. Online verfügbar unter <https://www.beuth.de/de/impresum>.
- REN 21 (2018) Renewables 2018 Global Status Report. - <http://www.ren21.net/gsr-2018/> [20.03.2018]
- Roth, Tobias (2018): Best Practice Analysis for the Improvement of District Heating. Bachelor Thesis. Hochschule Rhein-Main, Rüsselsheim.
- Rutz, D., Doczekal C., Zweiler R., Hofmeister M., Laurberg Jensen L. (2017) Small Modular Renewable Heating and Cooling Grids - A Handbook. - ISBN 978-3-936338-40-9; WIP Renewable Energies, Munich, Germany, 110p. www.coolheating.eu
- Rutz D. (ed.); Dimitriou I., Rutz D. (2015) Sustainable Short Rotation Coppice, A Handbook. - WIP Renewable Energies, Munich, Germany; ISBN 978-3-936338-36-2; www.scrplus.eu
- Sandrock, Maaß, Weisleder, Westholm, Schulz, Löschan, Baisch, Kreuter, Reyer, Mangold, Riegger, Köhler (2019): Kommunalen Klimaschutz durch Verbesserung der Effizienz in der Fernwärmeversorgung mittels Nutzung von Niedertemperaturwärmequellen am Beispiel tiefergeothermischer Ressourcen. Geplante Veröffentlichung: 2019
- Sauerwein, S.T. (2013a). Einleitung: Der Rainflow Algorithmus. Retrieved from <http://lastgang.agfw.org/anleitung.php#einleitung>
- Sauerwein, Sebastian Thi (2013b): Untersuchung zu Methoden der technischen Zustandsanalyse von Fernwärmenetzen auf Basis von Ganglinien. Diplomarbeit. Technische Hochschule Mittelhessen - THM, Gießen. Fachbereich für Maschinenbau und Energietechnik. Online verfügbar unter http://lastgang.agfw.org/Untersuchung_zu_Methoden_der_technischen_Zustandsanalyse_von_Fernwaermenetzen_auf_Basis_von_Ganglinien.pdf [02.01.2019]
- SDH (2012) Solar district heating guidelines - Collection of fact sheets; WP3 – D3.1 & D3.2 https://www.solar-district-heating.eu/wp-content/uploads/2018/06/SDH-Guidelines_update_09.2017.pdf
- Siemens Building technologies (2002) District Heating Training Course. Chapter 4. Mikkeli Polytechnic
- Sunko R., Sunko B., Rutz D., Mergner R., Doczekal C., Pukšec T., Laurberg Jensen L., Redžić E., Gjorgievsk V., Batas Bjelic I. (2017) Guidelines on improved business models and financing schemes of small renewable heating and cooling grids. - https://www.coolheating.eu/images/downloads/CoolHeating_D5.1_Guideline.pdf [16.01.2019]
- Töpfer, Armin (2006): Betriebswirtschaftslehre. Anwendungs- und prozessorientierte Grundlagen. 2. Aufl.: Springer
- Upgrade DH (2018a): Upgrading the performance of district heating networks. Best practice examples on upgrading projects. Hg. v. AGFW - Projektgesellschaft für Rationalisierung, Information und Standardisierung. www.upgrade-dh.eu.
- Upgrade DH (2018b): Data sheets "Upgrading the performance of district heating networks". Best practice examples on upgrading projects. Internal Documentation, Confidential. Hg. v. AGFW - Projektgesellschaft für Rationalisierung, Information und Standardisierung

- Upgrade DH (2018c): Upgrading the performance of district heating networks. Best practice instruments and tools for diagnosing and retrofitting of district heating networks. Hg. v. Soltes - Steinbeis Research Institute for Solar and Sustainable Thermal Energy Systems. Online verfügbar unter www.upgrade-dh.eu, zuletzt geprüft am 26.11.2018.
- Werner S. (2017) International overview of district heating and cooling. – Energy 137 (2017) 617.631; <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.045>
- Wesselak, Viktor; Schabbach, Thomas; Link, Thomas; Fischer, Joachim (2013) Regenerative Energietechnik. – Springer Verlag, Germany
- Wittchen, Kim Bjarne & Kragh, Jesper (2014): "Energy Savings in the Danish building stock until 2050". [http://vbn.aau.dk/en/publications/energy-savings-in-the-danish-building-stock-until-2050\(26e1c67a-ea63-4a0d-bf78-2bbbdb9ddb15\).html](http://vbn.aau.dk/en/publications/energy-savings-in-the-danish-building-stock-until-2050(26e1c67a-ea63-4a0d-bf78-2bbbdb9ddb15).html)
- World Health Organization (2007). "Legionella and the prevention of legionellosis". ISBN 92 4 156297 8; https://www.who.int/water_sanitation_health/emerging/legionella.pdf
- Yang, Xiaochen; et al. (2016). "Energy, economy and exergy evaluations of the solutions for supplying domestic hot water from low-temperature district heating in Denmark". Energy Conversion and Management. 122: 142–152. doi:10.1016/j.enconman.2016.05.057

