



# Mali modularni obnovljivi centralizirani **toplinski** i **rashladni** sustavi

*Priručnik*



- Autori:** Dominik Rutz, Christian Doczekal, Richard Zweiler, Morten Hofmeister, Linn Laurberg Jensen
- Recenzenti:** Rita Mergner, Rainer Janssen, Per Alex Soerensen, Tomislav Pukšec, Neven Duić, Daniel Rolph Schneider, Rok Sunko, Blaž Sunko, Vladimir Gjorgievski, Ljupco Dimov, Nataša Markovska, Nikola Rajaković, Ilija Batas Bjelić, Anes Kazagić, Alma Ademović-Tahirović, Izet Smajević, Slobodan Jerotić, Emir Fejzović, Amra Babić, Milada Mataradžija, Mitja Kolbl
- Prevoditelji:** Tomislav Pukšec, Neven Duić, Daniel Rolph Schneider
- ISBN:** 978-3-936338-43-0
- Prijevod:** Izvorno je ovaj priručnik napisan na engleskom jeziku. Priručnik je također dostupan na sljedećim jezicima: hrvatski, bosanski, makedonski, srpski, slovenski i njemački.
- Objavljeno:** © 2017, WIP Renewable Energies, München, Njemačka
- Izdanje:** 1. izdanje
- Kontakt:** WIP Renewable Energies, Sylvesteinstr. 2, 81369 München, Njemačka  
[Dominik.Rutz@wip-munich.de](mailto:Dominik.Rutz@wip-munich.de), Tel.: +49 89 720 12 739  
[www.wip-munich.de](http://www.wip-munich.de)
- Nacionalni kontakt:** Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10 002, Zagreb, Hrvatska  
[Tomislav.Puksec@fsb.hr](mailto:Tomislav.Puksec@fsb.hr), Tel.: +385 1 6168 242  
<https://www.fsb.unizg.hr/>
- Website:** [www.coolheating.eu](http://www.coolheating.eu)
- Autorsko pravo:** 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:** Odgovornost za sadržaj teksta u priručniku isključivo leži na autorima. Tekst nužno ne odražava mišljenje Europske Unije. Niti INEA niti Europska Komisija nisu odgovorni za korištenje informacija sadržanih u priručniku.

## **Zahvala**

Ovaj priručnik je izrađen u okviru projekta CoolHeating. Autori se zahvaljuju Europskoj Komisiji za podršku koju pruža pri realizaciji ovog projekta. Zbog dopuštenja za korištenje podataka i slika, autori se također zahvaljuju sljedećim tvrtkama i osobama: Wien Energie GmbH (Burkhard Hölzl), DLR (Michael Nast), Steinbeis Forschungsinstitut Solites (Thomas Pauschinger), W.A.S. Wasseraufbereitungssysteme GmbH (Ralf Kotlan).

## Projekt CoolHeating

Trenutno, oko 50 % potrošnje finalne energije u Europi otpada na sektor grijanja i hlađenja. Politike usmjerene na obnovljivu energiju se uglavnom koncentriraju na električnu energiju, dok je pitanje grijanja i hlađenja znatno slabije zastupljeno na ovoj razini. Stoga je potrebno podržati i promovirati koncepte obnovljivog grijanja i hlađenja, što upravo predstavlja suštinu projekta CoolHeating.

Cilj projekta CoolHeating, financiranog od strane EU programa Obzor 2020, je dati podršku razvoju „malih modularnih obnovljivih centraliziranih toplinskih i rashladnih sustava“ u gradovima i općinama u jugoistočnoj Europi. Taj cilj će se ostvariti prijenosom znanja i iskustava te zajedničkim radnjama između država gdje ovakvi sustavi već postoje (Austrija, Danska, Njemačka) te država gdje ovi sustavi još nisu u potpunosti zaživjeli (Hrvatska, Slovenija, Makedonija, Srbija, Bosna i Hercegovina) (Slika 1).

Ključne aktivnosti, uz klasične tehno-ekonomske analize i studije, uključuju mjere koje za cilj imaju poticati interes lokalne zajednice za razvoj obnovljivih mreža centraliziranih toplinskih sustava, kao i izgradnja kapaciteta vezano uz inovativne financijske i poslovne modele. U konačnici, cilj je u 5 ciljanih gradova/regija imati razvijene planove za razvoj malih centraliziranih toplinskih i rashladnih sustava. Ovi projekti će imati dugoročan utjecaj na razvoj „malih modularnih obnovljivih centraliziranih toplinskih i rashladnih sustava“ na nacionalnim razinama u ciljanim državama.

Važan instrument za implementaciju projekta CoolHeating je i ovaj priručnik. Iako su već izrađeni razni materijali s informacijama o malim modularnim centraliziranim toplinskim i rashladnim sustavima, postoji potreba za priručnikom koji sadrži najnovije podatke te koji je besplatno dostupan na nacionalnim jezicima. U mnogim ciljanim državama ovoga projekta, postoji manjak spomenutih podataka na nacionalnom jeziku. Priručnik daje pregled tehničkih, ali isto tako i netehničkih (planiranje) aspekata. Glavne karakteristike različitih izvora topline, poput sunčeve energije, biomase, geotermalne energije i otpadne topline, su prikazane u ovome priručniku te su predstavljene prilike i prednosti za njihovu međusobnu kombinaciju u malim modularnim obnovljivim centraliziranim toplinskim i rashladnim sustavima. U priručniku su također uključeni i sezonski i dnevni spremnici topline, kao i dizalice topline. Prikazani su i posebni aspekti grijanja i hlađenja u malim sustavima.



Slika 1. Države i ciljani gradovi/općine (crvene točke) uključene u projekt CoolHeating

**Konzorcij i lokalni kontakti:**



**WIP Renewable Energies**, koordinator projekta, Njemačka  
Dominik Rutz [Dominik.Rutz@wip-munich.de]  
[www.wip-munich.de](http://www.wip-munich.de)



**PlanEnergi**, Danska  
Morten Hofmeister [mh@planenergi.dk]  
[www.planenergi.dk](http://www.planenergi.dk)



**Güssing Energy Technologies GmbH**, Austrija  
Richard Zweiler [office@get.ac.at]  
[www.get.ac.at](http://www.get.ac.at)



**Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**,  
Hrvatska  
Neven Duić [neven.duic@fsb.hr]  
[www.fsb.unizg.hr](http://www.fsb.unizg.hr)



**Skupina Fabrika d.o.o.**, Slovenija  
Rok Sunko [rok@skupina-fabrika.com]  
[www.skupina-fabrika.com](http://www.skupina-fabrika.com)



**Međunarodni centar za održivi razvoj energetike, voda i okoliša  
– Ured u Makedoniji**, Makedonija  
Natasa Markovska [sdewes.skopje@sdewes.org]  
[www.sdewes.org/macedonian\\_section.php](http://www.sdewes.org/macedonian_section.php)



**Sveučilište u Beogradu, Fakultet elektrotehnike**, Srbija  
Nikola Rajaković [rajakovic@etf.rs]  
[www.etf.bg.ac.rs](http://www.etf.bg.ac.rs)



**JP Elektroprivreda BiH d.d.-Sarajevo**, Bosna i Hercegovina  
Anes Kazagić [a.kazagic@elektroprivreda.ba]  
[www.elektroprivreda.ba](http://www.elektroprivreda.ba)



**Grad Šabac**, Srbija  
Slobodan Jerotić [slobodan.jerotic@sabac.org]  
[www.sabac.org](http://www.sabac.org)



**Općina Visoko**, Bosna i Hercegovina  
Emir Fejzović [ler@visoko.gov.ba]  
[www.visoko.gov.ba](http://www.visoko.gov.ba)



**Općina Ljutomer**, Slovenija  
Mitja Kolbl [mitja.kolbl@ljutomer.si]  
[www.obcinaljutomer.si](http://www.obcinaljutomer.si)

## Sadržaj

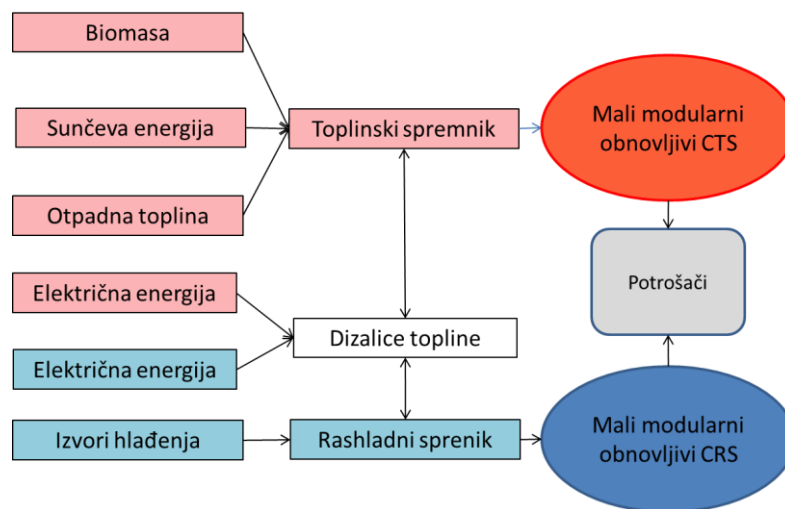
<b>Zahvala</b> .....	<b>2</b>
<b>Projekt CoolHeating</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Uvod</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Osnovno o toplinskoj energiji</b> .....	<b>9</b>
2.1 Mjerne jedinice vezane uz toplinu.....	9
2.2 Kvaliteta topline.....	10
2.3 Korištenje topline.....	10
<b>3 Izvori topline i tehnologije za proizvodnju topline</b> .....	<b>12</b>
3.1 Sustavi sa sunčevim kolektorima.....	12
3.2 Sustavi na biomasu .....	20
3.3 Geotermalna energija.....	35
3.4 Otpadna topline.....	38
3.5 Električni bojleri: pretvorba električne energije u toplinsku.....	39
3.6 Dizalice topline .....	41
3.7 Vršni i zamjenski kotlovi .....	49
<b>4 Tehnologije za pohranu toplinske energije</b> .....	<b>50</b>
4.1 Spremnici za kratkoročnu pohranu .....	52
4.2 Sezonska pohrana .....	54
<b>5 Mali modularni centralizirani toplinski sustavi</b> .....	<b>57</b>
5.1 Veličina sustava .....	57
5.2 Temperature sustava .....	57
5.3 Cijevi .....	61
5.4 Medij za prijenos topline .....	66
5.5 Priključak potrošača .....	69
<b>6 Planiranje malih centraliziranih toplinskih sustava</b> .....	<b>74</b>
6.1 Procjena toplinskih potreba .....	74
6.2 Projektiranje toplovoda .....	77
6.3 Projektiranje postrojenja za proizvodnju topline.....	81
6.4 Potrebe i uzorci ponašanja krajnjih korisnika .....	85
6.5 Ekonomika malih centraliziranih toplinskih sustava .....	87
<b>7 Tehnologije za hlađenje</b> .....	<b>88</b>
7.1 Prirodno hlađenje .....	88
7.2 Kompresijski rashladni uređaji.....	88
7.3 Apsorpcijski hladnjaci .....	89
7.4 Adsorpcijski hladnjaci .....	92
7.5 Rashladni sustavi koji koriste material za sušenje .....	94

<b>8</b>	<b>Tehnologije skladištenja rashladne energije.....</b>	<b>95</b>
<b>9</b>	<b>Integracija sustava hlađenja.....</b>	<b>96</b>
9.1	Hlađenje s centraliziranim toplinskim sustavom.....	96
9.2	Pametni centralizirani rashladni sustavi.....	96
9.3	Odabrani primjeri.....	97
	<b>Skraćenice .....</b>	<b>101</b>
	<b>Mjerne jedinice .....</b>	<b>102</b>
	<b>Reference.....</b>	



## 1 Uvod

Mali modularni obnovljivi centralizirani toplinski (CTS) i rashladni (CRS) sustavi predstavljaju lokalne koncepte za pokrivanje toplinskih potreba kućanstava te malih i srednjih industrija sa obnovljivom toplinskom/rashladnom energijom. U nekim slučajevima, mogu se kombinirati sa velikim centraliziranim toplinskim sustavima, međutim općeniti koncept je da ovi sustavi imaju zasebnu distribucijsku mrežu (toplovod), na koju je priključen manji broj korisnika. Često, ovi koncepti se implementiraju u selima ili malim gradovima. Mogu koristiti razne proizvodne sustave, kao što su sunčevi kolektori, kotlovi na biomasu te otpadna toplina (npr. toplina iz industrijskih procesa ili iz bioplinskog postrojenja, koja se trenutno ne koristi već se gubi u okoliš). Shemu ovih sustava prikazuje Slika 2.



Slika 2. Koncept malih modularnih obnovljivih centraliziranih toplinskih i rashladnih sustava (Izvor: Rutz D.)

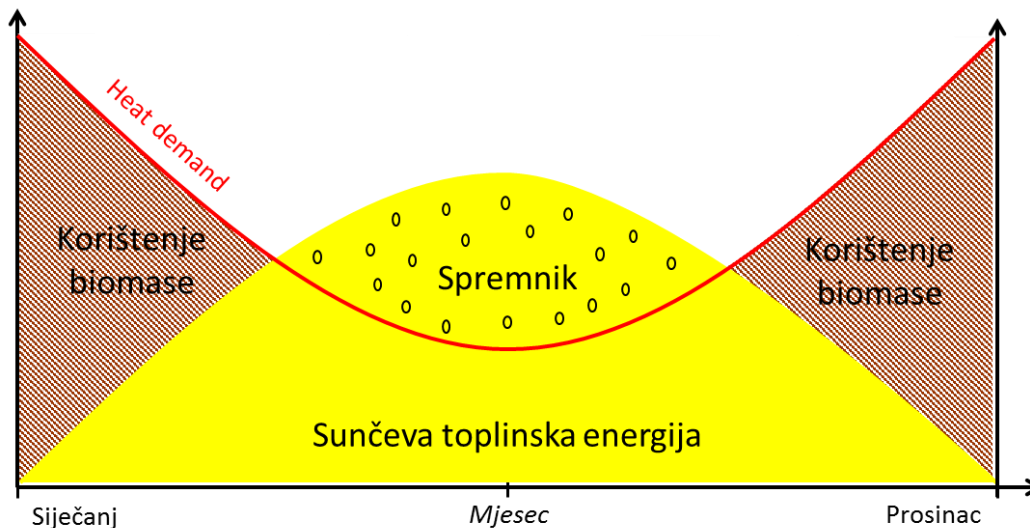
Naročito obećavajući koncept za manja ruralna mjesta predstavlja kombinacija sunčevog grijanja te grijanja na biomasu, zbog doprinosa sigurnosti opskrbe, stabilnosti cijene, razvoju lokalne ekonomije, lokalnom zapošljavanju, itd. S jedne strane, sunčevo grijanje ne zahtjeva kupnju goriva, a s druge strane grijanje na biomasu može skladištiti energiju te ju otpustiti tijekom zime kada je sunčevo zračenje znatno niže. Stoga je potrebno integrirati toplinske spremnike (cilindrični čelični spremnici za kratkotrajno skladištenje te sezonski spremnici za dugotrajno skladištenje). Standardna shema sezonskih potreba i dobave topline kombiniranog malog CTS-a prikazuje Slika 3. Glavne prednosti kombiniranog koncepta (biomasa/sunčeva energija) su:

- Smanjena potreba za biomasom
- Smanjen potrebni kapacitet spremnika topline
- Niske potrebe za održavanjem kotlova na biomasu

Za postizanje još boljih rezultata potrebno je integrirati sektor grijanja i hlađenja sa sektorom električne energije u kojem kontinuirano raste udio intermitentnih obnovljivih izvora energije (fotonaponski paneli, vjetroelektrane). Korištenjem tehnologija poput električnih bojlera i dizalica topline se u tom slučaju dodatno pomaže balansiranju elektroenergetske mreže.

Ukoliko se proces planiranja provede na održiv način, mali modularni centralizirani toplinski i rashladni sustavi imaju tu prednost da se na početku projekta može izgraditi samo dio sustava, a dodatni korisnici, kao i izvori topline se mogu priključiti naknadno. Ova modularnost zahtjeva pažljivo i detaljno planiranje te odgovarajuće dimenzioniranje opreme (npr. cijevi). Na taj način se smanjuje početna investicija te projekt može stabilno rasti.

Uz male CTS, mali CRS također predstavljaju važnu tehnologiju s velikim brojem prednosti. S obzirom na globalno zagrijavanje, temperatura zraka kontinuirano raste čime raste i potreba za hlađenjem, naročito u južnoj Europi gdje se nalaze ciljane države ovoga projekta. U usporedbi sa konvencionalnim klima uređajima koji troše veliku količinu energije, CRS predstavljaju dobru i održivu alternativu, naročito za veće komplekse zgrada. Projekt CoolHeating se bavi kako centraliziranim toplinskim sustavima, tako i centraliziranim rashladnim sustavima u pogledu planiranja.



**Slika 3. Shema sezonskih toplinskih potreba te dobave topline iz sunčevih sustava te sustava na biomasu u Europi (Izvor: Rutz D.)**

Države u južnoj Europi koje imaju visoke razine sunčevog zračenja, predstavljaju izvrstan primjer jednolikih potreba za grijanjem i hlađenjem. Planiranjem kombinacije malih centraliziranih toplinskih i rashladnih sustava se ostvaruje smanjenje troškova i obujma posla, čak i kada neki korisnici imaju potrebe samo za hlađenjem ili samo za grijanjem. Stoga se također ostvaruju tehničke sinergije (cijevi, korištenje dizalica topline). U sklopu projekta CoolHeating će se razviti poslovni modeli za ciljane gradove/općine sa sljedećim karakteristikama:

- Korištenje sezonskih spremnika topline
- Korištenje dnevnih spremnika topline
- Korištenje obnovljivih izvora energije (npr. sunčevi kolektori u kombinaciji sa kotlom na biomasu)
- Korištenje apsorpcijskih dizalica topline za hlađenje
- Iskorištavanje otpadne topline iz apsorpcijskih uređaja (npr. za pripremu potrošne tople vode)

Mali modularni centralizirani toplinski/rashladni sustavi imaju razne prednosti. Doprinosu rastu lokalne ekonomije zbog lokalne dobave biomase. Potiče se lokalno zapošljavanje, a također raste i sigurnost dobave. Komfor priključenih korisnika je znatno veći s obzirom da je potrebno instalirati samo izmjenjivač topline u podrumu zgrade te nije potrebno organizirati kupnju goriva. Zbog svih ovih prednosti, cilj projekta CoolHeating je podržati implementaciju malih modularnih obnovljivih centraliziranih toplinskih i rashladnih sustava u gradovima i općinama u jugoistočnoj Europi.

## 2 Osnovno o toplinskoj energiji<sup>1</sup>

Toplina se u **termodinamici** definira kao energija koja se prenosi iz jednog sustava u drugi putem toplinskih interakcija. Toplina nije veličina stanja, kao što su to npr. temperatura ili volumen, nego je veličina procesa, što znači da je funkcija načina prijelaza sustava iz jednog stanja u drugo. Dakle, toplinom se opisuje prelazak sustava iz jednog stanja ravnoteže u drugo stanje ravnoteže. Svaki sustav se karakterizira određenim granicama sustava. Toplina uvijek spontano prelazi iz sustava više temperature na sustav niže temperature. U termodinamici se vrlo često koriste i termini „toplinski tok“ i „prijelaz topline“. Prijelaz topline se može odviti kondukcijom, zračenjem, konvekcijom, prijenosom mase i kemijskim reakcijama. S druge strane, **hlađenje** je usluga dobavljanja niskotemperaturnog medija korisniku, pri čemu se energija (toplina) prenosi na neki drugi medij. Stoga se hlađenje uvijek veže uz prijenos topline.

Potrebno je razlikovati osjetnu toplinu i latentnu toplinu. Osjetna toplina se može izravno mjeriti promjenom temperature. S druge strane, latentna toplina je ona energija koja se oslobodi ili apsorbira od strane nekog tijela ili termodinamičkog sustava tijekom procesa koji se odvija bez mjerljive promjene temperature. Tipičan primjer je promjena stanja tvari, kao što je prelazak vode iz krutog stanja (led) u kapljevito stanje (voda).

U CTS, toplina se može karakterizirati određenim volumenom vode koji ima određenu temperaturu te se prenosi cijevima do krajnjeg korisnika. Tu toplinu mogu koristiti krajnji korisnici čime se temperatura vode smanjuje na nižu razinu.

### 2.1 Mjerne jedinice vezane uz toplinu

Simbol koji se koristi za toplinu je **Q**, a SI jedinica je **džul (J)**. Također se često znaju koristiti i sljedeće jedinice: British Thermal Unit (BTU), tona ekvivalentne nafte (toe) te kalorije. Simbol za toplinski tok je **Q̇** dok je SI jedinica **vat (W)**, koja predstavlja džule po sekundi. Vat je najčešće korištena jedinica u području centraliziranih toplinskih i rashladnih sustava.

- 1 J = 1 Ws = 1/3 600 Wh
- 1 Wh = 3 600 Ws = 3 600 J
- 1 toe = 11 630 kWh = 41,87 GJ
- 1 BTU = 1 055 J

Ukupna snaga toplinskog sustava se najčešće izražava u **kW** ili MW (kilovat ili megavat). Ukoliko je proizvodno postrojenje kogeneracijsko (engl. Combined heat and power – CHP), električna snaga postrojenja se izražava u **kW<sub>el</sub>**, dok se toplinska snaga izražava u **kW<sub>th</sub>**. Proizvedena energija se izražava u **kWh** ili MWh (kilovatsati ili megavatsati). Stvarno proizvedena energija na godišnjoj razini se izražava u **kWh/god** (kilovatsati po godini). Ovo je temeljeno na broju sati u jednoj godini koji iznosi **8 760**. Za male CTS, najčešće se koriste prefiksi kilo (10<sup>3</sup>), mega (10<sup>6</sup>) i giga (10<sup>9</sup>).

Toplina se može izmjeriti pomoću **kalorimetra** ili se može **izračunati** korištenjem drugih veličina kao što su volumen, masa, temperatura te toplinski kapacitet. Kada se toplina koristi za namjene kao što je grijanje kućanstava, najčešće se koriste **uređaji za mjerenje topline**. Radi se o uređajima koji mjere toplinu iz izvora (npr. bioplinско CHP postrojenje) na način da izmjere protok medija za prijenos topline (npr. vode) te promjenu temperature medija ( $\Delta T$ ) između polazne i povratne cijevi.

Vrlo važan parametar za CHP postrojenja je odnos instalirane električne i toplinske snage (engl. **power-to-heat ratio** definiran u Direktivi 2004/8/EC). Ukoliko se radi o visokom broju, to znači da je električna snaga postrojenja visoka. Najčešće se vrijednosti ovoga parametra

<sup>1</sup> Ovo poglavlje se temelji na Rutz et al. 2015

kreću između 0,4 i 0,9, dok za sustave koji koriste biomasu, ovaj parametar poprima niže vrijednosti.

## 2.2 Kvaliteta topline

Osim količine energije (kvantiteta), bitan parametar prilikom korištenja topline je i kvaliteta energije. Mogućnost prijelaza jednog oblika energije u drugi oblik je jedan od važnih parametara koji opisuju kvalitetu energije. Općenito, električna energija se smatra kvalitetnijim oblikom energije od topline jer je električnu energiju moguće jednostavno prenijeti te koristiti za različite svrhe kao što su pretvorba u mehaničku energiju, toplinu, itd.

U termodinamici se često koristi izraz eksergija. On opisuje maksimalni rad sustava, ukoliko je sustav u ravnoteži sa okolišem.

Nadalje, toplina se karakterizira **temperaturnom razinom** te **količinom**. Općenito, može se reći da što je veća temperatura i količina energije (entropija), postoji više mogućnosti za njeno korištenje. Primjeri minimalnih temperatura za korištenje u različitim namjenama:

- Opskrba toplom vodom: 50-80°C
- Grijanje kućanstava: 50-80°C
- **Rankineov ciklus** (ORC, CRC): 60-565°C
- **Sušači** za poljoprivredne proizvode: 60-150°C

Poanta modernih malih CTS-a nije samo da budu obnovljivi nego i da uzmu u obzir eksergiju izvora topline. Stoga je nužno optimirati kvalitetu topline te ju prilagoditi postojećim toplinskim potrebama. Visokotemperaturna toplina bi se trebala koristiti u procesima više vrijednosti, poput proizvodnje električne energije te industrijskim procesima. Otpadna niskotemperaturna toplina iz industrije ili proizvodnje električne energije se zatim može koristiti za grijanje i pripremu potrošne tople vode (PTV). Također, na povratni vod ovih sustava (u kombinaciji sa korištenjem dizalica topline) se mogu spojiti nisko energetske zgrade. Ovi takozvani kaskadni sustavi povećavaju održivost obnovljivih malih CTS-a. Ovaj koncept (engl. „**LowEx heating grids**“) je opisan u Von Hertle et al. (2015).

## 2.3 Korištenje topline

Toplina se koristi u razne svrhe. Toplina koja se distribuira u CTS se primarno koristi za grijanje prostora te pripremu PTV-a u zgradama (privatna kućanstva ili javne zgrade). Primjer toplinskih potreba privatnih kućanstava prikazuje Prozor 1.

Osim grijanja zgrada, toplina iz CTS-a se može koristiti i u industriji i raznim tvrtkama. Međutim, često su za tu namjenu potrebne više temperaturne razine od onih u distribucijskoj mreži CTS-a. Industrijska postrojenja također mogu biti i proizvođači topline. Otpadna toplina iz industrijskih postrojenja, koja se ne koristi u industrijskim procesima, može se dobavljati u mrežu CTS-a. To znači da ovisno o vrsti proizvodnog procesa, industrije mogu biti korisnici, proizvođači ili korisnici/proizvođači (engl. prosumer od riječi proizvesti – „produce“ i koristiti - „consume“).

**Prozor 1. Toplinske potrebe po osobi u kućanstvu.**

Sljedeći primjer prikazuje prosječnu neto potrošnju energije po osobi u Njemačkoj (temeljeno na Paeger 2012; Rutz et al. 2015):

- Neto potrošnja energije za grijanje i pripremu PTV-a po osobi u kućanstvima:  
20,2 kWh/dan ili 7 373 kWh/god
- Neto potrošnja energije za grijanje po osobi u kućanstvima:  
17 kWh/dan ili 6 205 kWh/god
- Neto potrošnja energije za grijanje po osobi u kućanstvima (po m<sup>2</sup> površine):  
155 kWh/god/m<sup>2</sup>
- Neto potrošnja energije za pripremu PTV-a po osobi u kućanstvima:  
3,2 kWh/dan ili 1 168 kWh/god

### 3 Izvori topline i tehnologije za proizvodnju topline

Trenutno postoje već dovoljno razvijene i komercijalno isplative tehnologije za proizvodnju topline u malim modularnim obnovljivim CTS. Najvažniji izvori topline za ove sustave su sunčeva energija, biomasa te geotermalna energija. Naročito zanimljiva opcija je korištenje otpadne topline iz raznih procesa (bioplinska postrojenja, razne industrije, itd.), koja se trenutno ispušta u okoliš. Proizvodnja topline iz električne energije također sve više dobiva na značaju. Ova tehnologija je vrlo zanimljiva u pogledu iskorištavanja viška električne energije koji se javlja zbog sve većeg udjela intermitentnih OIE u proizvodnji električne energije. Pri tome je vrlo zanimljiva tehnologija korištenje dizalica topline koje iskorištavaju razne niskotemperaturne izvore topline te im podižu temperaturnu razinu. Često se u pametne toplinske sustave integriraju vršni kotlovi kako bi cijeli projekt bio financijski isplativ s obzirom da su investicijski troškovi spomenute opreme (plinski kotlovi ili kotlovi na lož ulje) niski.

#### 3.1 Sustavi sa sunčevim kolektorima<sup>2</sup>

Korištenje sunčeve energije za zagrijavanje vode je poznata tehnologija koja se koristi već mnogo godina. Trenutno postoji više od 580 000 000 m<sup>2</sup> instaliranih sunčevih kolektora na svijetu, s ukupnom instaliranom snagom 410 GW<sub>th</sub>.

Dozračena energija sunca izvan zemljine atmosfere iznosi 1 367 W/m<sup>2</sup>. Na zemljinoj površini je taj iznos manji te iznosi oko 1 000 W/m<sup>2</sup>. Dozračena energija je veća na ekvatoru, a manja što je lokacija sjevernije ili južnije od ekvatora. Efekt sunčevog zračenja je veći okomito na smjer zračenja. Stoga je sunčeve kolektore potrebno postaviti pod kutom od približno 30° – 40°.

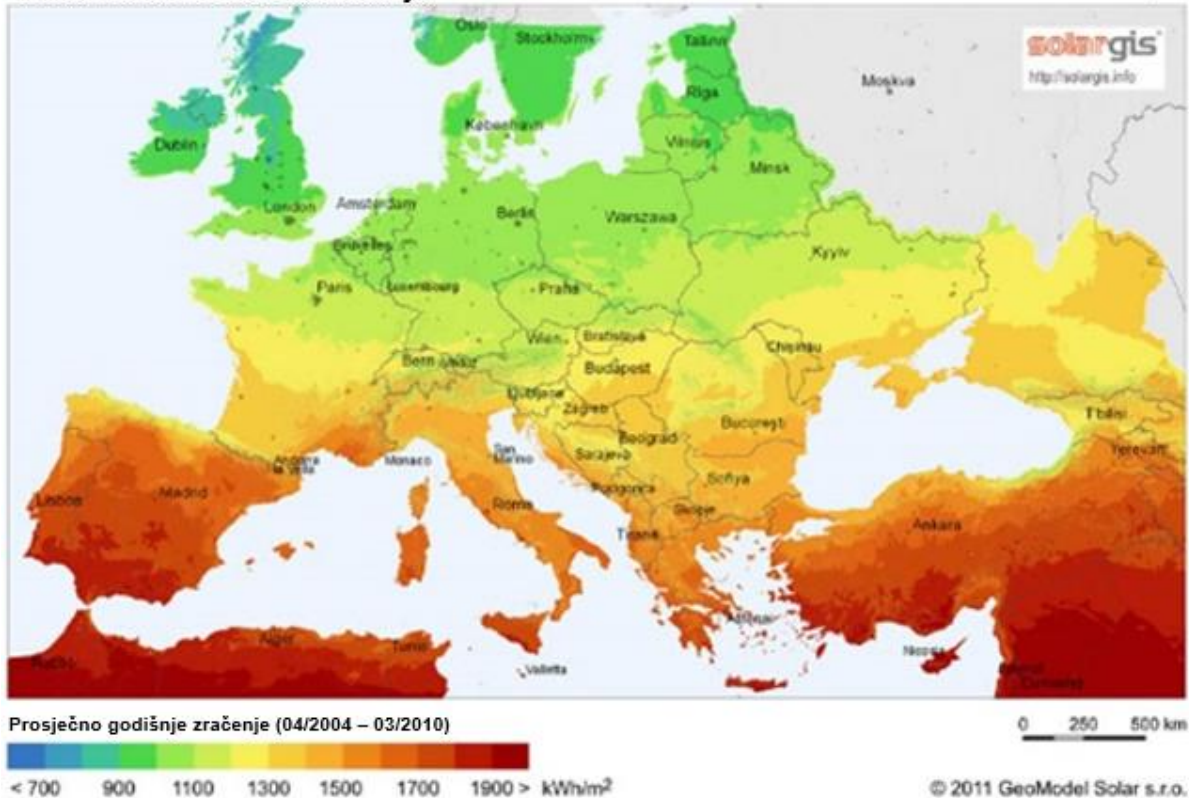
Tehnologije korištene za sunčevo grijanje se mogu jednostavno kombinirati sa ostalim tehnologijama. Nadalje, moguće ih je modularno širiti čime se omogućuje postavljanje kolektora bilo kojih snaga. Važan dio tehnologije predstavljaju toplinski spremnici koji služe za balansiranje varijacija u proizvodnji topline iz kolektora. Toplina iz sunčevih kolektora može pokriti 20-25% toplinskih potreba na godišnjoj razini, ukoliko se koristi spremnik topline (podaci za danske klimatske uvjete, tj. postojeće projekte u Danskoj). Korištenjem sezonskog toplinskog spremnika, može se osigurati pokrivanje čak 80-100% toplinskih potreba iz sunčevih kolektora. Ovo će biti dodatno opisano u poglavlju 4.2.

Najveći problem kod sunčevog grijanja je činjenica da se u ovim sustavima najviše topline proizvodi ljeti i tijekom dana, kada su toplinske potrebe najmanje kako na dnevnoj, tako i na sezonskoj bazi. Udio sunčevog grijanja u CTS kada ne postoji toplinski spremnik je relativno nizak (5-8% godišnjih toplinskih potreba). Najčešće se uz sunčevo grijanje koriste dnevni toplinski spremnici, koji omogućuju udio sunčevog grijanja u CTS-u od 20-25%. Kombinacijom sa sezonskim toplinskim spremnicima se može povisiti udio sunčevog grijanja u CTS na 30-50%, a u teoriji i do 100%. Stoga je očito da je potrebna sinergija sa sezonskim toplinskim spremnicima.

<sup>2</sup> Ovo poglavlje se temelji na: [www.Task45.iea-shc.org](http://www.Task45.iea-shc.org), Podaci o specifičnim postrojenjima: [www.solvarmedata.dk](http://www.solvarmedata.dk) i [www.solarheatdata.eu](http://www.solarheatdata.eu), dobavljač sunčevih kolektora: [www.arcon.dk](http://www.arcon.dk)

## Globalno horizontalno zračenje

## Europe



Slika 4. Karta dozračene sunčeve energije u Europi: karta globalnog horizontalnog zračenja Europe (Izvor: SolarGIS © 2011 GeoModel Solar s.r.o.<sup>3</sup>)

### 3.1.1 Tehnologije za sunčevo grijanje

Sunčevo grijanje se koristi za grijanje prostora, kao i za pripremu PTV-a. Voda se tipično zagrijava u nizu sunčevih kolektora. U CTS, kolektori se često postavljaju na zemlji spojeni u dugačke serije (Slika 7, Slika 8). U manjim sustavima, kolektori se također postavljaju i na krovove zgrada (Slika 9, desno).

Postoje različite vrste sunčevih kolektora, kao što prikazuje Slika 5. U malim sunčevim CTS, uglavnom se koriste pločasti i vakuumski sunčevi kolektori.

Najčešće korištena vrsta sunčevih kolektora su **pločasti kolektori** (Slika 8), koji postoje u raznim oblicima. Sastoje se od tamnog pločastog apsorbera koji može biti izrađen od toplinski stabilnih polimera, aluminija, čelika ili bakra na koje se nanosi mat crni ili selektivni sloj. Kao podloga apsorberu služi mreža ili svitak cijevi koji se nalaze u kućištu koje je izolirano staklom ili polimernim pokrovom. U cijevima, medij za prijenos topline (zrak, antifriz ili voda) odvodi toplinu iz apsorbera na ciklus zagrijavanja. Apсорber se najčešće postavlja u izolirano kućište s prozirnim staklenim ili polimernim pokrovom koji smanjuje gubitke topline. Također postoje i kolektori bez glazure no oni se najčešće ne postavljaju u sunčeve CTS. Stražnji dio je također izoliran čime se smanjuju gubici topline kroz stražnji dio kolektora.

**Vakuumski kolektori** (Slika 7) se sastoje od staklenih vakuumiranih cijevi koje su spojene u kolektor. Staklena cijev je vakuumirana na tlak  $10^{-2}$  do  $10^{-6}$  bar kako bi se minimizirali toplinski gubici. Većina vakuumskih kolektora je vakuumirana na tlak  $10^{-5}$  bar (Metz et al. 2012). Postoje razne vrste vakuumskih kolektora. Dva glavna principa su:

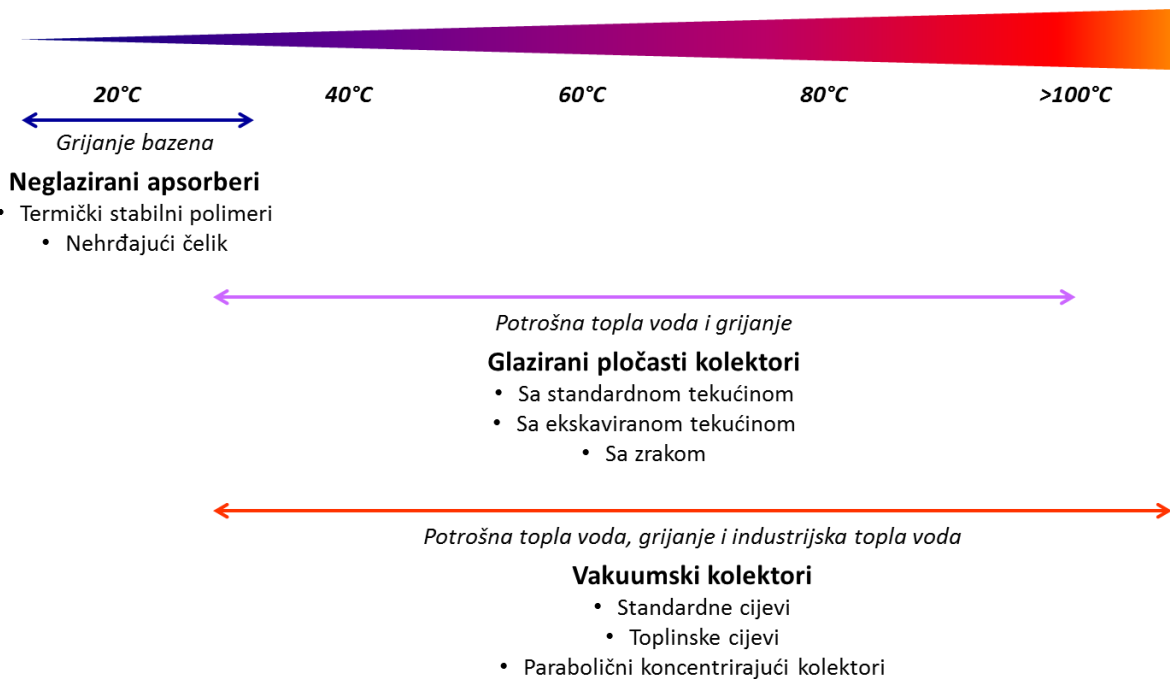
- **Cijevi sa izravnim tokom:** cijevi kroz koje medij prolazi direktno bez isparavanja
- **“Heat pipe” cijevi:** cijevi u kojima medij isparava u apsorberu

<sup>3</sup> <https://earsc-portal.eu/pages/viewpage.action?pageId=16548947>

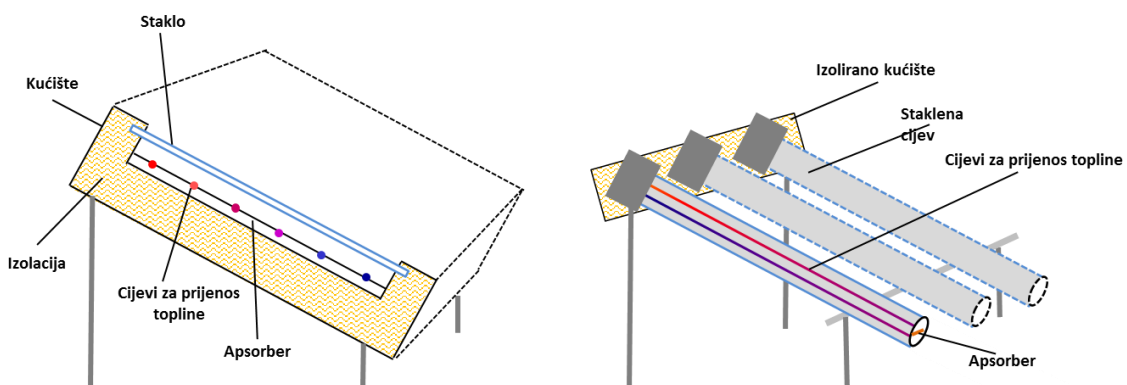
Cijevi sa izravnim tokom se mogu klasificirati u dvije kategorije. Mogu se sastojati od jedne vakuumirane staklene cijevi u kojoj se apsorberska ploča spaja na cijev kroz koju struji medij za prijenos topline. Druga kategorija je takozvana „Sydney“ cijev, koja predstavlja dvostruku staklenu cijev (poput vakuumirane boce). Unutarnja cijev je obložena kako bi mogla djelovati kao apsorber, a bakrena U cijev preuzima toplinu iz spomenutog apsorbera.

Vakuumske cijevi također mogu biti opremljene složenim paraboličnim koncentrirajućim kolektorom (engl. Compound Parabolic Concentrator - CPC), koji se nalazi ispod cijevi kako bi se omogućilo iskorištavanje topline koja se izmjenjuje zračenjem između cijevi.

Postoji velik broj dobavljača sunčevih kolektora za europsko tržište. Sunčevi kolektori predstavljaju dokazanu tehnologiju koja se već može koristiti u velikim sustavima, čime se dodatno smanjuju investicijski troškovi te povećava financijska isplativost ovih sustava.



Slika 5. Vrste apsorbera i sunčevih kolektora, ovisno o temperaturnoj razini (Izvor: Rutz D.)



Slika 6. Način rada pločastog kolektora (lijevo) i vakuumskog kolektora (desno) (Izvor: Rutz D.)





Slika 7. Vakuumski kolektori postavljeni na zemlju (lijevo) koji su dio CTS-a u Büsingenu u Njemačkoj te uzorak ove vrste kolektora (desno) koji prikazuje U cijev u desnoj cijevi, kao i složeni parabolni koncentrirajući kolektor (engl. Compound Parabolic Concentrator - CPC) (Izvor: Rutz D.)



Slika 8. Pločasti kolektori postavljeni na zemlju koji su dio CTS-a u Gramu u Danskoj (Izvor: Rutz D.)



Slika 9. Probno postrojenje koje koristi parabolni kolektore (lijevo) te sunčevi kolektori postavljeni na krov zgrade kao dio malog CTS-a u Bad Aiblingu u Njemačkoj (Izvor: Rutz D.)

**Prozor 2. Koje su glavne prednosti i nedostaci vakuumskih kolektora u odnosu na pločaste kolektore? (temeljeno na Metz et al., 2012)**

*Prednosti*

- Iskoristivost je veća na nižim temperaturama okoliša i pri slabijem sunčevom zračenju (tijekom zime)
- Iskoristivost je veća u uvjetima veće temperaturne razlike između apsorbira i okoliša (tijekom ljeta)
- Na istoj površini vakuumski kolektori proizvode 30 % više topline
- Moguće je postići više temperature čime se povećava eksergija
- Ukoliko je kolektor potrebno postaviti u nekom drugom smjeru, a ne na zapad, smanjena dozračena energija se može nadomjestiti aksijalnim zakretanjem cijevi ili korištenjem CPS-a
- Kompatibilni su sa sustavima u kojima se kao medij za prijenos topline koristi samo voda

*Nedostaci*

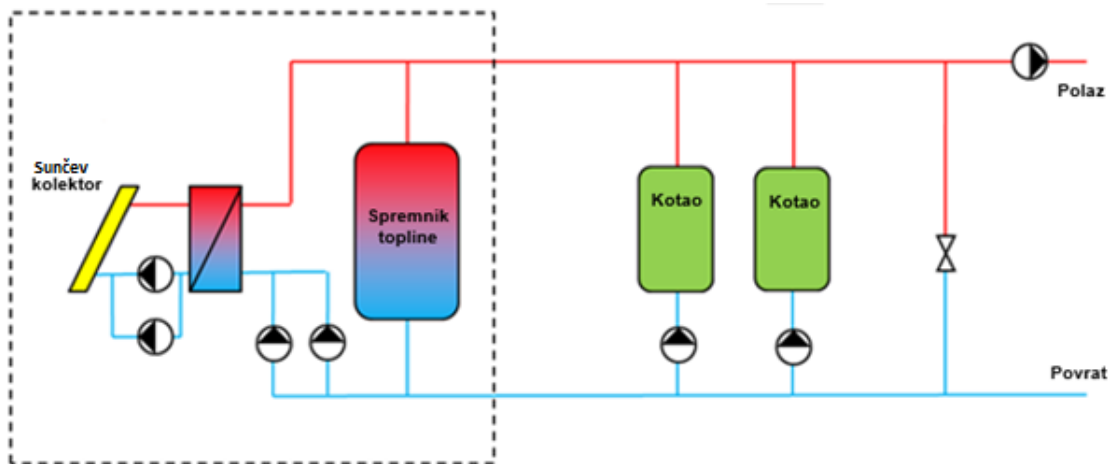
- Viša cijena
- Omjer troškova i učinka je relativno loš
- Sustav mora biti sposoban tolerirati veće temperature stagnacije

Osim pločastih i vakuumskih kolektora, za male CTS se mogu koristiti i **parabolični kolektori** (Slika 9, lijevo). Međutim, ovakvi kolektori se uglavnom koriste za tzv. postrojenja sa koncentriranom sunčevom snagom (CSP), koja proizvode električnu energiju zbog vrlo visokih temperatura u sustavu. Ekonomska isplativost paraboličnih kolektora ovisi o potrebi za visokim temperaturama, npr. kako bi se koristili za proizvodnju električne energije ili za potrebe industrije

Svrha sunčevih panela u CTS je da apsorbira sunčevu energiju u **medij za prijenos topline** (npr. glikol, voda). Ta se toplina zatim predaje vodi koja se koristi u CTS (putem izmjenjivača topline) ili toplinskom spremniku (Slika 10). Medij za prijenos topline je uglavnom voda kojoj se dodaje glikol kako bi se spriječilo zamrzavanje.

Voda bi se trebala koristiti kao medij za prijenos topline kada god je to moguće s obzirom da ima bolje karakteristike u ekonomskom smislu, kao i u fizikalnom (toplinskom) smislu. Međutim, ovisno o klimatskoj zoni te o mogućnosti zamrzavanja, često je potrebno koristiti mješavinu propilen glikola i vode. S obzirom da više koncentracije glikola rezultiraju lošijim svojstvima medija u pogledu specifične topline i prijenosa topline, preporuča se korištenje najniže koncentracije glikola koja sprečava zamrzavanje. Ukoliko se temperatura medija približi točki zamrzavanja, moguće je pokrenuti pumpu kruga sunčevih kolektora kako bi se medij zagrijao. Ovim pristupom se dodatno komplicira upravljanje sustavom te se zahtijevaju dodatni senzori temperature, međutim učinak sunčevih kolektora može biti znatno viši na godišnjoj razini. (Bava et al., 2015)

U nekim postrojenjima se može koristiti voda čak i ako se postrojenje nalazi na lokaciji gdje je česta pojava zamrzavanja zbog npr. zaštite površinskih voda. U slučajevima niske temperature, voda u kolektorima se mora lagano zagrijati sa povratom iz CTS-a kako ne bi došlo do oštećenja uzrokovanih zamrzavanjem. Primjer ovakvog sustava je CTS sa sunčevim kolektorima u Büsingenu u Njemačkoj.



Slika 10. Shema CTS-a sa sunčevim kolektorima (Izvor: PlanEnergi)

Sunčevi kolektori se mogu postaviti na krovove objekata kao što su kuće ili višestambene zgrade, tj. mogu se postaviti kao individualni sustavi. Međutim, kolektori se također mogu postaviti i na zemlju te tada mogu biti znatno veći sustav. Većina velikih postrojenja sunčevog grijanja ima kolektore postavljene na zemlju. Temelji za kolektore postavljene na zemlji mogu biti betonski blokovi, betonski temelji ili čelični temelji zabijeni u zemlju.

Dobro postavljeni sunčevi kolektori mogu raditi čak i kada je vanjska temperatura izrazito niska. Takvi sustavi su i zaštićeni od pregrijavanja tijekom vrućih, sunčanih dana. CTS koji sadrže sunčeve kolektore uglavnom moraju imati i druge proizvodne jedinice kako bi osigurali kontinuiranu dobavu topline kada je sunčevo zračenje slabo.

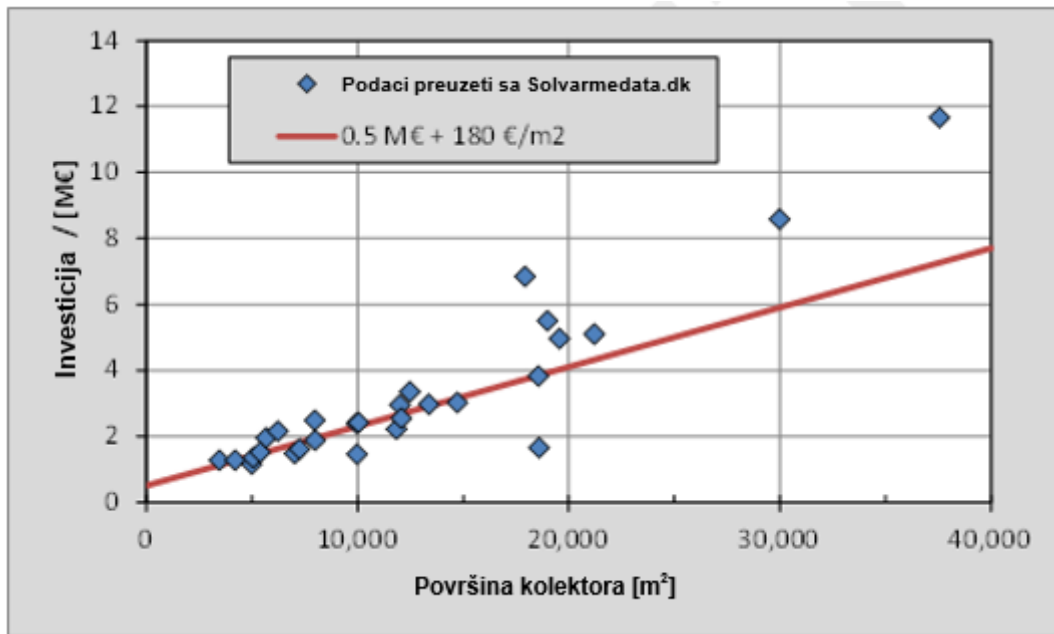
### 3.1.2 Tržište i iskustva od postojećih CTS-a sa sunčevim kolektorima

Prikaz najvećih CTS-a sa sunčevim kolektorima na svijetu se može vidjeti na: [www.solarthermalworld.org](http://www.solarthermalworld.org). Zbog većeg tržišnog udjela te važnosti Danske u ovome sektoru, sljedeći paragrafi daju pregled rezultata iz Danske.

Razvoj postrojenja sa sunčevim kolektorima i ukupnu površinu kolektora prikazuje Slika 12. Trend prikazuje da nova postrojenja imaju veću instaliranu snagu te sadrže sezonske toplinske spremnike. Trenutno (kraj 2016.) u Danskoj postoji više od 1 000 000 m<sup>2</sup> sunčevih kolektora koji imaju površinu veću od 1 000 m<sup>2</sup>. Ovo prikazuje značajan porast u odnosu na stanje u 2009. godini kada je spomenuta površina iznosila manje od 100 000 m<sup>2</sup>.

Online karta koja prikazuje CTS sa sunčevim kolektorima u Danskoj se može naći na: [www.solvarmedata.dk](http://www.solvarmedata.dk). Karta je interaktivna te uključuje detaljne podatke o prikazanim postrojenjima. Karta prikazuje više od 125 postrojenja koji imaju površinu instaliranih kolektora veću od 1 000 000 m<sup>2</sup>.

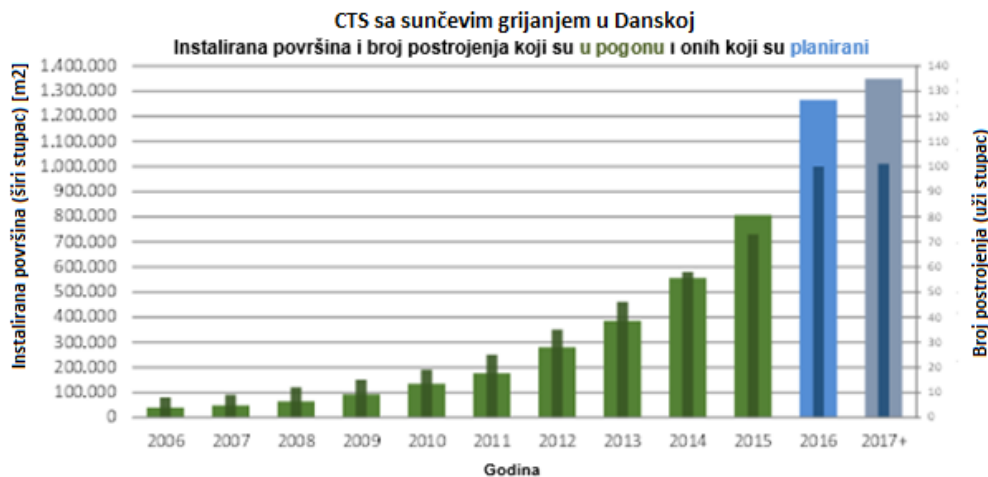
Investicijske troškove za sunčeve kolektore u Danskoj prikazuje Slika 11. Postrojenje u gornjem desnom kutu dijagrama je "Dronninglund" u kojem je instalirano 37 573 m<sup>2</sup> sunčevih kolektora i sezonski toplinski spremnik. Investicija za spremnik je iznosila 2 400 000 € (vidi poglavlje o sezonskim toplinskim spremnicima) što odgovara odstupanju od prosječne cijene (crvena linija).



Slika 11. Investicija za postrojenje sa sunčevim kolektorima u Danskoj (Izvor: PlanEnergi)

Ovaj rast broja sustava sa sunčevim kolektorima u Danskoj je doveo do razvoja u sljedećim područjima:

- **Veći broj dobavljača i proizvođača:** Uključeni su u projekte, razvijaju nove tehnologije te na taj način raste konkurencija: npr. Arcon-Sunmark, Viessmann, KBB, Clipsol, Savo Solar, Greenonotech.
- **Hibridni sustavi:** Mali CTS često uključuju više tehnologija. Naročito se koristi kombinacija sunčevog grijanja i biomase (drvena sječka i slama). U obzir se uzimaju i mjere energetske ušteda.
- **Toplinski spremnici:** U velikim sustavima sa sunčevim kolektorima često se implementiraju sezonski toplinski spremnici. Ovi spremnici mogu skladištiti količinu energije koja odgovara do 80 % godišnjih toplinskih potreba.
- **Postrojenja sa sunčevim kolektorima za velike gradove:** Trenutno se planiraju ili grade neka nova postrojenja sa sunčevim kolektorima za velike gradove, npr. Graz u Austriji (265 000 stanovnika, 450 000 m<sup>2</sup> sunčevih kolektora, 1 800 000 m<sup>3</sup> toplinskog spremnika) ili Beograd u Srbiji (trenutno u razmatranju).
- **Postrojenja sa sunčevim kolektorima s visokim temperaturama:** Određeni broj postrojenja radi sa višim temperaturama kako bi dobavljali toplinu industrijskim postrojenjima ili postojećim CTS. Neki primjeri koriste proizvedenu toplinu za proizvodnju električne energije (npr. CSP i ORC)



**Slika 12. CTS sa sunčevim kolektorima u Danskoj - instalirani (do 2015.) i planirani (Izvor: PlanEnergi)**

Razvoj postrojenja sa sunčevim kolektorima prikazuje da je korištenje sunčevih kolektora u CTS dokazana tehnologija sa dugačkim životnim vijekom. Ova tehnologija trenutno dostiže fazu konkurentnosti u primijeni u velikim postrojenjima kada se kombinira s ostalim tehnologijama, uključujući sezonske toplinske spremnike. Glavne **prednosti** CTS-a sa sunčevim kolektorima jesu:

- Jednostavna, robusna i dokazana tehnologija; 100 CTS-a u Danskoj koriste sunčeve kolektore za proizvodnju topline.
- Dugačak životni vijek postrojenja od najmanje 25-30 godina. Nova postrojenja će imati čak i dulji životni vijek.
- Niski troškovi održavanja. Temeljeno na postojećim postrojenjima, isti iznose oko 0,7 €/MWh proizvedene topline.
- Niska potrošnja električne energije (3-4 kWh/MWh proizvedene topline iz sunčevih kolektora).
- Nije potrebno stalno prisustvo osoblja.
- Cijena proizvedene topline nije ovisna o promjenjivim cijenama goriva.
- Izvor energije ne uzrokuje emisije CO<sub>2</sub>.
- Visoka količina proizvedene energije u odnosu na potrebnu površinu (u usporedbi sa biomasom).
- Nakon uklanjanja sunčevih kolektora sa zemlje, ostaje nizak ili nikakav utjecaj na zemlju te je lagano prenamijeniti zemljište
- 98% postrojenja se može reciklirati.

Glavni **nedostaci** CTS-a sa sunčevim kolektorima jesu:

- Proizvodnja topline ovisi o količini sunčeva zračenja te o vremenskim uvjetima.
- Ljetno opterećenje sustava određuje instaliranu snagu ukoliko je postavljen samo dnevni toplinski spremnik.
- Proizvodi 80% topline u periodu od travnja do rujna, kada je potreba za toplinom najniža. Ovaj problem se može riješiti korištenjem sezonskog toplinskog spremnika.
- U usporedbi sa ostalim tehnologijama za CTS poput kotlova ili dizalica topline, sunčevi kolektori postavljeni na zemlju zahtijevaju veliku površinu, otprilike 2,5 m<sup>2</sup> zemlje za 2 m<sup>2</sup> sunčevih kolektora. Lokacija bi trebala biti blizu distribucijske mreže CTS-a iako se

ovaj problem može riješiti postavljanjem magistralnog cjevovoda. Međutim, to zahtjeva dodatne troškove.

- Visoki početni investicijski troškovi po MW. Međutim, s amortizacijskim periodom 15-20 godina, cijena proizvedene topline konkurira cijeni iz npr. CTS koji koristi biomasu.

Detaljne smjernice za CTS sa sunčevim kolektorima su razrađene u sklopu projekta IEA SHC Zadatak 45<sup>4</sup>. Dostupne su općenite informacije i tehnički podaci u kojima se opisuju zahtjevi i smjernice za sunčeve kolektore te podaci o sezonskim toplinskim spremnicima.

### 3.2 Sustavi na biomasu

Biomasa je organska tvar koja nastaje iz živih (biljni materijal, ljudi, životinje i njihove izlučine) organizama ili nedavno uginulih organizama. Također se u to mogu svrstati i sekundarni proizvodi iz biomase kao što su bio-otpad, papir, drveni proizvodi, itd. Primarna organska tvar se proizvodi fotosintezom biljaka koje uzimaju CO<sub>2</sub> iz atmosfere, vodu i energiju iz sunčeve svjetlosti te stvaraju spojeve na bazi ugljika (vidi Prozor 3). Ti spojevi na bazi ugljika sadrže pohranjenu energiju sunca koja se može ponovno osloboditi izgaranjem.

#### Prozor 3. Zašto je biomasa obnovljiva? (Dimitriou & Rutz 2015)

Glavni staklenički plin koji se stvara u procesu izgaranja je **ugljkov dioksid** (CO<sub>2</sub>), koji je glavni razlog za povišenu temperaturu na globalnoj razini. Ugljikov dioksid se proizvodi tijekom izgaranja fosilnih goriva (npr. lignit, ugljen, nafta, prirodni plin), ali isto tako i biomase. Međutim, razlika je u tome što biomasa uzima **CO<sub>2</sub>** iz atmosfere tijekom svojeg rasta (fotosinteza). Također, korištenjem brzo rastućih nasada, biljke uklanjaju CO<sub>2</sub> iz atmosfere u periodu od 4-6 godina nakon čega se npr. spaljuju u kotlu na drvenu sječku. Zbog kratkog ciklusa kod ovih biljaka, biomasa iz spomenutih nasada je obnovljiva te pomaže u zaštiti okoliša. Međutim, biomasa nije u potpunosti **neutralna sa aspekta emisija CO<sub>2</sub>** s obzirom da se trebaju koristiti fosilna goriva za pripremu i iskorištavanje biomase (npr. za sječu i transport).

Dakle, biomasa se može koristiti kao obnovljivi izvor energije koji se može skladištiti. Biomasa se može izravno spaliti ili se može prvo pretvoriti u sekundarne proizvode (bioplin, etanol, biodizel, drveni ugljen, itd.) i onda spaliti. Konverzija biomase u daljnje proizvode se može klasificirati u sljedeće kategorije:

- **Mehanička obrada:** usitnjavanje, tlačenje, mljevenje, peletizacija, proizvodnja briketa
- **Termo-kemijska obrada:** gasifikacija, piroliza
- **Biokemijska obrada:** anaerobna digestija, fermentacija

Biomasa je vrlo pogodan i često korišten izvor energije za male CTS. Glavna prednost je mogućnost skladištenja i korištenja po potrebi. Na primjer, drvo može biti pohranjeno tijekom dugog razdoblja sve do zime kada se javlja potreba za toplinom. Glavni nedostatak ovih sustava je potreba za kontinuiranom dobavom sirovine, koju treba prikupiti ili nabaviti, a zatim dovesti do postrojenja i obraditi. To je glavna razlika u odnosu na intermitentne obnovljive izvore energije kao što su sunčeva energija i vjetar, koji imaju niže potrebe za održavanjem. S druge strane, intermitentne obnovljive izvore je teže pohraniti. Dakle, kombinacija sustava na biomasu sa sunčevim kolektorima ima značajan potencijal postizanja maksimalne sinergije.

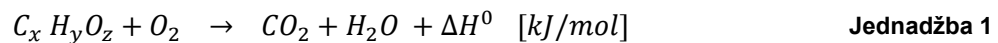
<sup>4</sup> <http://task45.iea-shc.org/fact-sheets>

### 3.2.1 Procesi izgaranja

Kruta biomasa se definira kao lignocelulozni materijal koji se može izravno koristiti za izgaranje. Uglavnom se radi o drvu, drvnoj sječki i peletima dobivenih iz raznih aktivnosti poput šumarstva, uređivanja okoliša, pilana ili brzo rastućih nasada (engl. short rotation coppice – SRC). Međutim, u nekim slučajevima se za izravno izgaranje mogu koristiti i poljoprivredni ostaci kao što su kukuruzni klipovi ili slama.

Biljna biomasa se uglavnom sastoji od ugljika (C), vodika (H) i kisika (O). Udio ugljika određuje količinu energije koja se oslobađa tijekom izgaranja (oksidacije). Također, vodik sadržan u krutoj biomasi oslobađa energiju tijekom izgaranja. Udio ugljika i vodika u gorivu određuje ogrjevnu vrijednost suhog goriva. Kisik samo omogućuje proces izgaranja, ali nema utjecaja na energetski sadržaj goriva. (Dimitriou & Rutz 2015)

Toplina izgaranja ( $\Delta H^0$ ) (Jednadžba 1) je energija koja se oslobađa u obliku topline kada određena tvar (bioplin, drvo, fosilno gorivo) se podvrgne potpunom izgaranju s kisikom pod standardnim uvjetima. Kemijska reakcija prikazuje reakciju biomase sa kisikom kako bi se stvorio ugljikov dioksid, voda i toplina.



U primijenjenim sustavima izgaranja, goriva se često karakteriziraju donjom i gornjom ogrjevnom vrijednošću (Prozor 4). Ove vrijednosti ovise o kemijskom sastavu goriva.

#### Prozor 4. Koja je razlika između donje i gornje ogrjevne vrijednosti?

Ogrjevne vrijednosti daju važne informacije o svojstvima goriva.

**Donja ogrjevna vrijednost** (engl. Lower heating value, net calorific value, lower calorific value) određuje količinu topline koja se oslobađa potpunim izgaranjem (oksidacijom) biomase. Ova vrijednost ne uzima u obzir toplinu kondenzacije (toplinu isparavanja) vodene pare sadržane u dimnim plinovima. Stoga se donja ogrjevna vrijednost smanjuje s većim sadržajem vlage u biomasi.

**Gornja ogrjevna vrijednost** (engl. calorific value, gross energy heating value, upper heating value ( $H_o$ ), gross calorific value (GCV), higher calorific value (HCV)) se određuje hlađenjem svih produkata izgaranja na temperaturu prije izgaranja, naročito kondenzacijom proizvedene vodene pare. Za biomasu je vrijednost gornje ogrjevne vrijednosti otprilike 6% (kora), 7% (drvo) ili 8% (poljoprivredni proizvodi) veća od donje ogrjevne vrijednosti (Tablica 1). Međutim, ovo vrijedi samo za kruta goriva koja su u potpunosti suha. Za vlažnu biomasu, ova je razlika veća. Tablica 2 prikazuje ogrjevne vrijednosti raznih vrsta drva.

Drvo ima visoki udio ugljika, na razini od 47 do 50%. Udio kisika u drvima iznosi između 40 i 45%, a udio vodika između 5 i 7%. Uz ova tri elementa, drvo se sastoji i od ostalih elemenata. Ti elementi mogu imati velik utjecaj na emisije čestica u dimnim plinovima, usprkos njihovim malim udjelima. Sumpor, klor i dušik spadaju u elemente koji imaju najveći utjecaj na emisiju štetnih čestica. Ogrjevna vrijednost se najčešće izražava po jedinici mase (Tablica 1). Za drvenu sječku se ogrjevna vrijednost često izražava po jedinici volumena (po  $m^3$  - Tablica 2). Ovisno o vrsti drva, veličini drvene sječke te udjelu vlage, gustoća drvene sječke iznosi 200 – 300  $kg/m^3$  (Dimitriou & Rutz 2015).

### 3.2.2 Kvaliteta krute biomase

Važan čimbenik koji utječe na proces izgaranja je kvaliteta goriva. Goriva dobre kvalitete se mogu koristiti u bilo kojem sustavu no goriva loše kvalitete se mogu koristiti samo u određenim sustavima. Uglavnom se radi o većim sustavima koji moraju imati posebnu opremu. Kvaliteta krute biomase (peleta, briketa, drvene sječke, drva za ogrjev, itd.) je klasificirana pod ISO 17225 (npr. "ISO 17225-1:2014 – Kruta biogoriva – Specifikacija i klase drva - Dio 1: Opći zahtjevi").

**Tablica 1. Karakteristike izgaranja krutih goriva (Hiegl et al. 2011) (prosječne/standardne vrijednosti; za suhu tvar (tj. udio vlage je 0%); stvarne vrijednosti ovise o mnogo faktora!)**

Vrsta biomase	Donja ogrjevna vrijednost [MJ/kg]	Gornja ogrjevna vrijednost [MJ/kg]	Udio pepela [%]	Temperatura omekšavanja pepela [°C]
Jablan	18,5	19,8	1,8	1 335
Vrba	18,4	19,7	2,0	1 283
Bukva/hrast	18,4	19,7	0,5	Nema podataka
Smreka	18,8	20,2	0,6	1 426
Kora zimzelenog drveća	19,2	20,4	3,8	1 440
Pšenična slama	17,2	18,5	5,7	998
Pšenična zrna	17,0	18,4	2,7	687
Antracit	29,7	Nema podataka	8,3	1 250
Lignit	20,6	Nema podataka	5,1	1 050



Tablica 2. Prikaz ogrjevnih vrijednosti drvene sječke u odnosu na udio vode (prosječne/standardne vrijednosti; stvarne vrijednosti ovise o mnogo faktora!)

Udio vode [%]		0	15	20	30	50
		<b>Referentna jedinica</b>		<b>Ogrjevna vrijednost [kWh]</b>		
<b>Bukva</b> (gustoća 558 kg suhe tvari/neto m <sup>3</sup> )	kg	5,00	4,15	3,86	3,30	2,16
	Neto m <sup>3</sup>	2 790	2 720	2 700	2 630	2 410
	Nasipni m <sup>3</sup>	1 116	1 090	1 077	1 052	964
<b>Smreka</b> (gustoća 379 kg suhe tvari/neto m <sup>3</sup> )	kg	5,20	4,32	4,02	3,44	2,26
	Neto m <sup>3</sup>	1 970	1 930	1 900	1 860	1 710
	Nasipni m <sup>3</sup>	788	770	762	745	685
<b>Topola</b> (gustoća 353 kg suhe tvari/neto m <sup>3</sup> )	kg	5,00	4,15	3,86	3,30	2,16
	Neto m <sup>3</sup>	1 765	1 723	1 705	1 662	1 525
	Nasipni m <sup>3</sup>	706	689	681	666	610
<b>Vrba</b> (gustoća 420 kg suhe tvari/neto m <sup>3</sup> )	kg	4,54*	3,76**	n.a.	2,97**	n.a.
	Neto m <sup>3</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Nasipni m <sup>3</sup>	n.a.	680-810**	n.a.	620-740**	n.a.

Izvor: CARMEN 2014, \*Verscheure 1998, \*\* ETA Heiztechnik GmbH n.d. (Prva vrijednost nasipnog m<sup>3</sup> je vezana uz G50, druga uz G30, ostali izvori)



Slika 13. Preša za pelete (lijevo) i visokokvalitetni peleti (desno) (Izvor: Rutz D.)



Slika 14. Drvna sječka visoke (lijevo) te niske kvalitete (sredina i desno) (Izvor: Rutz D.)

### 3.2.3 Proizvodne jedinice koje koriste biomasu

Kruta biomasa se može koristiti u sljedećim sustavima:

- **Male peći** (na pelete ili cjepanice) za grijanje pojedinih soba
- **Centralizirani kotlovi** (na pelete ili cjepanice) za grijanje pojedinih kućanstava
- **Mali kotlovi** (na pelete, cjepanice ili drvnu sječku) za grijanje većih zgrada ili nekoliko kućanstava
- **Kotlovi srednje snage** (na pelete, cjepanice ili drvnu sječku) za mikro CTS koji spajaju nekoliko kućanstava
- **Mala kogeneracijska postrojenja** (CHP) (na pelete ili drvnu sječku) koja koriste rasplinjače
- **CHP srednje snage** (na pelete, cjepanice ili drvnu sječku) koji koristi organski Rankineov ciklus
- **CHP velike snage** (na pelete, cjepanice ili drvnu sječku) koji koristi parne turbine
- **Suspajivanje** drvne sječke i industrijskih peleta u velikim postrojenjima koja koriste fosilna goriva

Kotlovi na pelete se koriste za manje sustave grijanja (na razini jednog ili nekoliko kućanstava), ali se također mogu koristiti i u sustavima srednjih snaga. Kotlovi na drvnu sječku (Slika 15, Slika 16) se koriste za sustave koji imaju snage veće od 20 kW. Grijanje pomoću drvne sječke je uglavnom ekonomski isplativo za veća kućanstva, farme, više kućanstava ili čak mala naselja (mali CTS) (Dimitrou & Rutz 2015).

Tehnologija korištena u sustavima na pelete i drvnu sječku je već dobro poznata te postoji mnogo proizvođača u ovome području. Tehnologija se sastoji od spremnika za biomasu, sustava dobave biomase, kotlova na biomasu, dimnjaka te sustava distribucije topline (koji često uključuje spremnik topline). Investicijski trošak za kotao na pelete ili drvnu sječku je često viši nego za kotao na fosilna goriva, ali je trošak goriva uglavnom znatno niži. Stoga je dugoročno kotao na drvnu sječku ili pelete ekonomski isplativiji od kotlova na fosilna goriva (Dimitiou & Rutz 2015).



Slika 15. Mali sustav grijanja koji koristi drvenu sječku (instalirana snaga 24-50 kW) sa kotlom (lijevo), sustavom za dobavu biomase (sredina) i spremnikom drvene sječke (desno) u Frölingu (Izvor: Rutz D.)



Slika 16. Sustav grijanja srednje snage (instalirana snaga 3 000 kW) sa kotlom (desno) i spremnikom topline (lijevo) u Njemačkoj - Biomassehof Achental (Izvor: Rutz D.)

Za izgaranje poljoprivrednih ostataka, kao što je npr. slama, potrebna je posebna oprema (Slika 17 i Slika 18) zbog posebnih karakteristika ovih travnatih (ne-drvenih) sirovina. Problemi koji se javljaju prilikom izgaranja slame se uglavnom odnose na visoku koncentraciju klora u sirovini, što može dovesti do korodiranja nezaštićene opreme. Nadalje, niska temperatura topljenja pepela predstavlja problem, s obzirom da uklanjanje šljake (Slika 18) zahtjeva sofisticiraniju opremu nego kod pepela nastalog izgaranjem drveta.



Slika 17. Sustav za dobavu bala slame (lijevo) te kotao na slamu snage 1,6 MW u Ballen-Brundbyu, Danska (Izvor: Rutz D.)



Slika 18. Šljaka koja ostaje nakon izgaranja slame

### 3.2.4 Kogeneracijska postrojenja koja koriste krutu biomasu

Sustavi koji osim topline proizvode i električnu energiju (**kogeneracijski sustavi - CHP**) se sve više koriste. S obzirom da ovi sustavi proizvode dvije vrste energije, kompliciraniji su od

sustava koji proizvode samo toplinu, a koji su opisani u prethodnim poglavljima. Optimalna integracija kogeneracijskih postrojenja u male CTS ovisi o raznim rubnim uvjetima. Sustav može biti više orijentiran na pokrivanje toplinskih potreba ili potreba za električnom energijom.

CHP koji je više orijentiran na **pokrivanje toplinskih potreba** proizvodi onoliko topline koliko je zaista potrebno. Ukoliko je potrebno manje topline, također se proizvodi i manje električne energije. Ovakav koncept se idealno koristi kada postoji konstantna potreba za toplinom te kada postrojenje radi u punom pogonu 7 500 do 8 760 sati na godinu. Ukoliko se potreba za toplinom mijenja ili smanjuje u određenim periodima, CHP radi na djelomičnom opterećenju. To znači da je znatno manji broj sati u kojima postrojenje radi u punom pogonu (2 000 – 3 000 sati) u CTS na koji su spojena samo kućanstva.

CHP koji je više orijentiran na **pokrivanje potreba za električnom energijom** proizvodi onoliko električne energije koliko je zaista potrebno ili koliko mreža može prihvatiti. Većina CHP na biomasu su dizajnirani tako da proizvode „zelenu“ električnu energiju te dobivaju feed-in tarifu za prodaju električne energije. Stoga svi CHP koji su orijentirani na pokrivanje potreba za električnom energijom rade u punom pogonu maksimalni broj sati ili prate potrebu mreže. U nekim zemljama (npr. Njemačka) se daju poticaji kako bi se udvostručio kapacitet tijekom vršnog opterećenja (npr. tijekom dana) te zaustavio rad tijekom niskog opterećenja (npr. tijekom noći). Stoga će CHP koji su orijentirani na pokrivanje potreba za električnom energijom imati značajnu ulogu u balansiraju elektroenergetske mreže.

Ukoliko se primijeni ovaj koncept, moguće je da dobava topline neće odgovarati toplinskim potrebama. U tom slučaju, često se višak topline nepovratno gubi, kao što opisuje Prozor 5 za bioplinska postrojenja. Ova činjenica je znala dovesti do slučajeva da su izgrađena postrojenja koja gube do 70 % primarne energije. Nakon nekoliko godina su gotovo sve države donijele regulative kojima se ograničava da se barem 40 – 50 % proizvedene topline mora iskoristi ukoliko se postrojenje prijavljuje za feed-in tarife. Na ovaj način se ukupna iskoristivost CHP postrojenja na biomasu povisuje na oko 70%. Dakle, izgradnja CHP postrojenja ima smisla samo kada se većina proizvedene topline iskoristi.

Tehnologije za CHP na biomasu su u prošlosti odabirane ovisno o instaliranoj toplinskoj i električnoj snazi. Tada je za male i srednje sustave korišten ORC, a za velike sustave parna turbina. Oba procesa su termodinamički procesi temeljeni na Rankineovom ciklusu.

Razvoj visokoučinkovitih **parnih turbina** je potaknut razvojem velikih termoelektrana na ugljen i nuklearnih termoelektrana s instaliranom snagom od više stotina MW. Ovi sustavi su zatim skalirani kako bi se koristili u postrojenjima na biomasu instalirane snage 5 – 100 MW<sub>el</sub>.

Za manja postrojenja je razvijen **ORC proces** koji nudi određene prednosti. Glavna razlika između parnog procesa i ORC procesa je radni medij. Voda, tj. vodena para se u ORC procesu zamjenjuje organskim medijem koji ima drugačiju temperaturu kondenzacije i isparavanja od vode. Koristeći ova svojstva, proces se može postaviti ovisno o potrebama potrošača i izvora topline. Stoga se ORC procesi optimalno koriste za proizvodnju topline niže temperature (85-95°C) korištenjem izvora topline temperature 250-350°C. Sveukupno, ORC proces ima malo veću iskoristivost od parnog procesa. Drugi razlog za odabir ove tehnologije su niske potrebe za održavanjem. Neki proizvođači za ORC proizvode standardizirane dijelove postrojenja sa dugoročnim ugovorima za održavanje. Na ovaj način je povećana pouzdanost pogona te se postižu minimalni zahtjevi za radnom snagom. Jedan od važnih parametara pri odabiru tehnologije je potreba za obučanim osobljem. U većini zemalja EU je potrebna posebna naobrazba osoblja za rad sa parnim kotlovima. Zbog nižih temperatura i tlakova te drugačijih uvjeta organskog radnog medija u ORC procesu, nije potrebna nikakva posebna naobrazba osoblja za rad na ovim postrojenjima. Konačno, ORC postrojenje ostvaruje nešto bolji ekonomski učin tijekom radnog vijeka u usporedbi sa parnim kotlovima. Danas su ORC postrojenja već rasprostranjena u cijelome svijetu zbog spomenutih prednosti.

Slika 20 prikazuje standardno ORC postrojenje instalirane snage 1,5 MW<sub>el</sub>. Kako se tržište u Europi naglo razvilo između 2002. i 2010. godine zbog feed-in tarifa za „zelenu“ energiju, neki proizvođači turbina su počeli razvijati male parne turbine te se danas ove dvije tehnologije, ORC i parni ciklus slične u pogledu ekonomske isplativosti (Zweiler, 2008).

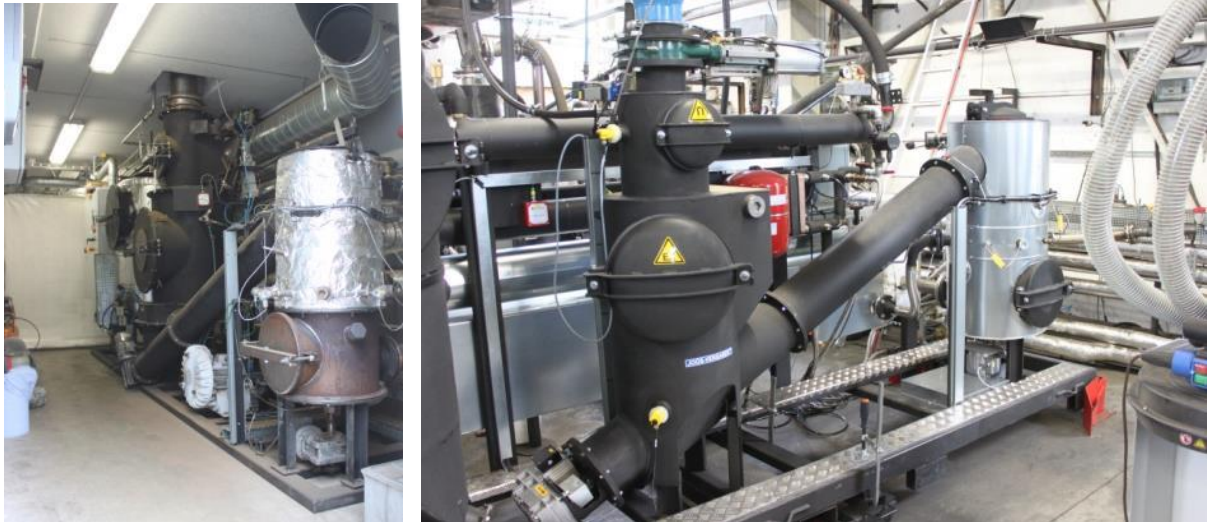


Slika 19. Kogeneracijsko postrojenje na drvenu sječku te parna turbina postrojenja Stadtwerke Augsburg Energie GmbH u Njemačkoj (kapacitet 80 000 t/god drvene sječke; 7,8 MW<sub>el</sub>; 15 MW<sub>th</sub>) (Izvor: Rutz D.)



Slika 20. ORC sustav (1 520 kW<sub>el</sub>) u Grünfüttertrocknungsgenossenschaft Kirchdorf a.H. eG u Njemačkoj (Izvor: Rutz D.)

**Uplinjavanje biomase** je tehnologija poznata više od 100 godina, međutim postala je spremna za upotrebu tek nakon 2002. godine za srednje i velike sustave, a nakon 2012. godine za male sustave. Danas se tehnologija uplinjavanja biomase koristi za razne primjene, a naročito za sustave malih snaga. Najčešća instalirana snaga za ove sustave koji koriste drvenu sječku i pelete iznosi 10-100 kW<sub>el</sub> (Slika 21).

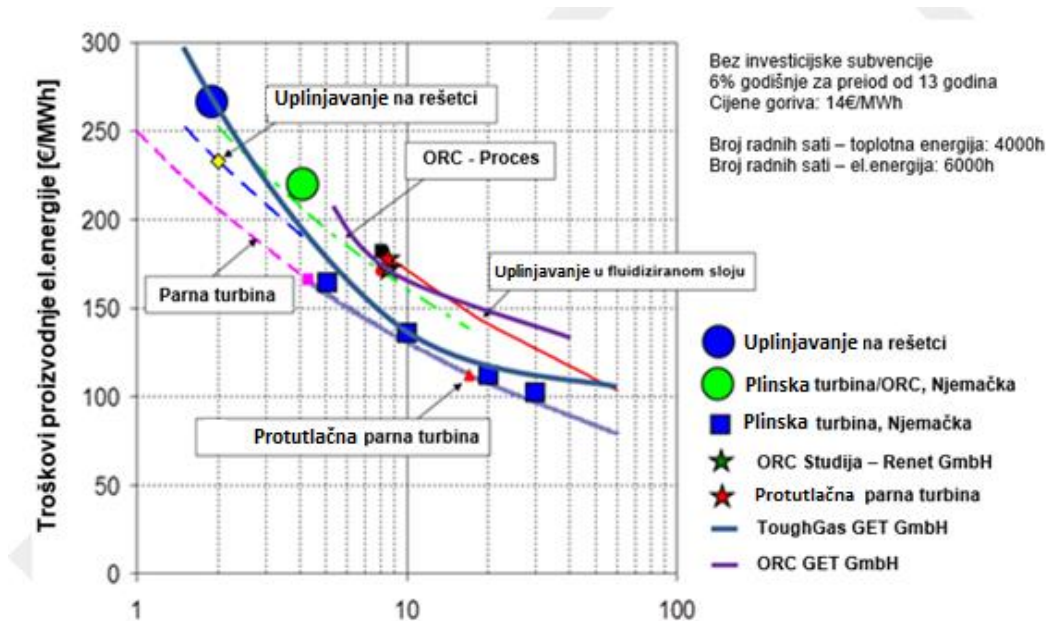


Slika 21. Uplinjivači male snage tijekom rada (lijevo) i tijekom proizvodnje (desno) tvrtke „SpannerRE“  
(Izvor: Rutz D.)

Uplinjavanje je proces koji pretvara krutu biomasu u plin, koji se uglavnom sastoji od vodika, metana, ugljikovog monoksida te ugljikovog dioksida. Biomasa na visokim temperaturama ( $>600^{\circ}\text{C}$ ) reagira sa kisikom ( $0 < \lambda < 1$ ) te proizvodi plin. Ovaj korak je sličan prvom koraku u procesu izgaranja gdje se biomasa pretvara u plinovite proizvode. Međutim, kod uplinjavanja proizvedeni plin ne izgara u samom postrojenju. Stoga do 80% kemijske energije biomase ostaje sadržano u proizvedenom plinu. Taj plin se zatim koristi u plinskom motoru s unutrašnjim izgaranjem kako bi se proizvela električna i toplinska energija (ukoliko se koristi kogeneracija). Ako se za uplinjavanje koristi neki drugi agent, a ne zrak, proizvodi se sintetički plin. Međutim za izgaranje u plinskom motoru je dovoljno koristiti zrak kao agent za uplinjavanje.

Slika 21 prikazuje standardno malo kogeneracijsko postrojenje s jedinicom za uplinjavanje. Masovna proizvodnja ove tehnologije je dovela do smanjenja cijene te uplinjavanje danas predstavlja isplativu tehnologiju za male snage.

Sve prethodno spomenute tehnologije su analizirane u raznim studijama. Jedan rad, koji prikazuje rezultate nekih prethodnih studija, pokazuje da spomenuti procesi na sličan način podlažu ekonomiji veličine, dok su razlike između spomenutih CHP procesa zanemarive (Zweiler, 2013)



Slika 22. Usporedba CHP procesa u odnosu na instaliranu električnu snagu, temeljeno na rezultatima većeg broja analiza (Zweiler, 2013)

Odabir i implementacija CHP postrojenja zahtijeva dobro poznavanje važnih aspekata, međutim radi se o tehnologiji spremnoj za upotrebu koja ima visoku učinkovitost. Važni aspekti za odabir CHP tehnologije su:

**Kvaliteta goriva:** Ukoliko je gorivo niže kvalitete, manje je pogodno za uplinjavanje na rešetci. Uplinjivači sa rešetkom trenutno zahtijevaju visokokvalitetnu drvenu sječku (prema kategorizaciji iznad G50) ili standardizirano gorivo poput peleta. Uplinjavanje u fluidiziranom sloju, kao i kogeneracija su manje osjetljivi na kvalitetu goriva. Ovi procesi mogu koristiti bilo koju vrstu goriva (kao i drvene ostatke i otpad), međutim i dalje su potrebna određena istraživanja kako bi se otpad koristio kao gorivo za uplinjavanje u fluidiziranom sloju (Zweiler, 2013). Kotlovi su još manje osjetljivi na kvalitetu goriva ukoliko koriste Rankineov ciklus za kogeneraciju. Oni mogu koristiti gotovo sve vrste goriva. Međutim, što je niža kvaliteta goriva, to su kompliciranije tehnologije za pročišćavanje dimnih plinova.

**Udio vode:** S obzirom na nisku cijenu goriva s visokim udjelom vode, može se činiti isplativim koristiti mokra goriva (udio vode do 60%) za rad CHP postrojenja. Međutim, to nije dobro s tehničkog aspekta. Standardni kotlovi općenito mogu koristiti gorivo s udjelom vode 5-40% (konstruirani za suho gorivo) ili 20-60% (konstruirani za mokra goriva). Veća fleksibilnost se može postići recirkulacijom dimnih plinova. Kao i kod kvalitete goriva, uplinjavanje u fluidiziranom sloju i kogeneracija su manje osjetljivi na veći udio vode u gorivu. Kod uplinjavanja na rešetci, maksimalni udio vode u gorivu ne smije biti veći od 15%. Ukoliko se ne poštuje ovo pravilo, dolazi do proizvodnje otpadne vode što predstavlja problem za proces. Iz ovog razloga, uplinjavanje na rešetci često sadrži i jedinicu za sušenje goriva.

**Temperaturna razina:** Tehnologije koje se temelje na Rankineovom ciklusu su vrlo osjetljive na nižu temperaturnu razinu procesa, koja ne smije biti previsoka. Ta razina određuje temperaturu medija za prijenos topline u CTS. Veći CTS na koje su spojena i industrijska postrojenja, često zahtijevaju temperature iznad 120°C što ne odgovara parnim i ORC sustavima. U tim slučajevima, iskoristivost se znatno smanjuje u odnosu na temperature medija od 85°C. Ovisno o instaliranoj snazi, električna iskoristivost može biti umanjena sa 18-20% na 15-17%. Uplinjavanje u fluidiziranom sloju omogućava stabilnu električnu iskoristivost na razini 23-28% na temperaturama medija za prijenos topline u CTS od 180°C.



### 3.2.5 Bioplinski sustavi<sup>5</sup>

Bioplin se proizvodi procesom **anaerobne digestije (AD)**. AD je biokemijski proces u kojem više vrsta anaerobnih mikroorganizama (bakterija) razlaže kompleksnu organsku tvar (biomasu) u manje spojeve u nedostatku kisika. AD je česta pojava u prirodi, npr. u sedimentima pod morem, u želucu preživača ili u močvarama. Također, u bioplinskim postrojenjima se sirovina (organski materijal) procesom anaerobne digestije razlaže na dva glavna produkta: bioplin i digestat. U većini bioplinskih postrojenja se koristi više vrsta sirovina kako bi se stabilizirao proces te optimirala proizvodnja bioplina. Radi se o takozvanoj ko-digestiji. Sirovine koje se mogu koristiti u AD procesu uključuju širok raspon biomase za koju je preporučljivo da bude lako razgradljiva. To uključuje masti, ulja, šećere i škrob. Celuloza je također lako razgradljiva, dok je lignin (jedan od glavnih spojeva u drvu) teško razgraditi AD procesom. Karakteristične sirovine za bioplinska postrojenja mogu biti biljnog i životinjskog podrijetla:

- Životinjske izlučine (gnojovka, mulj, gnoj)
- Poljoprivredni ostaci i nusprodukti
- Organski otpad od hrane i iz poljoprivredne industrije
- Organski otpad iz industrije biomaterijala (npr. celuloze i papira, lijekova)
- Organski dio komunalnog krutog otpada
- Otpad od hrane iz catering sektora
- Kanalizacijski mulj iz postrojenja za obradu otpadnih voda
- Energetski usjevi (npr. kukuruz, šećerna repa, trava)

Vrsta sirovine utječe na AD proces i na konačni sastav proizvedenog bioplina. Bioplin se uglavnom sastoji od metana ( $\text{CH}_4$ , 40-80%) i ugljikovog dioksida ( $\text{CO}_2$ , 15-45%) kao i manjih udjela vodikovog sulfata ( $\text{H}_2\text{S}$ ), amonijaka ( $\text{NH}_3$ ), dušika ( $\text{N}_2$ ) i ostalih spojeva. Nadalje, bioplin je uglavnom zasićen vodenom parom ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Potencijal proizvodnje metana je jedna od najvažnijih karakteristika sirovine koja se koristi u AD procesu. Uz vrstu sirovine, ostali faktori poput sustava digestije, temperature digestije, vremena povrata, itd., utječu na sastav bioplina.

Trenutno u Europi postoji više tisuća bioplinskih postrojenja. Države poput Njemačke, Austrije, Danske, Švedske, Češke, Italije i Nizozemske su predvodnici po broju instaliranih modernih bioplinskih postrojenja. Instalirane električne snage bioplinskih postrojenja se danas kreću od 50  $\text{kW}_{\text{el}}$  pa do 30  $\text{MW}_{\text{el}}$ . Instalirana električna snaga karakterističnih poljoprivrednih bioplinskih postrojenja u Europi koja koriste CHP, iznose oko 500  $\text{kW}_{\text{el}}$ , dok je toplinska snaga 550-600  $\text{kW}_{\text{th}}$ . Od toga, oko 500  $\text{kW}_{\text{th}}$  se može iskoristiti u mreži CTS-a. Oko 25% proizvedene topline se mora iskoristiti za zagrijavanje digestera pod srednje europskim klimatskim uvjetima. Ako se pretpostavi broj radnih sati u godini od 8 000, ukupna proizvedena toplina bioplinskog postrojenja snage 500  $\text{kW}_{\text{th}}$  bi iznosila 4 000  $\text{MWh}_{\text{th}}$ .

Bioplin je medij za prijenos energije koji se može iskoristiti na više načina (Slika 24). Prije nekoliko godina kada su se intenzivno gradila bioplinska postrojenja u Njemačkoj i Europi, glavni fokus tijekom izgradnje je bilo imati što veću instaliranu električnu snagu postrojenja. Glavni razlog tome su bile feed-in tarife za proizvodnju električne energije iz ovih postrojenja. Stoga je učinkovito iskorištavanje proizvedene topline često bilo zanemareno. U međuvremenu je došlo do promjena jer su mnoge zemlje počele uvoditi razne „alate“ kako bi se povećalo iskorištavanje proizvedene topline. Primjer toga su bonusi za CHP i regulative koje zahtijevaju korištenje određenog udjela proizvedene topline. Pregled načina korištenja topline iz bioplinskih postrojenja dan je u Rutz et al. (2015).

Sljedeće vrijednosti su korisne za izračune vezane uz bioplinska postrojenja:

<sup>5</sup> Ovo poglavlje se temelji na priručniku BiogasHeat Handbook (Rutz et al. 2015). Određeni dijelovi teksta su preuzeti iz ovog izvora.

- Energija sadržana u 1 kg biometana: 50 MJ
- Energija sadržana u 1 Nm<sup>3</sup> biometana: 35,5 MJ ili oko 9,97 kWh
- Sadržaj biometana u 1 Nm<sup>3</sup> bioplina: 0,45-0,75 Nm<sup>3</sup>
- Energija sadržana u 1 Nm<sup>3</sup> bioplina: 5-7,5 kWh
- Električna energija proizvedena izgaranjem 1 Nm<sup>3</sup> bioplina: 1,5-3 kWh<sub>el</sub>
- Gustoća biometana: 0,72 kg/Nm<sup>3</sup>
- Količina energije sadržana u 1 m<sup>3</sup> bioplina odgovara približno 0,6 l loživog ulja

Uzimajući u obzir da potrošnja energije za grijanje i pripremu PTV-a za jednu osobu iznosi 7 373 kWh/god, proizvodnja topline u bioplinskom postrojenju instalirane snage 500 kW<sub>th</sub> (4 000 MWh<sub>th</sub>/god) može pokriti godišnje potrebe za toplinom 543 osoba. Ovo je, jasno, gruba pretpostavka temeljena na prosječnim vrijednostima. Ostali faktori, poput promjenjivih sezonskih toplinskih potreba zbog različitih klimatskih uvjeta tijekom ljeta i zime se također moraju uzeti u obzir. Ovaj faktor predstavlja glavni izazov za koncepte iskorištavanja otpadne topline u kućanstvima.

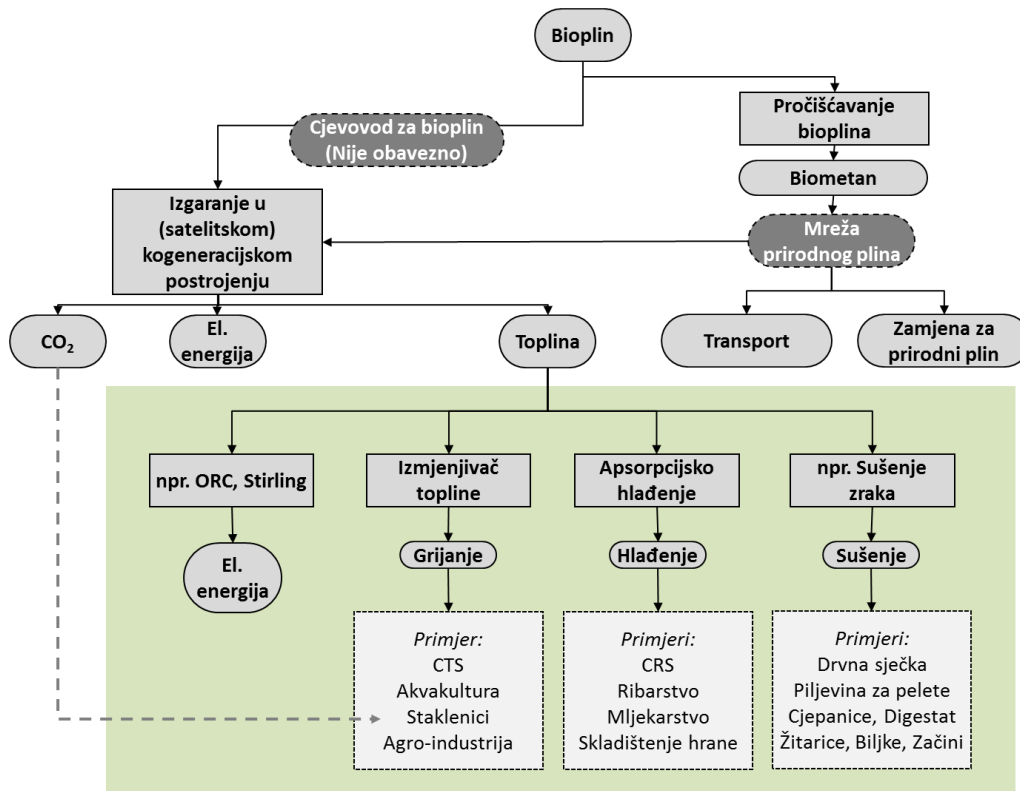


Slika 23. Digestori poljoprivrednog bioplinskog postrojenja (lijevo) i CHP jedinica (desno) bioplinskog postrojenja (Izvor: Rutz D.)

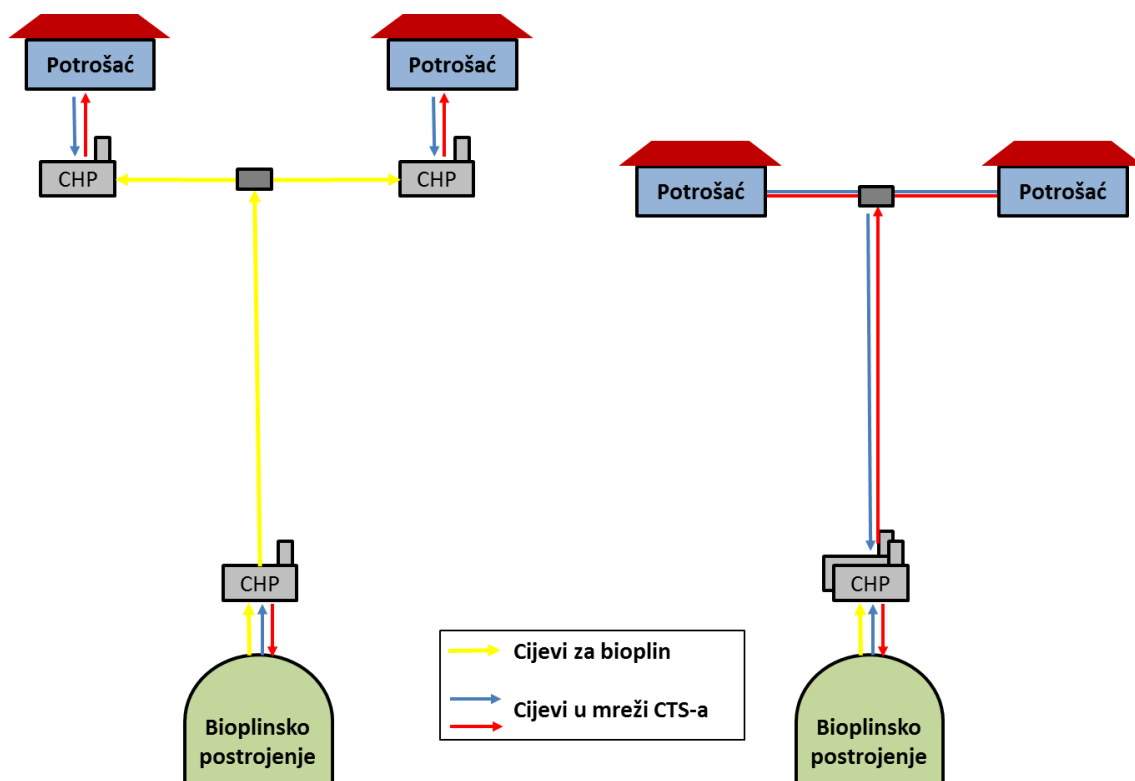
Iskorištavanje topline iz bioplinskih postrojenja u malim obnovljivim CTS sve više dobiva na značaju. Razni koncepti se trenutno implementiraju u ovome području. S obzirom da su u prošlosti bioplinska postrojenja planirana na udaljenim područjima, često je glavni problem udaljenost korisnika od izvora topline. Kao alternativa izgradnji toplovoda od bioplinskog postrojenja do korisnika, često se koristi koncept izgradnje plinovoda (za proizvedeni bioplin) koji vodi do „satelitskog“ CHP postrojenja koje se nalazi bliže potrošačima topline (Slika 25).

Sljedeća alternativa je pročišćavanje bioplina kako bi se dobio **biometan** (plin koji ima kvalitetu prirodnog plina) te njegovo ubrizgavanje u plinsku mrežu. Postoji više tehnologija za pročišćavanje bioplina poput: ispiranja aminima, ispiranja vodom, adsorpcije s varijacijama tlaka, membranskog odvajanja te niskotemperaturnog odvajanja. Zbog relativno visokih troškova, postrojenja za pročišćavanje bioplina se uglavnom koriste za instalirane električne snage >1 MW<sub>el</sub>. Kada se biometan ubrizga u mrežu prirodnog plina, može se koristiti gdje god postoji plinski priključak.

Tijekom planiranja iskorištavanja topline iz bioplinskog postrojenja, potrebno je uzeti u obzir da se dio topline mora iskoristiti za zagrijavanje digestora kako bi se osigurao stabilan i učinkovit proces. Uobičajeno se temperature digestora za mezofilna bioplinska postrojenja kreću u rasponu od 38°C do 44°C, ovisno o sirovini i cjelokupnom procesu. Digestori se mogu grijati na različite načine kao što su korištenje cijevi za grijanje na zidovima digestora ili pumpanje digestata kroz izmjenjivač topline.



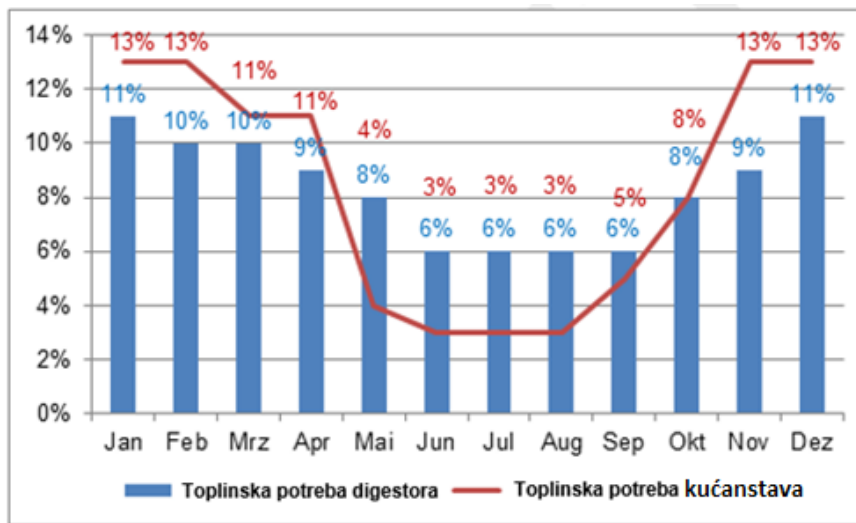
Slika 24. Pojednostavljeni dijagram toka za korištenje bioplina (Izvor: Rutz et al. 2015)



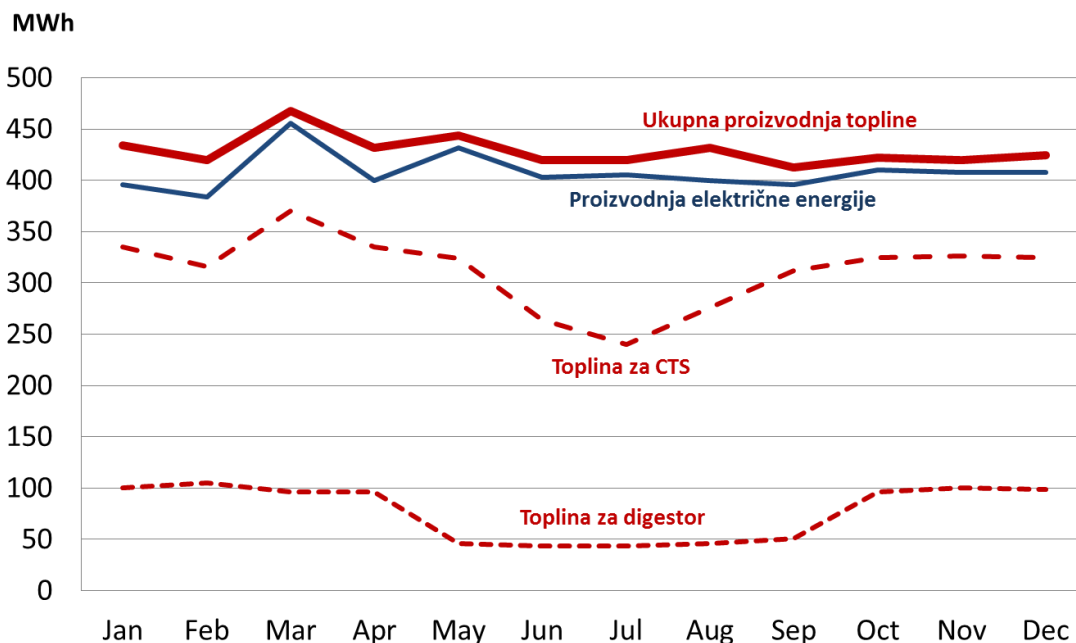
Slika 25. Plinovod koji vodi od bioplinskog postrojenja do "satelitskih" CHP postrojenja (lijevo) te mikro CTS (desno) (Izvor: Rutz D.)

Toplinske potrebe digestora predstavljaju važan faktor jer određuju količinu topline koja je dostupna za ostale potrebe. Toplinske potrebe digestora su određene temperaturom okoliša,

tj. klimatskim uvjetima. Nadalje, u postrojenjima za obradu otpada, toplina također može biti potrebna za sterilizaciju sirovine. Slika 26 i Slika 27 prikazuju primjer toplinskih potreba digestora.



Slika 26. Mjesečna distribucija toplinskih potreba digestora (pretpostavka) i kućanstva (grijanje prostora i priprema PTV-a; podaci dobiveni mjerenjem) – analiza slučaja BiogasHeat u Njemačkoj (Izvor: Rutz et al. 2015)



Slika 27. Primjer krivulja dobave topline u jednoj godini za bioplinско postrojenje snage 600 kW<sub>th</sub> koje se nalazi u središnjoj Europi (Izvor: Rutz et al. 2015)

### 3.2.6 Sustavi koji koriste biljna ulja

Biljna ulja se dobivaju tlačenjem sjemenki određenih biljaka. Važne biljke za proizvodnju biljnih ulja u Europi su uljana repica i suncokret. Pregled biljaka za proizvodnju biljnih ulja je dan u Rutz & Janssen (2008). Biljna ulja se mogu direktno koristiti kao gorivo za transport ili se mogu

pretvoriti u biodizel (procesom transesterifikacije) i zatim koristiti kao zamjena za fosilna goriva. Ukoliko se koriste u transportu, ova goriva se nazivaju biogorivima.

Biljna ulja se također mogu koristiti u kotlovima na ulje ili CHP postrojenjima. U tom slučaju se nazivaju biotekućinama (engl. bioliquids – EC, RED Directive). Prije više godina su u Njemačkoj postojali dobri poticaji za korištenje biljnih ulja u CHP postrojenju, u obliku visokih feed-in tarifa. Ovi poticaji su ukinuti zbog održivosti ovih goriva (bolje rečeno neodrživosti) te se danas u Njemačkoj i ostalim državama rijetko koriste za proizvodnju topline (u kotlovima ili CHP postrojenjima).

Međutim, ova goriva se i dalje mogu koristiti u nekim sustavima. U nekim malim obnovljivim CTS su potrebni vršni kotlovi za pokrivanje vršnih opterećenja (vidi poglavlje 3.7). S obzirom da vršni kotlovi najčešće koriste fosilna goriva, moguće ih je zamijeniti sa kotlovima na biljna ulja.



Slika 28. CHP postrojenje koje koristi ulje od uljane repice (Izvor: Rutz D.)

### 3.3 Geotermalna energija

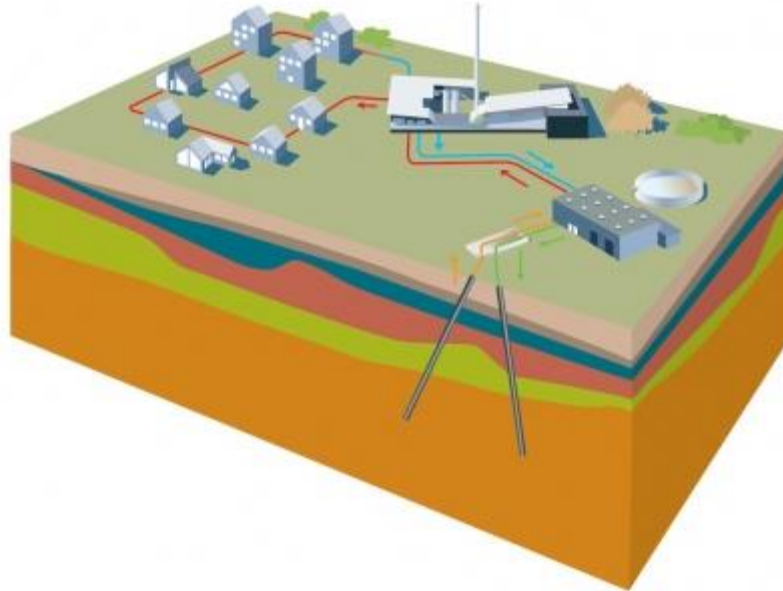
Geotermalna energija predstavlja toplinu koja je pohranjena u zemlji. Izvor topline je radioaktivni raspad materijala i sama zemljina struktura. Postoji temperaturna razlika između jezgre planeta i njegove površine, koja se naziva geotermalnim gradijentom. Jezgra zemlje ima iznimno visoku temperaturu te je kamen koji se nalazi u njoj rastaljen (lava). Temperature se mijenjaju ovisno o dubini zemljine kore. Na nekim mjestima je potrebno ići vrlo duboko da bi se dostigle visoke temperature dok su na drugim mjestima visoke temperature vrlo blizu zemljine površine.

Geotermalna energija se može koristiti na mnogo načina, od velikih i složenih elektrana pa do malih i relativno jednostavnih sustava. Korištenje geotermalne energije ovisi o geotermalnom temperaturnom gradijentu, tj. temperaturi zemlje na određenoj dubini. Proizvodnja električne energije je isplativa samo ukoliko je temperatura u blizini zemljine površine visoka. Ukoliko je temperatura niža, npr. na razini 100 °C, teško je koristiti toplinu za proizvodnju električne energije, međutim može se koristiti kao izvor energije za grijanje.

Ovisno o temperaturnom gradijentu, postoje različiti koncepti za iskorištavanje geotermalne topline. Često korišteni koncept uključuje pumpanje geotermalne vode (proizvodna bušotina,

engl. - production well) do izmjenjivača topline ili dizalice topline, gdje se ta toplina predaje sekundarnom mediju. Zatim se geotermalna voda upumpava nazad u zemlju preko druge bušotine (ubrizgavajuća bušotina, engl. – injection well). Slika 29 prikazuje ovaj koncept.

Geotermalne bušotine su vrlo slične naftnim i plinskim bušotinama. Koriste se iste tehnologije i oprema, međutim geotermalne bušotine često imaju veće promjere s obzirom da se radi o velikim protocima geotermalne vode (Dansk Fjernvarme, 2016).



**Slika 29. Koncept iskorištavanja geotermalne energije (Izvor: Danish Geothermal District Heating, 2016)**

Glavne prednosti geotermalnog grijanja i hlađenja su dobava lokalne i uvijek dostupne obnovljive energije za pokrivanje baznog opterećenja, povećanje raznolikosti u energetskej dobavi te smanjivanje utjecaja promjenjivih cijena fosilnih goriva.

25% stanovništva EU živi u područjima koja su pogodna za izravno iskorištavanje geotermalne energije u CTS. Trenutno u Europi postoji oko 250 geotermalnih CTS (uključujući kogeneracije) čija ukupna instalirana snaga iznosi oko 4 400 MW<sub>th</sub> a godišnja proizvodnja topline oko 13 000 GWh/god (2013). U zadnjih nekoliko godina je značajno porastao broj projekata za geotermalne CTS, naročito u Francuskoj, Njemačkoj i Mađarskoj. Trenutno je u planu 200 projekata (uključujući i nadogradnju postojećih sustava) koji će osigurati rast instalirane snage sa 4 500 MW<sub>th</sub> u 2014. godini na barem 6 500 MW<sub>th</sub> u 2018. godini. Može se zaključiti da se geotermalna energija iskorištava u mnogim državama Europe te da postoje iznimni potencijali za daljnjim iskorištavanjem ovog obnovljivog izvora energije. Geotermalna toplina je dostupna u mnogim dijelovima Europe (Slika 30) te je CTS ekonomski isplativ način distribucije te topline do krajnjih korisnika.

Slika 30 prikazuje postojeće geotermalne CTS u Europi te potencijale za iskorištavanje geotermalne topline u CTS u jugoistočnoj Europi. Ove interaktivne karte se nalaze na internetu te sadrže različite slojeve koji se mogu uključiti po želji. Na taj način se može dobiti prikaz toplinskih potreba, gustoće toplinskog toka, rezervoara i temperatura.



**Slika 30.** Karta koja pokazuje postojeće geotermalne (crvene točke) CTS (lijevo) te potencijali iskorištavanja geotermalne energije (desno); Legenda: temperatura  $>50\text{ }^{\circ}\text{C}$  na 1 000 m dubine (plavo), temperatura  $>90\text{ }^{\circ}\text{C}$  na 2 000 m dubine (crveno), preklapanje ovih dvaju područja (ljubičasto) (Izvor: [http://map.mfpi.hu/geo\\_DH/](http://map.mfpi.hu/geo_DH/))

Glavna karakteristika geotermalne energije su relativno visoki investicijski troškovi, naročito u područjima u kojima se rezervoari nalaze duboko pod zemljom. Stoga je geotermalna energija najisplativija u područjima sa relativno visokom temperaturom na malim dubinama te ako se može koristiti za pokrivanje baznog opterećenja u velikim CTS. Još jedna ključna karakteristika je rizik vezan uz bušenje na dubinu od 2-3 km.

Ovisno o temperaturnoj razini izvora, često je potrebno koristiti dizalicu topline kako bi se ostvarile više temperature za opskrbu krajnjeg korisnika. Za ove potrebe se mogu koristiti električne ili apsorpcijske dizalice topline, koje se mogu pogoniti drugim obnovljivim izvorima kao što je biomasa. Stoga iskorištavanje geotermalne energije često zahtijeva dodatne izvore energije kao što su električna energija ili biomasa. Ovo također utječe na troškove pogona koji su relativno niski za geotermalno postrojenje (troškovi pogona pumpi), ali također uključuju i trošak električne energije i/ili biomase u slučaju korištenja dizalice topline.

Trošak pogona pumpi raste sa dubinom bušotine. Stoga je ekonomski isplativije koristiti dizalice topline te iskorištavati toplinu iz manjih dubina (1 000 – 3 000 m) s temperaturama 30 – 90  $^{\circ}\text{C}$ . Ovaj geotermalni gradijent (30  $^{\circ}\text{C}$  svakih 1 000 m dubine) predstavlja uobičajeno pravilo (Frederiksen & Werner, 2013).

Tijekom planiranja geotermalnih postrojenja, godišnja proizvodnja energije mora biti relativno visoka kako bi se mogli otplatiti investicijski troškovi za bušotinu i ostatak postrojenja. Temeljeno na podacima iz Danske energetske agencije, godišnja prodaja topline u CTS mora iznositi minimalno 400-500 TJ kako bi postrojenje bilo isplativo (iskustvo iz Danske). Ovo ovisi o državi u kojoj se postrojenje nalazi, tj. o geotermalnom potencijalu države.

Potencijal za geotermalnu energiju na velikim dubinama je značajan. Međutim, CTS pogonjeni geotermalnom energijom se trenutno rijetko koriste. Kako bi se potaknula šira primjena ovih sustava potrebno je:

- Razviti dosljedne energetske strategije koje ciljaju ka dekarbonizaciji toplinskog sektora
- Otkloniti regulatorne i tržišne prepreke te pojednostaviti procedure za operatore i donositelje zakona

- Razviti inovativne financijske modele za geotermalne CTS koji imaju visoke investicijske troškove
- Podučiti tehničare, državne službenike i donositelje odluka iz regionalnih i lokalnih vlasti kako bi dobili potrebno znanje za odobravanje i potporu projektima

Postoji nekoliko projekata čiji je cilj podrška implementaciji geotermalnih CTS:

- U razdoblju 2012. – 2014. proveden je EU projekt GeoDH<sup>6</sup>. Glavni fokus ovog projekta su bile ne-tehničke prepreke za implementaciju geotermalnih CTS u 14 europskih država. Projekt je rezultirao raznim smjernicama te filmom koji opisuje koncept geotermalne energije.
- Općeniti prikaz tehnologije iskorištavanja geotermalne energije je dan u dokumentu o proizvodnji topline i električne energije iz geotermalnih izvora iz 2011. godine<sup>7</sup>

### 3.4 Otpadna toplina

Otpadna toplina (engl. - excess heat, waste heat, surplus heat) iz industrije ili drugih izvora (npr. proizvodnja bioplina) predstavlja važan izvor topline koji može imati vrlo nisku cijenu. Prije implementacije ovog koncepta, potrebno je analizirati energetske tokove u industriji. To uključuje određivanje temperaturnih razina procesa kao i potencijal za energetske učinkovitost.

Isplativost korištenja otpadne topline uvijek ovisi o lokaciji industrijskog postrojenja te o količini topline koja se može iskoristiti, tj. višku topline koji se ne može iskoristiti u industrijskom procesu. Iskorištavanje otpadne topline ne smije utjecati na procese u industriji te se mora imati na umu da ukoliko dođe do prekida proizvodnje u industriji, također dolazi do prekida proizvodnje otpadne topline. Dakle, potrebno je uzeti u obzir specifičnosti industrijskog procesa čija se otpadna toplina iskorištava.

Jedan od glavnih rizika je investiranje u opremu za iskorištavanje otpadne topline iz postrojenja koje može prekinuti s proizvodnjom u budućnosti. Stoga je u ugovoru potrebno točno odrediti kako se investicijski rizik dijeli na osobe uključene u projekt. Voditelji industrijskih postrojenja uglavnom žele amortizirati investiciju u kraćem razdoblju (npr. 5 godina), što predstavlja vrlo kratko razdoblje za tvrtku koja upravlja CTS-om.

Ovaj problem postaje posebno značajan u slučajevima kada otpadna toplina čini visoki udio sveukupno proizvedene topline u CTS. Primjer iz Danske (Skjern Papirfabrik koji prodaje toplinu tvrtki koja vodi CTS u Skjernu)<sup>8</sup> prikazuje da više od 50 % topline u CTS-u dolazi iz tog industrijskog postrojenja. Međutim, ova je pojava rijetka te su većinom ovi udjeli niski.

Dokument Heat Roadmap Europe 2050 sadrži karte koje prikazuju toplinske potrebe kao i potencijale za različite obnovljive izvore, uključujući otpadnu toplinu iz industrije. To može predstavljati prvi korak u identifikaciji mogućih izvora topline.

---

<sup>6</sup> [www.geodh.eu](http://www.geodh.eu)

<sup>7</sup> [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Geothermal\\_roadmap.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Geothermal_roadmap.pdf)

<sup>8</sup> <http://www.skjernpaper.com/sustainability/production-of-district-heating>





Slika 31. Primjer potencijala za otpadnu toplinu u Hrvatskoj<sup>9</sup>

Sljedeća opcija je pristupiti lokalnim industrijskim postrojenjima kako bi se započeo dijalog o mogućnostima iskorištavanja otpadne topline. Industrijska postrojenja se često zanimaju za opcije koje im omogućavaju zaradu na nusproduktu, međutim tvrtke često ne žele uložiti puno truda u ovakve projekte jer im to nije glavni posao. Ova činjenica pokazuje da tvrtka koja vodi CTS najčešće mora preuzeti inicijativu za ovakve projekte.

U sustavima koji iskorištavaju otpadnu toplinu se često koriste dizalice topline u svrhu podizanja temperatura na odgovarajuću razinu za CTS.

Otpadna toplina se može koristiti i iz ostalih izvora, kao što su npr. bioplinska postrojenja. Razloge za neučinkovito korištenje topline u bioplinskim postrojenjima prikazuje Prozor 5. Prednost korištenja topline iz bioplinskih postrojenja je kontinuirana dostupnost tijekom godine te relativno niski troškovi, ovisno o karakterističnim uvjetima postrojenja. Problem predstavlja činjenica da se većina bioplinskih postrojenja nalazi u ruralnim područjima, tj. daleko od potencijalnih potrošača topline. Stoga je već u procesu planiranja potrebno uzeti u obzir mogućnost iskorištavanja otpadne topline te samim time i lokaciju postrojenja. Bioplinska postrojenja su u više detalja opisana u poglavlju 3.2.5.

#### Prozor 5. Zašto neka bioplinska postrojenja proizvode otpadnu toplinu?

U Europi i svijetu kontinuirano raste broj bioplinskih postrojenja zbog sve većih potreba za obnovljivom energijom kao zamjenom za fosilna goriva. Većina poljoprivrednih i industrijskih bioplinskih postrojenja koristi bioplin za proizvodnju električne energije u procesu kogeneracije. Međutim, u puno slučajeva se toplina iz kogeneracijskog postrojenja ne koristi već se gubi u okoliš. Razlog tome su poticaji za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora, koji zanemaruju efikasno iskorištavanje topline. Ova činjenica trenutno predstavlja veliki problem za proizvodnju bioplina te uzrokuje mikroekonomske i makroekonomske gubitke u kontekstu sve veće konkurencije za korištenje zemljišta. Više informacija o korištenju otpadne topline iz bioplinskih postrojenja dostupno je u priručniku: "Sustainable Heat Use of Biogas Plants - A Handbook" (Rutz et al. 2015).

### 3.5 Električni bojleri: pretvorba električne energije u toplinsku

Iskoristivost pretvorbe električne energije u toplinsku iznosi gotovo 100%. Međutim, često postoje veliki energetske gubici na strani proizvodnje električne energije. Stoga sveukupna iskoristivost cijelog procesa značajno ovisi o izvoru električne energije. Nadalje, eksergija električne energije je veća nego za toplinsku energiju te se stoga korištenje električne energije za proizvodnju toplinske uglavnom ne preporuča.

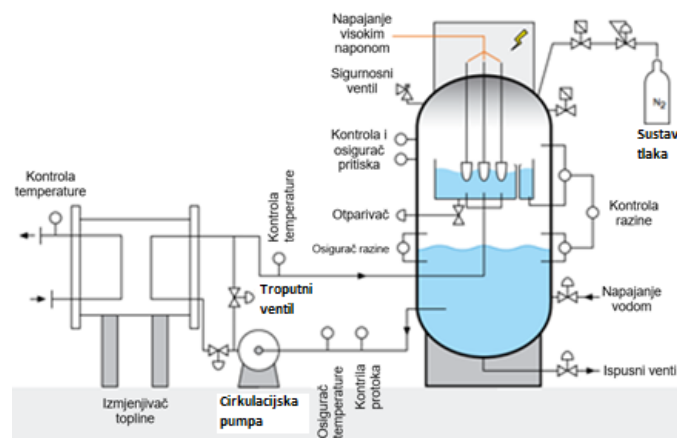
Glavni razlog za korištenje električnih bojlera u CTS nije potreba za toplinom nego potreba za pomoćnim uslugama na tržištu električne energije. Stoga korištenje električnih bojlera ima

<sup>9</sup> <http://maps.heatroadmap.eu/maps/30662?preview=true#>

veću važnost u pogledu zarade na tržištu električne energije, čime se smanjuje cijena topline. Korištenje električnih bojlera ima svoju primjenu i u iskorištavanju viška električne energije iz vjetroelektrana te omogućavanju efikasnog iskorištavanja raznih izvora topline.

Električni bojleri su uređaji snage do nekoliko MW koji iskorištavaju električnu energiju za proizvodnju tople vode koja se koristi u CTS ili industrijskim postrojenjima. Najčešće se koriste kao vršni bojleri (slično kao plinski kotlovi ili kotlovi na lož ulje). Općenito, postoje dvije vrste električnih bojlera:

- Grijači koji koriste princip **električnog otpora**: temelje se na istom principu kao i bojleri za toplu vodu u kućanstvima. Instalirana snaga ovih uređaja iznosi 1-2 MW. Ovi bojleri su spojeni na niski napon.
- Grijači koji koriste **elektrode** (Slika 32): Instalirana snaga ovih uređaja je veća (više od nekoliko MW) te su spojeni na visokonaponsku mrežu.



Slika 32. Shematski prikaz bojlera koji koristi elektrode. Toplina se proizvodi u gornjem dijelu uređaja zbog omskog otpora između elektroda. Bojler je pod tlakom inertnog plina, npr. dušika (Izvor: PARAT Halvorsen AS<sup>10</sup>)



Slika 33. Električni bojler instalirane snage 10 MW te kapaciteta 14,4 m<sup>3</sup> koji se nalazi u gradu Gram (Danska) te je spojen na CTS (Izvor: Rutz D.)

<sup>10</sup> <http://parat.no/en/products/industry/parat-ieh-high-voltage-electrode-boiler/>

Zbog vrlo jednostavne konstrukcije ovih uređaja, električni bojleri su izrazito pouzdani te jednostavni za održavanje. Bojleri ne sadrže nikakve složene komponente koje bi mogle otežavati pogon i održavanje uređaja. Bojleri se mogu brzo pokrenuti te jednostavno regulirati. Ne zahtijevaju sustav za dobavu goriva niti dimnjak.

Korištenje električnih bojlera u CTS-u je često u Danskoj. Tamo je ukupno postavljeno 45 bojlera s instaliranom snagom 490 MW. Najveći uređaji imaju 80 i 93 MW (izgrađeni 2015. i 2002. godine). Interaktivna karta koja prikazuje razne projekte sa električnim bojlerima može se vidjeti na: [www.smartvarme.dk](http://www.smartvarme.dk).

### 3.6 Dizalice topline

Dizalice topline se rijetko koriste kao primarni izvor energije za CTS, već se koriste u svrhu optimiranja i unaprjeđenja sustava koji se temelje na obnovljivim izvorima energije, kao što su sustavi sa sunčevim kolektorima. Uporabom dizalica topline omogućuje se implementacija toplinskih izvora koji inače imaju preniske temperature za izravno korištenje u mreži CTS-a.

Dizalice topline se mogu koristiti u malim modularnim obnovljivim centraliziranim toplinskim i rashladnim sustavima kao **centralizirani** uređaji u jedinici za proizvodnju topline. U tom se slučaju koristi samo jedna ili nekoliko dizalica topline. Također, ovi uređaji mogu biti i **decentralizirani**, pri čemu se nalaze u toplinskim podstanicama potrošača. U tom slučaju, svaki priključak se sastoji od dizalice topline male snage i izmjenjivača topline u toplinskoj podstanici. Ovaj koncept se koristi kada je temperatura distribucije u CTS niska (zbog povećane iskoristivosti), a potrebno je zagrijati PTV. Primjeri dizalica topline u malim modularnim obnovljivim centraliziranim toplinskim i rashladnim sustavima (kao centralizirani i decentralizirani uređaji) se mogu vidjeti u izvještaju o primjerima najbolje prakse (Laurberg Jensen et al. 2016).

Dizalice topline koriste istu tehnologiju kao i hladnjaci (vidi poglavlje 7.2), pri čemu prenose toplinu sa područja niže temperature na područje više temperature, korištenjem rashladnog medija (radna tvar). Dizalice topline „uzimaju“ toplinu iz okoliša (izvor topline) te joj podižu temperaturnu razinu u zatvorenom procesu. Taj proces, prema prvom zakonu termodinamike, zahtjeva dodatnu energiju (u vidu topline ili električne energije), s obzirom da toplina ne može sama od sebe prelaziti sa područja niže temperature na područje više temperature. Shemu rada dizalice topline (ljevokretni proces) prikazuje Slika 35.

Glavna prednost dizalica topline je mogućnost iskorištavanja energije iz okoliša ili otpadne topline, koja bi se u konvencionalnim procesima proizvodnje topline izgubila u okoliš. Izvor topline mora biti dostupan te zadovoljavati određene parametre. Na primjer, idealno je da temperatura izvora topline bude konstantna jer će njena promjena utjecati na učinak dizalice topline.

Izvori topline mogu biti okolišni zrak, voda (jezera, mora, rijeke) ili podzemna voda, tlo ili otpadna toplina iz industrije. Standardne prosječne temperature zraka u sjevernoj Europi iznose oko 8°C, dok su u južnoj Europi iznad 10 °C. Ove temperature su slične temperaturama tla ili podzemnih voda. Otpadna toplina iz industrijskih procesa ima znatno višu temperaturu, koja može biti dovoljno visoka da nije potrebno koristiti dizalicu topline. U nekim slučajevima, toplina se u dizalicu topline dovodi putem sekundarnog kruga vode ili glikola, međutim za optimalni učin dizalice topline, izvor topline treba biti izravno spojen na isparivač.

Dizalice topline se kategoriziraju ovisno o konstrukciji ili načinu rada, kako slijedi:

- **Kompresijske dizalice topline:** Izvor energije za kompresor je električna energija ili prirodni plin
- **Sorpcijske dizalice topline:** Pogoni ih prirodni plin ili toplina: adsorpcijske i adsorpcijske dizalice topline

Obje kategorije dizalica topline zahtijevaju izvor topline (u sektoru kućanstva je to najčešće niskotemperaturni izvor poput okolišnog zraka ili tla) te potrebnu energiju za odvijanje procesa.

Energija za odvijanje procesa je električna energija ili motor, tj. gorivo (kod kompresijskih dizalica topline) te toplina – npr. para, topla voda ili dimni plinovi (apsorpcijske dizalice topline). Apsorpcijske dizalice topline također troše i male količine električne energije za pogon pumpe.

Dizalice topline se također razlikuju ovisno o izvoru topline te načinu distribucije topline u zgradi.

- **Dizalice topline zrak-zrak** koriste toplinu iz okolišnog zraka te ju predaju korisniku preko izmjenjivača topline za zrak.
- **Dizalice topline zrak-voda** koriste toplinu iz okolišnog zraka te ju predaju korisniku preko hidrauličkog distribucijskog sustava (radijator, konvektor, podno grijanje).
- **Dizalice topline tlo-voda** uglavnom koriste toplinu tla te ju predaju korisniku preko hidrauličkog sustava (radijator, podno grijanje, itd.)



Slika 34. Dizalica topline koja koristi podzemne vode kao izvor topline (instalirana snaga 440 kW) u malom CTS sa sunčevim kolektorima u Dollnsteinu, Njemačka (Izvor: Rutz D.)

Učinkovitost dizalice topline se izražava **faktorom grijanja** (engl. "**Coefficient of Performance**" – COP), koji prikazuje omjer dobivene topline i utrošene pogonske energije (gorivo u sorpcijskim dizalicama topline te električna energija u kompresijskim dizalicama topline). Kada je faktor grijanja 3, dizalica topline daje 3 puta više topline nego što je potrošila pogonske energije, a dvije trećine topline je preuzeto na vanjskom izmjenjivaču topline.

Ovisno o instaliranoj snazi, izvoru topline, toplinskim potrebama, temperaturnim razinama i ostalim važnim parametrima, mogu se koristiti različite vrste dizalica topline. Važna tehnička karakteristika dizalice topline je **radna tvar**. Fizikalna svojstva radne tvari su uglavnom određena temperaturom vrenja radne tvari, s obzirom da je promjena stanja iz kapljevitog u plinovito ključno svojstvo procesa. Postoje razne vrste radnih tvari, poput fluoriranih ugljikovodika (HFC) i klorofluorouglikovodika (HCFC). Ostale radne tvari su opisane u sljedećim paragrafima.

Dizalice topline koje koriste **CO<sub>2</sub>** zahtijevaju takozvane transkritične radne parametre s iznimno visokim tlakovima kondenzacije, što znači da radna tvar isparava na konstantnoj temperaturi, a kondenzira uz pojavu klizanja temperature. Samim time je CO<sub>2</sub> naročito prikladan za korištenje topline iz niskotemperaturnog izvora pri čemu se izvor hladi za samo nekoliko stupnjeva. Maksimalna izlazna temperatura sustava koji koriste CO<sub>2</sub> iznosi oko 90°C. Kako bi se ostvarile visoke vrijednosti faktora grijanja u ovim sustavima, ulazna temperatura grijanog medija ne bi smjela biti veća od oko 40°C. Na primjer, dio CTS-a u Marstalu u Danskoj je

dizalica topline snage 1,5 MW, koja koristi CO<sub>2</sub> kao radnu tvar. Maksimalna temperatura je 75°C.

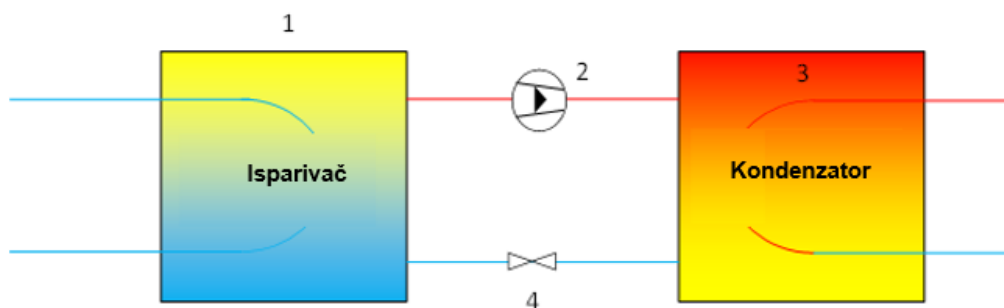
**Amonijak** je često korištena radna tvar u industriji, a naročito u najvećim postrojenjima gdje se postižu visoke temperature radne tvari (oko 95°C). Stoga je potrebno koristiti posebne komponente zbog visokih tlakova. Amonijak se također može koristiti za postizanje nižih temperatura pri čemu se smanjuju investicijski troškovi (korištenje standardiziranih dijelova) i povećava faktor grijanja. Primjeri postrojenja koja koriste dizalice topline sa amonijakom su CTS u Drammenu, Norveška (15 MW – maksimalna temperatura 90°C), postrojenje za proizvodnju papira u Skjernu, Danska (4 MW – maksimalna temperatura 90°C) te CTS Bjerringbrou, Danska (3,7 MW – maksimalna temperatura 70°C).

**Litij bromid(LiBr)/Voda** se koriste u apsorpcijskim dizalicama topline, dok se kombinacija amonijak/voda koristi u apsorpcijskim rashladnim uređajima. Voda se koristi kao radna tvar što znači da je radni tlak negativan. Najniža temperatura na strani toplinskog izvora je oko 6°C, dok temperatura toplinskog ponora može biti oko 85°C. Različite temperature međusobno utječu, što znači da niska temperatura izvora može ograničiti maksimalnu temperaturu ponora. Za sustave u kojima je nužno značajno povisiti temperaturu, mogu se koristiti dizalice topline sa višestupanjskom kompresijom. Primjeri postrojenja koja koriste dizalice topline sa litijevim bromidom/vodom su CTS u Bjerringbrou (0,9 MW (hlađenje) – maksimalna temperatura 70°C) te Vestforbraendingu, Danska (13 MW (hlađenje) – maksimalna temperatura 80°C).

Učinkovitost dizalica topline se može povećati ukoliko se u isto vrijeme koriste i za grijanje i za hlađenje, kako bi se umanjili toplinski gubici. Kako bi se smanjile razlike tlaka, a samim time i potreban mehanički rad, mogu se koristiti hladnjaci ulja i pothlađivači. Također se mogu koristiti i visokoučinkoviti motori hlađeni vodom ili radnom tvari.

### 3.6.1 Kompresijske dizalice topline

Osnovni princip kompresijske dizalice topline prikazuje Slika 35. Dizalice topline uključuju niskotlačni i visokotlačni dio, što odgovara tlaku radne tvari koja cirkulira u dizalici topline. U niskotlačnom dijelu se preuzima toplina iz toplinskog izvora. U ovome dijelu dolazi do isparavanja radne tvari (1. korak - Slika 35). To znači da se toplinski izvor hladi. U kompresijskim dizalicama topline se tlak radne tvari, a samim time i temperatura, povisuje pomoću kompresora (2. korak). Voda iz sustava grijanja se zatim koristi za hlađenje radne tvari (3. korak) čime raste temperatura vode (u zračnim sustavima se za ovaj korak koristi zrak). Tlak u visokotlačnom dijelu se regulira ekspanzijskim ventilom (4. korak) te se na taj način omogućuje kontinuirani tok radne tvari u procesu.

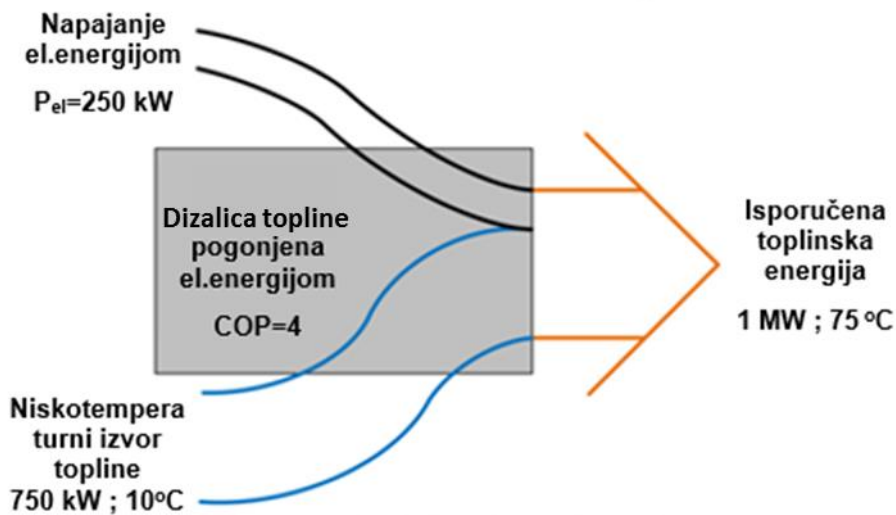


1: Isparivač, 2: kompresor, 3: kondenzator, 4: prigušni ventil

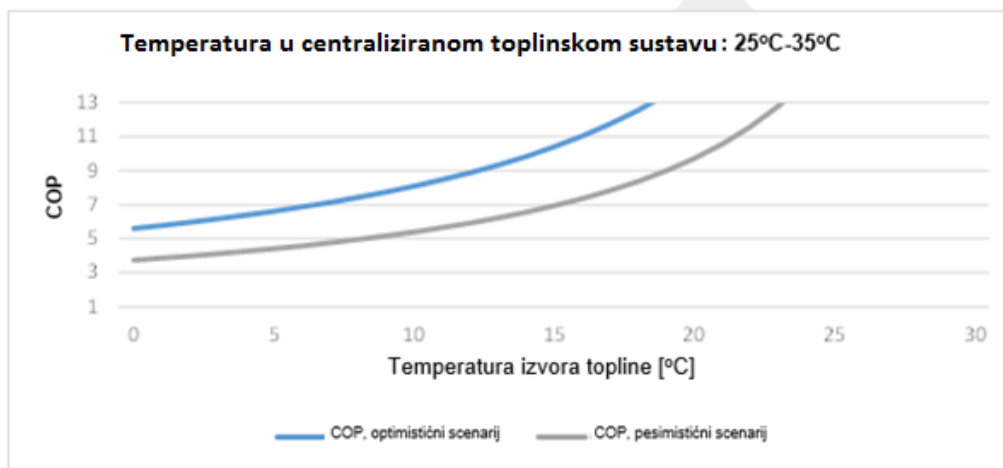
**Slika 35. Prikaz rada kompresorske dizalice topline.** Dizalica topline pogonjena motorom radi na sličan način, s obzirom da kompresor može biti pogonjen motorom ili električnom energijom. Glavna razlika u odnosu na apsorpcijske dizalice topline je način regeneracije radne tvari (Izvor: Danish Energy Agency & Energinet.dk, 2015)

Za kompresijske dizalice topline, faktor grijanja iznosi 3-5. Ovaj faktor ovisi o učinkovitosti pojedine dizalice topline, temperaturi toplinskog izvora i ponora te temperaturnoj razlici između toplinskog izvora i ponora. Energetski tok ovih sustava prikazuje Slika 36 (Sankeyev dijagram).

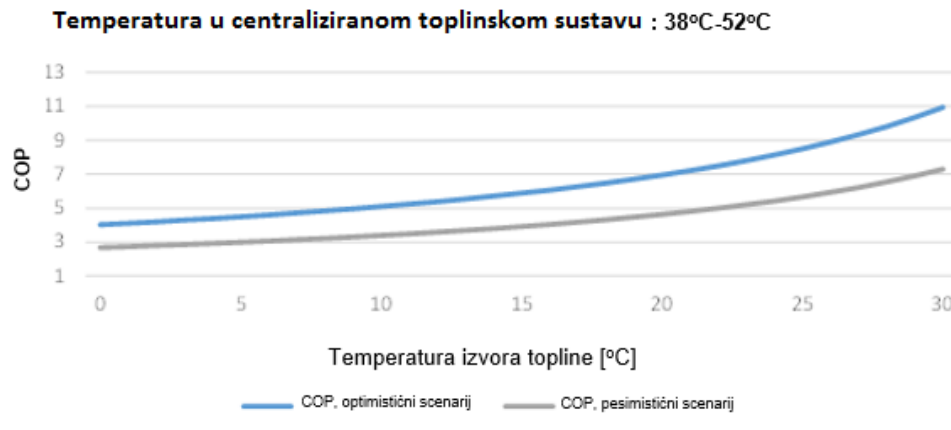
U CTS je temperatura toplinskog izvora ustvari temperatura okoliša, dok je temperatura ponora temperatura vode u CTS. Stoga je očito da učin dizalice topline ovisi o lokalnim uvjetima. Upravo se zato za izračun učinkovitosti ovih sustava koristi sezonski faktor grijanja (engl. Seasonal Coefficient Of Performance – SCOP). U sljedećim dijagramima se faktor grijanja kompresijske dizalice topline prikazuje kao funkcija temperature toplinskog izvora.



Slika 36. Sankeyev dijagram za dizalicu topline snage 1 MW; instalirana električna snaga od 250 kW omogućuje iskorištavanje 750 kW topline iz niskotemperaturnog izvora (10 °C) te predaje 1 MW topline na 75°C (COP=4) (Izvor: Danish Energy Agency & Energinet.dk, 2015)



Slika 37. Faktor iskoristivosti dizalice topline kao funkcija temperature toplinskog izvora. Temperature CTS-a: 25-35°C (povrat-polaz), u svim radnim točkama je hlađenje toplinskog izvora 5°C. Donja Lorentzova iskoristivost=40%, Gornja Lorentzova iskoristivost=60% (Izvor: Danish Energy Agency & Energinet.dk, 2016)



**Slika 38. Faktor učinkovitosti dizalice topline kao funkcija temperature toplinskog izvora. Temperature CTS-a: 38-52°C (povrat-polaz), u svim radnim točkama je hlađenje toplinskog izvora 5°C. Donja Lorentzova iskoristivost=40%, Gornja Lorentzova iskoristivost=60% (Izvor: Danish Energy Agency & Energinet.dk, 2016)**

Slika 37 i Slika 38 prikazuju da temperature u mreži CTS-a (i razlika između polazne i povratne temperature) imaju presudan utjecaj na faktor grijanja dizalice topline. Temperaturni raspon toplinskog izvora je odabran ovisno o pretpostavljenim radnim točkama. Potrebno je imati na umu da polazna i povratna temperatura mreže CTS-a ovise o lokalnim karakteristikama, kao što su materijali korišteni za izgradnju zgrada, postojeće regulative vezane uz zgradarstvo, temperaturna razina kojom se postiže toplinska uгода, itd. Ove karakteristike se mijenjaju ovisno o državi. Temperature prikazane na slikama (Slika 37 i Slika 38) su odabrane kako bi ilustrirale razliku između standardnih temperaturnih razina u zgradi sa podnim grijanjem (25-35°C) i modernim radijatorskim sustavom (38-52°C).

Ukoliko se koriste dizalice topline velikih snaga u CTS-u, primjenjuju se ista pravila vezana uz temperature. Što je niža temperatura polaza, viši je faktor grijanja te je samim time niža cijena topline. Promjenjiva temperatura polaza omogućuje optimizaciju dobave topline i povezanih troškova.

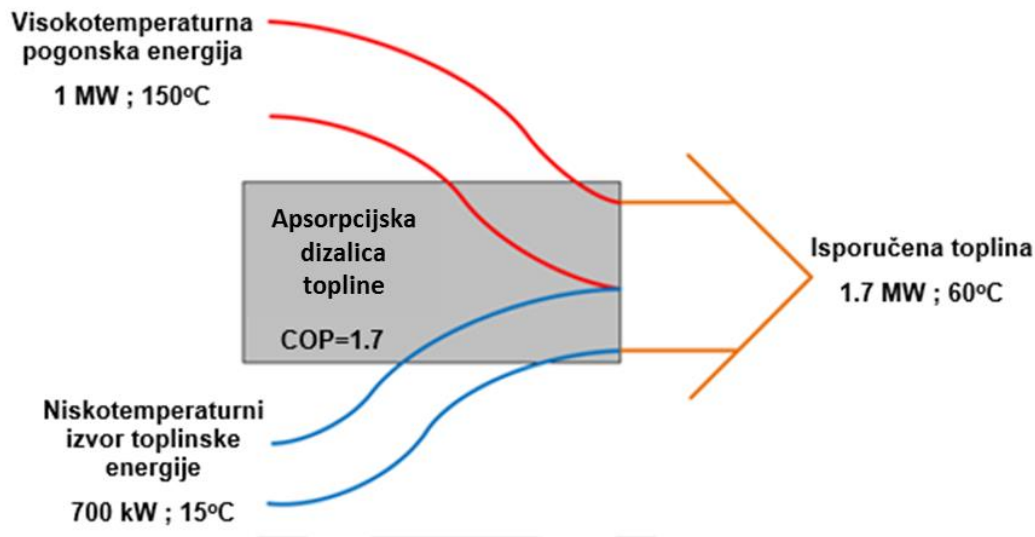
Kompresijske dizalice topline pogonjene električnom energijom ne ispuštaju emisije u okoliš s obzirom da ne sagorijevaju gorivo. To znači da se ovi sustavi mogu postaviti u područjima gdje postoje ograničenja na emisije ispušnih plinova. Međutim, stvarni faktor primarne energije ovisi o načinu proizvodnje električne energije (tj. da li se koriste fosilna goriva, nuklearna energija, obnovljivi izvori, itd.) što se mijenja ovisno o državi, a također i tijekom vremena.

U energetske sustavima u kojima električna energija igra važnu ulogu, kompresijske dizalice topline mogu integrirati električnu energiju u toplinske sustave na vrlo učinkovit način. U sustavima koji koriste električnu energiju za grijanje, dizalice topline smanjuju potrošnju električne energije te opterećenje električne mreže.

### 3.6.2 Sorpcijske dizalice topline

**Apsorpcijske dizalice topline** ne koriste električnu energiju za pogon procesa nego izvor topline koji predstavlja procesnu toplinu. Ta toplina regenerira radnu tvar koja isparava na niskim temperaturama te na taj način iskorištava niskotemperaturnu toplinu. Temperatura dobivene energije ne može biti viša od temperature pogonske topline niti niža od temperature niskotemperaturnog toplinskog izvora. U teoriji, 1 kJ topline može regenerirati 1 kJ radne tvari, što znači da maksimalni faktor grijanja apsorpcijske dizalice topline iznosi 2. Zbog gubitaka u sustavu, stvarni faktor grijanja iznosi oko 1,7. Faktor grijanja apsorpcijskih dizalica topline ne ovisi o temperaturi. Potrebno je osigurati određenu temperaturnu razliku za pogon procesa, međutim kada se ti uvjeti postignu, faktor grijanja će iznositi oko 1,7 te neće ovisiti o promjeni

temperature pogonske energije. Energetski tok apsorpcijske dizalice topline prikazan je u Sankeyevom dijagramu, Slika 39.



Slika 39. Sankeyev dijagram apsorpcijske dizalice topline snage 1,7 MW. Visokotemperaturna pogonska energija (1 MW) omogućava iskorištavanje 700 kW topline iz niskotemperaturnog toplinskog izvora (15°C). Sveukupna dobava topline je 1,7 MW na 60°C (faktor učinkovitosti je 1,7) (Izvor: Danish Energy Agency & Energinet.dk, 2015)

Princip rada **adsorpcijskih dizalica topline** je sličan principu rada apsorpcijskih dizalica topline. Međutim, glavna razlika je da se kod adsorpcijskih dizalica topline koristi sorpcija u krutim materijalima dok se kod apsorpcijskih dizalica topline koristi sorpcija u kapljevitim materijalima. Najčešće kombinacije materijala u adsorpcijskim dizalicama topline su:

- Zeolit – voda
- Silika gel – voda
- Aktivni ugljen – metanol
- Aktivni ugljen/sol - amonijak

### 3.6.3 Usporedba dizalica topline

Ekonomske karakteristike plinskih i električnih dizalica topline se uvijek moraju usporediti uzimajući u obzir sve ekonomske parametre, dakle investicijske troškove i troškove održavanja svih komponenti predloženih alternativa. Razlog tome su potencijalne razlike u dimenzioniranju izvora topline, kao što je prikazano u sljedećoj tablici. Toplinski izvori za plinsku dizalicu topline mogu biti manjeg kapaciteta nego za električnu dizalicu topline, s obzirom da pogonska energija u plinskim dizalicama topline dobavlja veću količinu ukupne ulazne energije.



Tablica 3. Prednosti i nedostaci različitih vrsta dizalica topline (Izvor: PlanEnergi)

Dizalica topline	Prednosti	Nedostaci
<b>Električna/zrak-zrak</b>	<p>Može se koristiti u zgradama koje nemaju centralni radijatorski sustav grijanja</p> <p>Jednostavna ugradnja, nisu potrebni nikakvi radovi na zemlji</p> <p>Niski investicijski troškovi</p> <p>Inverterske dizalice topline zrak-zrak mogu pokriti potrebe za toplinom i za hlađenjem</p>	<p>Općenito je teško istovremeno zadovoljiti postojanje optimalnih pogonskih uvjeta i visokih toplinskih potreba</p> <p>Svaka soba mora imati svoj uređaj</p> <p>U periodima visoke vlage u zraku te niske temperature, moguće je stvaranje leda na vanjskoj jedinici čime se smanjuje učinkovitost</p> <p>Jeftiniji proizvodi mogu biti vrlo glasni</p>
<b>Električna/zrak-voda</b>	<p>Veći faktor grijanja u sezoni grijanja nego kod dizalica topline zrak-zrak</p> <p>Jednostavnija ugradnja nego za npr. dizalice topline koje koriste tlo kao toplinski izvor</p>	<p>Jeftiniji proizvodi mogu biti vrlo glasni</p> <p>Učinkovitost ovisi o temperaturi okoliša i temperaturi polaza u sustavu grijanja. Dakle sustav ima najmanju učinkovitost za vrijeme niskih okolišnih temperatura, kada je potreba za toplinom najveća.</p> <p>Većina uređaja ima maksimalnu izlaznu temperaturu 55-60°C, te je stoga potreban kontinuirani tok vode za postizanje viših temperatura ili pokrivanje vršnih opterećenja</p> <p>Za postizanje visokog sezonskog faktora grijanja, potrebno je napraviti izmjene na postojećem sustavu (tj. potrebne su dodatne investicije)</p>
<b>Električna/tlo-voda</b>	<p>Veći faktor grijanja u sezoni grijanja nego kod dizalica topline zrak-zrak i zrak-voda</p> <p>Manje promjene faktora grijanja tijekom godine</p> <p>Jedan uređaj može pokriti potrebe za grijanjem i pripremom PTV</p> <p>Nema problema sa glasnom vanjskom</p>	<p>Najskuplja električna dizalica topline</p> <p>Potrebna je dodatna investicija za bušotinu</p> <p>Za postizanje visokog sezonskog faktora grijanja potrebno je napraviti izmjene na postojećem sustavu (tj. potrebne su dodatne investicije)</p>

jedinicom		
<b>Električna/podzemna voda</b>	<p>Toplinski izvor ima gotovo konstantnu temperaturu cijele godine pa faktor grijanja praktički ne ovisi o toplinskom izvoru</p> <p>Ostale prednosti su iste kao i za dizalicu topline tlo-voda</p>	<p>Visoki investicijski troškovi</p> <p>Korištenje podzemnih voda za energetske potrebe može biti ograničeno u nekim državama</p> <p>Najbliži vodonosnik se može nalaziti preduboko za izradu jednostavne bušotine</p> <p>Moraju se poduzeti mjere predostrožnosti kako bi se spriječilo zagađenje podzemnih voda</p>
<b>Električna/ventilacija, zrak</b>	<p>Omogućuje smanjenje potrošnje goriva jer se dio otpadne topline, koji bi inače bio izgubljen u okoliš, regenerira.</p>	<p>Zahtjeva ventilacijski sustav kojeg može biti skupo ili nemoguće implementirati u postojećim zgradama</p> <p>Toplinski kapacitet je ograničen količinom otpadne topline iz zgrade, a nemoguće je spriječiti sve gubitke energije</p>
<b>Plinska, apsorpcija</b>	<p>Poznata tehnologija za npr. zamjenu postojećih plinskih bojlera</p> <p>Manja potrošnja prirodnog plina nego kod npr. kotlova</p>	<p>Vrlo ograničen broj proizvoda na tržištu</p>
<b>Plinska, adsorpcija</b>	<p>Jednostavno je koristiti kao zamjenu za plinske kotlove</p> <p>GWP indeks (potencijal globalnog zatopljivanja) zeolita (radne tvari) iznosi 0. Većina ostalih radnih tvari ima pozitivan GWP indeks</p>	<p>Donja granica ulazne temperature je oko 2°C, tj. potrebno je koristiti sunčeve kolektore ili tlo kako bi se osigurala dovoljno visoka ulazna temperatura</p> <p>Malo veća potrošnja goriva nego kod npr. apsorpcijskih dizalica topline</p> <p>Vrlo ograničen broj proizvoda na tržištu te manjak iskustva u radu ovih sustava</p>
<b>Kompresor pokretan plinskim motorom</b>	<p>Poznata tehnologija korištena u komercijalne svrhe</p> <p>Visoki sezonski faktor hlađenja u usporedbi sa ostalim plinskim dizalicama topline. Stoga je ovo dobra tehnologija kada je također potrebno hlađenje</p>	<p>Trenutno je razvoj ove tehnologije usredotočen na komercijalnu primjenu</p> <p>Motor može biti glasan</p>

### 3.7 Vršni i zamjenski kotlovi

Ovaj priručnik se koncentrira na obnovljive izvore energije u malim CTS. Međutim, kako bi se projekti financijski isplatili, koji puta je potrebno uz obnovljive izvore koristiti i kotlove na fosilna goriva kako bi pokrivali vršna opterećenja u sustavu.

**Vršni kotlovi** su kotlovi koji se pale samo ako sve ostale komponente sustava ne mogu zadovoljiti vršno opterećenje u sustavu. Uobičajeno se ovakve situacije događaju samo par dana godišnje. Bez obzira na to, troškovi pokrivanja vršnog opterećenja su vrlo visoki. Zato se mogu ugraditi jeftini vršni kotlovi, čime cjelokupni projekt postaje isplativ. Ovi kotlovi također mogu koristiti biometan kao zamjenu za prirodni plin (vidi poglavlje 3.2.5) ili biljna ulja kao zamjenu za loživo ulje (vidi poglavlje 3.2.6).

U slučaju da ostale komponente CTS-a zakažu, mogu se koristiti **zamjenski kotlovi** kako bi se osigurala dobava topline. Ovi kotlovi mogu koristiti loživo ulje ili prirodni plin kao gorivo. Ovisno o dizajnu sustava te poslovnom modelu koji se koristi, zamjenski kotlovi mogu biti ugrađeni na samoj lokaciji postrojenja ili na lokaciji vanjskog dobavljača topline koji ih pogoni u slučaju nužde.

U nekim malim CTS, naročito ako se koristi otpadna toplina iz bioplinskog postrojenja, operator distribucijske mreže garantira samo pokrivanje baznog opterećenja, a ne cjelokupnog opterećenja. Korištenjem ovog poslovnog modela, korisnici imaju nižu cijenu topline jer im se ne garantira dobava topline. Stoga korisnici moraju imati i određenu vrstu zamjenskog ili vršnog kotla u vlastitim zgradama. Ovaj specifični slučaj je opisan u Rutz et al. (2015).



Slika 40. Vršni kotao na lož ulje u sklopu bioplinskog postrojenja u Njemačkoj (lijevo) te plinski kotlovi (desno) u sklopu postrojenja na biomasu u Češkoj (Izvor: Rutz D.)

## 4 Tehnologije za pohranu toplinske energije

Tehnologije za pohranu energije omogućuju razdvajanje međusobno povezane proizvodnje i potražnje te balansiranje fluktuacija u proizvodnji energije. Povećavaju fleksibilnost sustava s većim udjelom intermitentnih (obnovljivih) izvora energije. Također posjeduju mogućnost pohrane relativno jeftine električne energije koja se pretvara u toplinu. Spremnici energije također povećavaju i učinkovitost proizvodnih postrojenja omogućujući kotlovima na biomasu i kogeneracijskim postrojenjima dulji period rada u optimalnoj radnoj točki.

Glavna svrha pohrane je omogućavanje proizvodnje u optimalnim ili što povoljnijim uvjetima kao što je to proizvodnja topline putem solarnih kolektora ili električne energije u vrijeme kada je otkupna cijena viša od cijene proizvodnje. Veličina spremnika također uvelike ovisi i o duljini pohrane i kapacitetu.

Ovisno o trenutku kada pohranjena energija mora biti raspoloživa, toplinski spremnici dijele se na toplinske spremnike za **kratkoročnu** i **sezonsku** pohranu. Spremnici za kratkoročnu pohranu energije balansiraju proizvodnju i potražnju od nekoliko sati do nekoliko dana. Takvi spremnici još su poznati i pod nazivom spremnici za balansiranje ili „engl. buffer“ spremnici. Sezonski spremnici imaju znatno veće kapacitete te posjeduju mogućnost međusezonskog balansiranja proizvodnje i potražnje. Pretežno se primjenjuju za pohranu topline iz solarnih kolektora.

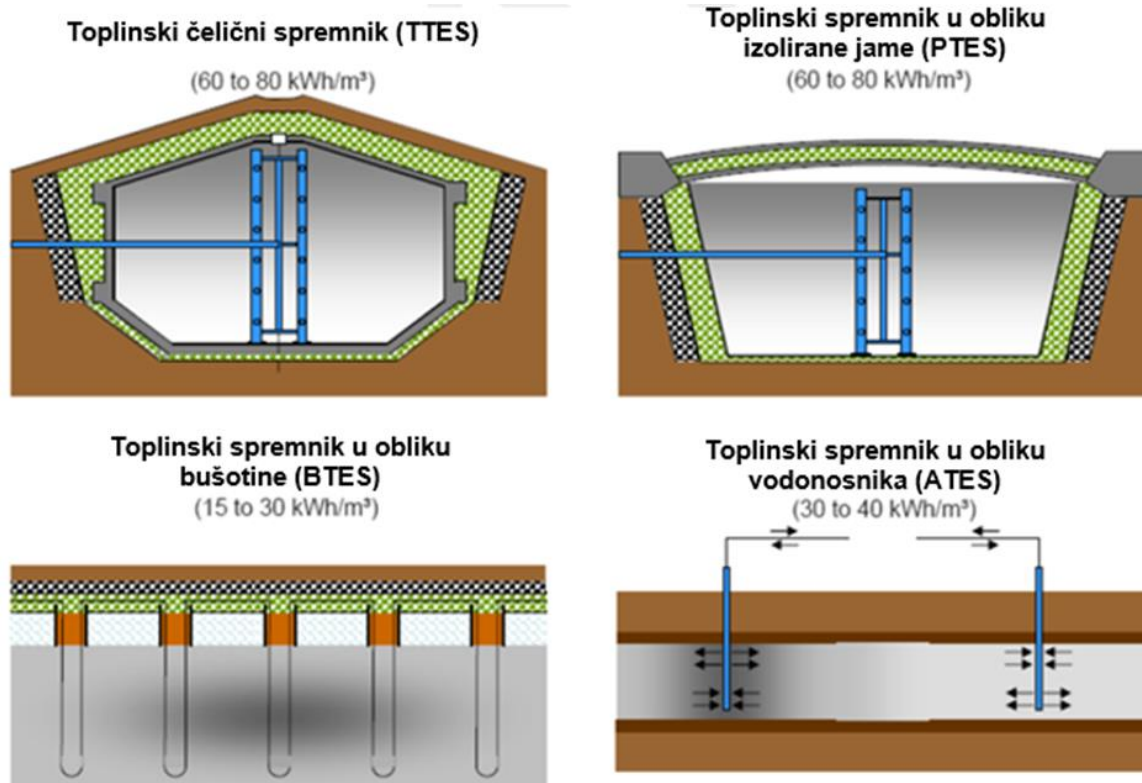
Tipovi tehnologija za pohranu energije:

- **Pohrana osjetne topline:** iskorištava toplinski kapacitet medija za pohranu. Najčešće je to voda koja ima izrazito visok specifični toplinski kapacitet, nije toksična i relativno je jeftina s obzirom na ostale medije.
- **Pohrana latentne topline:** koristi latentnu toplinu medija koja se oslobađa prilikom fazne promjene na određenoj temperaturi. Najčešće se koriste fazno promjenljivi materijali.
- **Termokemijska pohrana topline:** iskorištava toplinu pohranjenu u reverzibilnim kemijskim reakcijama.
- **Sorpcijska pohrana topline:** koristi toplinu adsorpcije ili apsorpcije kombinacije materijala poput zeolita i vode (adsorpcija) ili vode i litijevog bromida (apsorpcija).

Kod **spremnika osjetne topline**, temperatura materijala raste s dovodom topline. Toplina se pohranjuje u radnom mediju a svojstva spremnika ovise o materijalu, toplinskom kapacitetu i toplinskoj izolaciji sustava. U velikoj većini slučajeva kao radni medij se koristi voda. Ova tehnologija poznata je široj javnosti iz primjene spremnika za toplu vodu u kućanstvima. To je ujedno i najkorišteniji sustav za pohranu koji je detaljnije opisan u poglavljima 4.1 i 4.2.

Najkorištenije tehnologije za pohranu osjetne topline su (Slika 41):

- **Toplinski spremnik u obliku čeličnog spremnika** (TTES, engl. Tank thermal energy storage), većinom za dnevnu pohranu
- **Toplinski spremnik u obliku izolirane jame** (PTES, engl. Pit thermal energy storage), za dnevnu ili sezonsku pohranu
- **Toplinski spremnik u obliku bušotine** (BTES, engl. Borehole thermal energy storage) za dnevnu ili sezonsku pohranu
- **Toplinski spremnik u obliku vodonosnika** (ATES, engl. Aquifer thermal energy storage): za dnevnu ili sezonsku pohranu



Slika 41. Postojeći koncepti za pohranu topline (Izvor: Steinbeis Forschungsinstitut Solites)

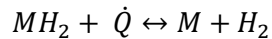
**Spremnici latentne topline** koriste **fazno promjenjive materijale** koji uslijed dovođenja topline prelaze u drugu fazu. Kod promjene faze (što je u praksi najčešće slučaj) toplina se pohranjuje u promijenjenoj fazi (npr. voda – led). Oslobođanje topline odvija se reverznom transformacijom. Svojstva takvog spremnika ovise o latentnoj toplini i toplinskoj izolaciji.

Specijalna primjena pohrane topline korištenjem PCM materijala (engl. Phase Change Material) su mobilni kontejneri (Slika 42). Njihova primjena opravdana je u situacijama gdje je pristup CTS-u ograničen, zbog prevelike udaljenosti od magistralnog voda ili u potpunosti onemogućen zbog zakonskog ili nekog drugog specifičnog okvira. Važno je napomenuti da ova tehnologija nije u široj primjeni te svega nekoliko tvrtki diljem svijeta nudi uslugu pohrane topline u kontejnerima.

Visokotemperaturni spremnici latentne topline (HT-LHS) kod kojih se pohrana odvija na temperaturi višoj od 300°C i niskotemperaturni spremnici latentne topline (LT-LHS) kod kojih se pohrana odvija ispod 0°C zajedno s tradicionalnim spremnicima PCM kod kojih se pohrana odvija u temperaturnom rasponu od 0 do 300°C uobičajeni su primjeri ove vrste spremnika.

Kod **termokemijskih spremnika topline** odvija se reverzibilni kemijski proces koji za pohranu topline koristi promjenu entalpije sustava. Primjer iz prakse su metal-hidridi a reverzibilnu kemijsku reakciju prikazuje Jednadžba 2.

Kapacitet termokemijskih spremnika topline ovisi o promjeni entalpije a gubici se s vremenom reduciraju na nulu ukoliko se odvijanje reverzibilnog procesa spriječi mehaničkom izolacijom novonastalog plina zatvaranjem ventila. Regeneracija topline postiže se otvaranjem ventila čime se omogućuje odvijanje reverzibilne reakcije.



Jednadžba 2

$\dot{Q}$  Toplina potrebna za disocijaciju hidrida (raspadanje hidrida je endotermni proces) [W]

$M$  Metal

$H_2$  Vodik



Slika 42. Kontejner za pohranu topline u spalionici otpada (Augsburg, Njemačka) (Source: Rutz D.)

**Sorpcijski toplinski spremnici** koriste toplinu adsorpcije ili apsorpcije kombinacije materijala poput zeolita i vode (adsorpcija) ili voda litijev bromid (apsorpcija). Privukli su mnogo pažnje zbog visoke energetske gustoće i sposobnosti dugotrajnog skladištenja topline.

#### 4.1 Spremnici za kratkoročnu pohranu

Postoji niz tehnologija za kratkoročnu pohranu topline koji ovisno o primjeni optimiziraju proizvodnju topline za potrebe grijanja i hlađenja. Najkorišteniji su i dalje **toplinski spremnici u obliku čeličnih tankova**.

Toplinski spremnici u obliku tankova najčešće su izrađeni od nehrđajućeg čelika, betona ili plastike ojačane staklenim vlaknima. Pretežno su ispunjeni vodom a veličina im ovisi o ukupnoj veličini sustava. Manji spremnici od nekoliko stotina litara većinom se primjenjuju u kućanstvima dok se veliki spremnici od nekoliko stotina metara kubnih primjenjuju u sklopu centraliziranih toplinskih sustava. Debljina i vrsta izolacije uvelike ovisi o klimatskom okruženju, temperaturnom režimu i namjeni. Većina takvih spremnika koji se koriste u sklopu Danskih CTS-a izolirani su mineralnom vunom debljine između 30 – 45 cm, prvenstveno za smanjenje toplinskih gubitaka kako prikazuje Slika 43.



Slika 43. Izgradnja dva nova toplinska spremnika u obliku čeličnog tanka u CTS-u Hjallerup (lijevo) i izgradnja iste vrste spremnika topline povezanog sa sunčevim kolektorima i kotlom na slamu. Više o CTS-u u Hjallerupu se može saznati u izvještaju o primjerima najbolje prakse Laurberg Jensen et al.(2016) (Izvor: <http://www.hjallerupfjernvarme.dk>)

Temperaturni režim u toplinskim spremnicima, ovisno o namjeni, obuhvaća široki raspon. U CTS-ima gornja granica temperature jednaka je temperaturi polaza mreže CTS-a, dok je u CRS-ima situacija obrnuta te je donja granica jednaka temperaturi polaza mreže CRS-a.

Kapacitet spremnika ovisi o temperaturnom režimu samog spremnika. Kapacitet pohrane osjetne topline daje Jednadžba 3 odakle je vidljivo da je za fiksnu masu radnog medija kapacitet pohrane topline proporcionalan temperaturnoj razlici.

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Jednadžba 3

$Q$  pohranjena toplina

$m$  masa radnog medija

$c_p$  specifični toplinski kapacitet radnog medija

$\Delta T$  temperaturna razlika minimalne i maksimalne temperature radnog medija u spremniku.

Voda je najrasprostranjeniji radni medij za pohranu topline pri temperaturama nižim od 100 °C. Vodu pod tlakom moguće je koristiti i za temperature iznad 100°C. Voda je većinom prvi izbor zbog velikog broja prednosti. Najistaknutije su ne toksičnost, dobra fizikalna svojstva, visoki specifični toplinski kapacitet i relativno niska cijena u odnosu na ostale radne medije. Specifični toplinski kapacitet vode iznosi 4,18 kJ/(kgK) što je znatno više od ostalih izdašnih materijala poput pijeska, željeza i betona.

Dolazna temperatura radnog medija u toplinskom spremniku većinom je jednaka temperaturi polaza proizvodnih postrojenja u CTS-u. U većini slučajeva toplinski spremnik ima mogućnost isporuke topline prema zadanim parametrima polaznog voda mreže CTS-a. Temperaturni gradijent unutar spremnika održava se pomoću sustava cijevi koji omogućava učinkovitiju pohranu.

Vertikalna distribucija u temperaturnim slojevima omogućava izvlačenje najtoplije vode s vrha spremnika. Ta pojava poznata je još i pod nazivom **temperaturna stratifikacija**. Neki toplinski spremnici imaju nekoliko priključaka, od kojih se većina koristi za napajanje potrošača s različitim temperaturnim režimima. Uporaba takvih toplinskih spremnika omogućuje izvlačenje topline pri nižoj temperaturi iz srednjih temperaturnih slojeva uz istovremeno održavanje visoke temperature na vrhu spremnika. To je iznimno korisno kod vrlo velikih toplinskih spremnika kod kojih je vrlo važno održavanje konstantne temperaturne stratifikacije. Povoljnu temperaturnu stratifikaciju obilježava velika temperaturna razlika po visini spremnika. Time se izbjegava situacija u kojoj se unutar spremnika nalazi veliki volumen preniske temperature radnog medija.

Toplinski spremnici u obliku čeličnih tankova najrasprostranjenija su tehnologija koja se koristi u sklopu gotovo 300 Danskih CTS-a. Najčešće su cilindričnog oblika smješteni na nadzemnoj platformi, no postoje i slučajevi podzemne izvedbe gdje je toplinski spremnik ukopan u zemlju. Čest primjer takvih podzemnih toplinskih spremnika je u Njemačkoj gdje se koriste u sklopu manjih solarnih CTS-a. U slučaju ugradnje nadzemnih toplinskih spremnika zauzeta je velika površina koja je u slučaju ugradnje podzemnih spremnika slobodna za drugu namjenu.

Cilindrični čelični toplinski spremnici originalno su korišteni u Danskoj u sklopu kogeneracijskih postrojenja za maksimiziranje profita u vrijeme povišene cijene električne energije. Prosječni spremnik volumena je 3 000 m<sup>3</sup> a ukupni kapacitet svih takvih spremnika u Danskoj kreće se oko 50 GWh. Zbog sve veće proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora poput sunca i vjetra broj sati rada kogeneracijskih postrojenja je u padu. Danas se ovakvi spremnici koriste za pohranu solarne energije i često su nadograđeni s dodatnim kapacitetima za pohranu topline. Toplinski spremnici također pomažu pri optimizaciji rada ostalih proizvodnih postrojenja poput kotlova na biomasu.

## 4.2 Sezonska pohrana

Sezonski toplinski spremnici omogućuju međusezonsku interakciju proizvodnje i potražnje. Pretežno se koriste za pohranu topline iz solarnih kolektora za vrijeme toplih, ljetnih mjeseci, koja se koristi za grijanje prostora i pripremu potrošne tople vode zimi. Sezonski spremnici omogućuju zadovoljavanje potražnje s većim udjelom solarne energije, no specifični investicijski troškovi su im znatno viši u odnosu na konvencionalne tehnologije. Ključno ih je dimenzionirati prema očekivanoj potražnji zbog izrazito ograničene modularnosti.

Osim sa solarnim kolektorima, sezonske toplinske spremnike moguće je integrirati i s dizalicama topline i izvorima otpadne topline kao npr. industrijskim postrojenjima i termoelektranama. Dobar primjer takvog sustava je CTS u Gram-u, Danska (vidi izvještaj o primjerima najbolje prakse Laurberg Jensen et al. 2016).

Primjeri tehnologija za pohranu energije u sezonskim toplinskim spremnicima: (Slika 41):

- Toplinski spremnik u obliku izolirane jame (PTES, engl. Pit thermal energy storage): Dronninglund, Marstal, Gram (Danska)
- Toplinski spremnik u obliku bušotine (BTES engl. Borehole thermal energy storage): Brædstrup (Danska)
- Toplinski spremnik u obliku vodonosnika (ATES, engl. Aquifer thermal energy storage)





Slika 44. Toplinski spremnik u obliku izolirane jame, Marstal, Danska (Izvor: PlanEnergi)



Slika 45. Uvećani prikaz rubnog dijela toplinskog spremnika u obliku izolirane jame u sklopu solarnog CTS-a u Gram, Danska (Izvor: Rutz D.)



Slika 46. Toplinski spremnik u obliku bušotine u sklopu solarnog CTS-a u Brædstrup, Danska (Izvor: PlanEnergi)

**Toplinski spremnici u obliku izolirane jame** relativno su jeftina tehnologija razvijena u sklopu solarnih CTS-a. Danas je u pogonu malen broj PTES-a unatoč relativno velikom razvojnom potencijalu ove tehnologije. Jedna od glavnih prepreka je temperaturna razina radnog medija. Visoka temperatura ( $> 90^{\circ}\text{C}$ ) značajno skraćuje životni vijek izolacijskog pokrova. Istovremeni razvoj visokotemperaturnog ( $> 90^{\circ}\text{C}$ ) i niskotemperaturnog PTES-a omogućuje integraciju ne samo solarnih kolektora već i otpadne topline iz industrijskih postrojenja. Primjer takvog CTS-a nalazi se u Gram-u, Danska, gdje se otpadna toplina iz obližnje industrije pohranjuje za zadovoljavanje toplinske potražnje u kasnijem periodu. Kako ova vrsta toplinskih spremnika zauzima velik prostor njezin utjecaj na lokalnu sredinu je značajan te je njegova izgradnja ograničena lokalnim prostorno-planskim uvjetima.

**Toplinski spremnici u obliku bušotina** relativno su nova tehnologija. Do sada je izgrađeno jedno takvo postrojenje u Brædstrupu, Danska. BTES može potencijalno zamijenit sezonske PTES posebice u gusto naseljenim sredinama s ograničenim lokalnim prostorno-planskim uvjetima. BTES tehnologija još uvijek je u ranim fazama razvoja.

**Toplinski spremnici u obliku vodonosnika** služe za pohranu u niskotemperaturnom režimu do  $20^{\circ}\text{C}$ , što značajno ograničava njihovu primjenu. U Danskoj se nalazi samo nekoliko primjera CTS-a s ATES spremnikom. Većinom se primjenjuju u kombinaciji s otočnim postrojenjima čija je namjena pokrivanje toplinske potražnje jedne zgrade. Potencijalno mogu raditi i u višim temperaturnim režimima kod kojih iznos maksimalne temperature pohrane uvelike ovisi o dubini ( $> 250$ ) i lokalnim podzemnim uvjetima.

## 5 Mali modularni centralizirani toplinski sustavi

### 5.1 Veličina sustava

CTS može pokrivati velika područja (npr. CTS koji pokriva šire područje Kopenhagena), a isto tako i mala područja, poput sela koja imaju samo nekoliko kuća. Instalirana snaga CTS-a također varira, ovisno o veličini područja koje pokriva. U velikim sustavima, mreža CTS-a se može sastojati od prijenosne mreže (koja prenosi toplinu na velike udaljenosti, pri visokim temperaturama/tlakovima) i od distribucijske mreže (koja prenosi toplinu na lokalnoj razini, pri nižim temperaturama/tlakovima) (Danish Energy Agency & Energinet.dk, 2015).

**Mali centralizirani toplinski sustavi** predstavljaju lokalne koncepte za dobavu topline iz obnovljivih izvora kućanstvima te malim i srednje velikim industrijama. U nekim slučajevima, ovi sustavi mogu biti povezani sa velikim CTS, međutim općenita ideja je da ovi sustavi imaju individualnu distribucijsku mrežu na koju je spojen relativno mali broj potrošača. Ovi koncepti se često implementiraju u selima ili malim gradovima. U tu svrhu se mogu koristiti razni toplinski izvori, poput sunčevih kolektora, biomase te otpadne topline (npr. topline iz industrijskih procesa ili bioplinskih postrojenja, koja se trenutno ne koristi). Kotlovi na fosilna goriva se mogu ugraditi za pokrivanje vršnih opterećenja ili kao zamjenski kotlovi kako bi se povećala ukupna isplativost projekta. Malim CTS-om uglavnom upravljaju komercijalne tvrtke te su ovi sustavi veći od mikro CTS-a.

**Mikro CTS** uglavnom opskrbljuju mali broj potrošača, npr. 2 do 10. Prednost ovih sustava je da se mogu znatno brže i jednostavnije izgraditi, zbog malog broja potrošača i jednostavnijih procedura. Potrošači određuju način naplaćivanja potrošene topline te tko upravlja sustavom.

Neovisno o veličini mreže, važno je da se tijekom planiranja sustava mreža ne predimenzionira. Veće dimenzije mreže uzrokuju veće toplinske gubitke i veće investicijske troškove.

Važan faktor prilikom planiranja ovih sustava je gustoća toplinskih potreba (vidi poglavlje 6.2.2), koja se određuje kao omjer prodane topline na godišnjoj razini (MWh/god) i duljine mreže (u metrima). Općenito pravilo je da bi ovaj faktor trebao iznositi iznad 900 kWh/m/god. Cilj je da se proda što više topline na što manjem području. U slučaju da je gustoća toplinskih potreba potencijalnog CTS-a nedovoljno visoka, individualni sustavi grijanja će biti isplativiji.

### 5.2 Temperature sustava

#### 5.2.1 Odabir odgovarajućih temperatura sustava

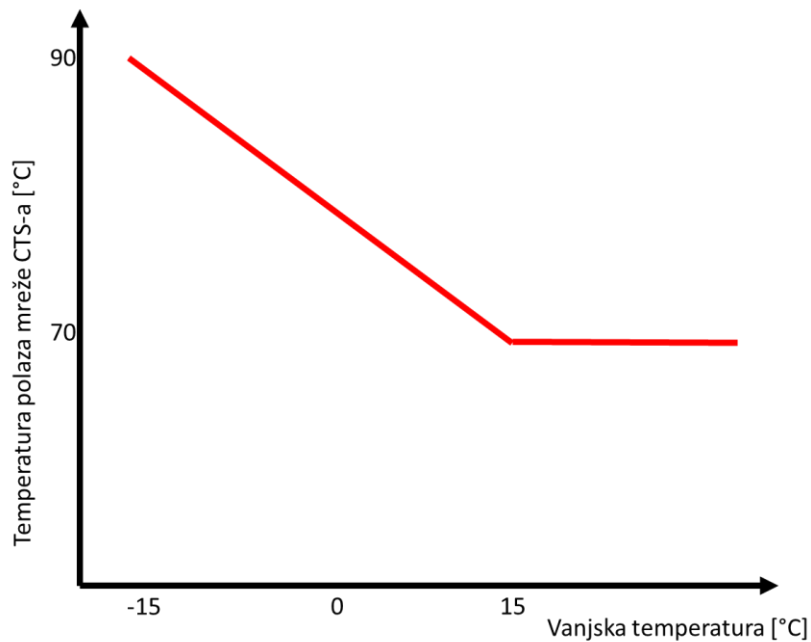
Što je veća razlika između temperature polaza i povrata to će biti manji protok i manji toplinski gubici. Također, u tom slučaju se smanjuje i potrošnja električne energije za pogon pumpi. Dakle, sa stajališta tvrtke koja upravlja CTS-om, cilj je postići što veću temperaturnu razliku u sustavu.

Postoje određena pravila koja je potrebno uzeti u obzir kako bi se odabrale odgovarajuće temperature u mreži CTS-a:

- Temperature u malim CTS ovise o temperaturama koje zahtijevaju potrošači. Ukoliko je zahtijevana temperatura određenih potrošača previsoka, za njih je potrebno razmotriti korištenje individualnih sustava grijanja, tj. da se ne spajaju na mrežu.
- Važna karakteristika CTS-a su toplinski gubici koji se javljaju u distribucijskoj mreži. Što je veća temperatura u sustavu, to su veći toplinski gubici

- Potrebno je minimizirati dnevne varijacije temperatura polaza kako bi se smanjilo naprezanje cijevi, a samim time i produžio njihov životni vijek.
- Temperaturna razlika između polaza i povrata malih CTS-a bi trebala iznositi minimalno 30°C kako bi se smanjili protok medija, dimenzije cijevi te troškovi za pogon pumpi.

Temperatura polaza se može mijenjati ovisno o temperaturi okoliša (Slika 47). Tijekom zime, kada su okolišne temperature najniže, temperature polaza su najviše. Tijekom ljeta, potrebno je osigurati dovoljno visoku temperaturu za pripremu PTV-a.



Slika 47. Primjer temperatura polaza mreže CTS-a, ovisno o temperaturi okoliša (Izvor: Güssing Energy Technologies)

### 5.2.2 Visokotemperaturni sustavi

Visokotemperaturni sustavi se koriste u slučajevima kada je potrebno pokriti visokotemperaturne toplinske potrebe (npr. u industrijskim postrojenjima). Visokotemperaturni sustav koristi vodu temperature iznad 90°C kao medij za prijenos topline. Visoke temperature u mreži uzrokuju veće toplinske gubitke i niži životni vijek distribucijske mreže.

Postrojenje za proizvodnju topline mora biti locirano u blizini industrije koja zahtjeva visokotemperaturnu toplinu. Ostatak mreže CTS-a (npr. za grijanje kućanstava) se onda može napajati toplinom nižih temperatura.

Industrijska postrojenja često uzrokuju porast temperature u povratu. Cilj je snižavanje temperature povrata kako bi se smanjili protok i toplinski gubici. Potrebno je uzeti u obzir da određene tehnologije za proizvodnju topline (npr. plinski motori s unutrašnjim izgaranjem) zahtijevaju niske temperature povrata kako bi se osigurao optimalni pogon.

### 5.2.3 Srednje-temperaturni sustavi

Srednje-temperaturni sustavi su najčešće korišteni CTS-i. Temperatura polaza se u ovim sustavima kreće u rasponu 65°C do 90°C. Najčešće se koriste za grijanje zgrada (npr. kuće, stambene zgrade, poslovne zgrade) te pripremu PTV-a. Postojeće stare zgrade često zahtijevaju temperature iznad 80°C ili čak i više. Nove zgrade mogu koristiti toplinu na razini 50 do 70°C, ovisno o kvaliteti izolacije na zgradi i sustavu grijanja koji se koristi (npr. radijatorsko ili podno grijanje).

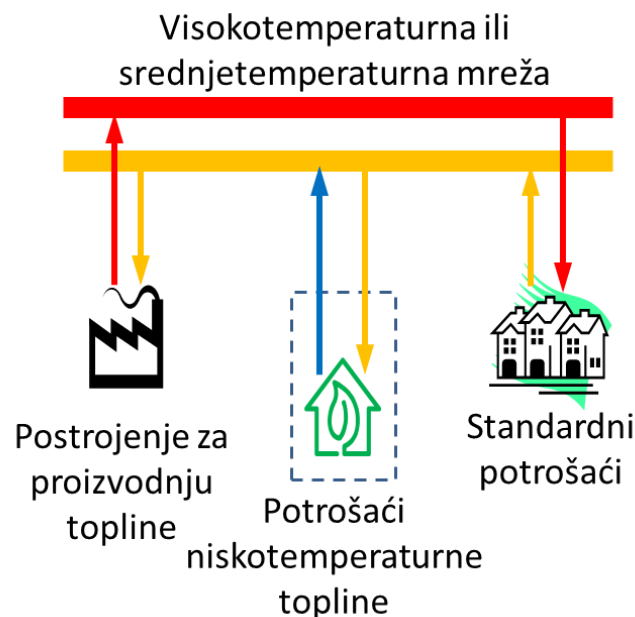
Kako bi se pripremila potrošna topla voda (koja se skladišti u spremnicima), temperatura polaza mreže CTS-a mora tijekom cijele godine iznositi barem 65 do 70°C, kako bi se spriječili problemi sa legionela bakterijom.

#### 5.2.4 Niskotemperaturni sustavi

Niskotemperaturni sustavi (engl. low-temperature district heating - LTDH), koji imaju temperature polaza ispod 65°C, postaju sve značajniji u pokrivanju toplinskih potreba niskoenergetskih potrošača. Prednost ovih sustava je smanjivanje toplinskih gubitaka te mogućnost korištenja polimernih cijevi. Također, ovi sustavi mogu implementirati i druge niskotemperaturne izvore poput dizalica topline i otpadne topline iz industrije. Na ovim temperaturama, glavni problem predstavlja legionela bakterija. Stoga je potrebno koristiti drugačije metode za pripremu PTV-a.

Niskotemperaturni sustavi se također mogu koristiti kao dio srednje-temperaturnih i visokotemperaturnih sustava, što se naziva kaskadni sustav (Slika 48). Povrat srednje ili visokotemperaturne mreže se tada može koristiti kao polaz za niskotemperaturni sustav.

Prednosti niskotemperaturnog CTS-a su smanjeni toplinski gubici mreže, čime se ostvaruju uštede energije i niži troškovi goriva. Nadalje, mogu se koristiti razni izvori topline, uključujući obnovljive izvore energije i otpadnu toplinu iz industrijskih procesa. Konačno, izgradnja niskotemperaturnog CTS-a nije skuplja alternativa izgradnji konvencionalnog CTS-a.



**Slika 48. Korištenje povrata za dobavu topline potrošačima koji koriste niskotemperaturnu toplinu (Izvor: Güssing Energy Technologies)**

Na primjer, u Austriji postoje niskotemperaturni CTS koji imaju konstantnu temperaturu polaza 55°C tijekom cijele godine. PTV se priprema korištenjem izmjenjivača topline na razini pojedinog kućanstva. Potrošači su izravno spojeni na mrežu CTS-a. Tijekom zime, toplina se u CTS dobavlja putem kotla na pelete, a tijekom ljeta putem dizalice topline zrak-voda. Na mrežu su spojene samo niskoenergetske zgrade (sustav grijanja - podno grijanje ili niskotemperaturni radijatori), koje se nalaze u gusto naseljenom području. Iz ovog razloga je cjelokupna duljina mreže mala.

Sljedeći primjer je Dollnstein u Njemačkoj (vidi CoolHeating izvještaj o primjerima najbolje prakse, Laurberg Jensen et al. 2016), gdje je tijekom ljeta temperatura polaza u mreži na razini

20-30°C. S obzirom da se radi o malenom gradu, ne postoje potrebe za visokim temperaturama tijekom ljeta. Visoke temperature bi uzrokovale visoke toplinske gubitke pa je stoga temperatura spuštena na navedenu razinu u razdoblju između svibnja i listopada. Ova činjenica omogućuje pokrivanje toplinskih potreba tijekom ljeta isključivo obnovljivim izvorima energije, tj. sunčevim kolektorima.

Više informacija o niskotemperaturnim sustavima te primjeri najboljih praksi su prikazani u Köfing et al (2015).

#### 5.2.5 Važnost niske temperature povrata u mreži CTS-a

Količina topline iz CTS-a koja se konačno preda potrošačima najviše ovisi o konstrukciji i postavkama sustava grijanja zgrade, ali također i o učinku toplinske podstanice te stanju u kojem se ona nalazi. Niska temperatura povrata u mreži CTS-a (što znači da je veća količina topline predana potrošaču) te dobar učinak toplinskih podstanica su od interesa kako za potrošača, tako i za tvrtku koja upravlja CTS-om. Stoga upravljanje i nadzor temperature povrata u mreži CTS-a predstavlja važan faktor (Euroheat&Power, 2008).

Cilj sustava je smanjiti temperaturu povrata u sekundarnom krugu (dakle u samoj zgradi) čime se smanjuje i temperatura povrata u cijeloj mreži. Rezultat toga su niži protok medija za prijenos topline, manji troškovi pogona pumpi te veće maksimalno toplinsko opterećenje mreže. Stoga bi tvrtke koje upravljaju CTS-om trebale pregledati shemu sustava grijanja potrošača te potaknuti potrošače na adaptaciju vlastitog sustava grijanja kako bi smanjili temperaturu povrata.

#### 5.2.6 Nadzor temperature

Nadzor temperature omogućuje snižavanje temperatura polaza i povrata te u isto vrijeme održavanje velike temperaturne razlike u sustavu. Kako bi se minimizirali toplinski gubici u mreži CTS-a, optimirala proizvodnja topline, smanjila potrošnja goriva te smanjile emisije CO<sub>2</sub>, mnoga postrojenja koriste softver za optimizaciju temperature. Optimizacijski softveri se mogu vezati sa programima za proračun mreže te SCADA sustavima (engl. Supervisory Control and Data Acquisition – SCADA).

Optimizacijski program prikuplja važne podatke o vanjskim uvjetima te rezultate mjerenja iz same mreže CTS-a, npr. mjerenu temperaturu polaza. Mjerna mjesta se najčešće nalaze na „problematičnim“ dijelovima mreže. Prikupljeni podaci mogu sadržavati vremenske prognoze, toplinske potrebe te izmjerene temperature u mreži. Podaci se obrađuju u kratkom vremenu te se na taj način mnogi pogonski parametri mogu odrediti na satnoj razini (ili čak u kraćim vremenskim koracima). Tako se osigurava da je sustav pogonjen na najučinkovitiji mogući način.

Općenito, softverski programi koriste sljedeće parametre kako bi izračunali temperaturu polaza:

- Vremenske uvjete
- Protok
- Temperaturu povrata
- Uzorke potrošnje topline za pripremu PTV-a
- Dan u tjednu – Radni dan / vikend / praznici

Posljedica optimizacije temperature je:

- Niža prosječna temperatura polaza i povrata
- Manji toplinski gubici u mreži CTS-a
- Optimalniji rad pumpi

## 5.3 Cijevi

Mreža CTS-a sastoji se od spojenih cijevi za transport tople vode iz postrojenja za proizvodnju toplinske energije (**polaz**) te cijevi za povrat ohlađene vode natrag do postrojenja (**povrat**). Cijevi moraju biti pažljivo odabrane i dimenzionirane kako bi se povećala ukupna efikasnost sustava te minimizirali gubici. Promjer te korišteni materijal su glavne karakteristike koje se moraju uzeti u obzir.

### 5.3.1 Tip i promjer cijevi

Tip i promjer cijevi ovise o udaljenosti, tlaku te količini topline koja se mora transportirati do potrošača. Promjer te time i kapacitet cijevi za CTS može varirati od svega 16 mm pa sve do preko 600 mm.

U pravilu se za glavne, sporedne i magistralne cjevovode koriste pred-izolirane cijevi. One su izvedene kao sendvič konstrukcije s tri sloja: medijska cijev, izolacija i obložna cijev (Slika 49). Medijska cijev prenosi radni medij, najčešće vodu, sloj izolacije služi za smanjenje toplinskih gubitaka dok obložna cijev štiti izolaciju.

Fleksibilne cijevi se koriste u slučajevima manjih promjera dok se za veće koriste čelične.

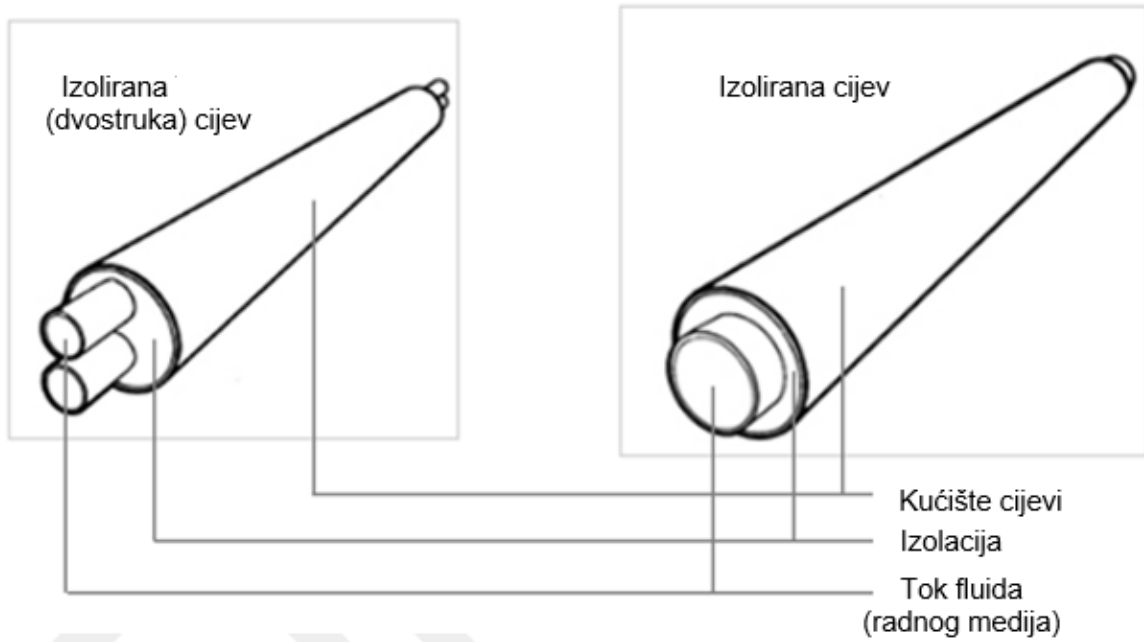
Sustavi s dvije cijevi su posebno pogodni kod malih promjera. U tim se slučajevima polaz i povrat nalaze u istoj cijevi, za razliku od sustava s jednom cijevi u kojima su polaz i povrat zasebne cijevi. Tako se smanjuju gubici u usporedbi sa sustavima s jednom cijevi, kao i investicijski troškovi. Sustavi s dvije cijevi nisu primjenjivi ukoliko su potrebni veliki promjeri (> Ø219 mm) kao na primjer u slučajevima magistralnih i prijenosnih vodova.

Medijske cijevi u pomoćnim cjevovodima su najčešće izrađene od polimera, alu-PLEX-a, bakra ili čelika dok se za veće cijevi pod višim tlakovima preferira čelik koji je izdržljiviji te time pogodniji za veće tlakove i protoke. Kod manjih promjera se najčešće koriste polimeri jer su takve cijevi fleksibilnije te ih je lakše instalirati.

Obložne cijevi se kod pomoćnih cjevovoda obično izrađuju od glatkih ili valovitih polimera poput polietilena niske (*engl. Low-density polyethylene – PEL*) ili visoke gustoće (*engl. high-density polyethylene PEH*). Izolacija je obično poliuretanska pjena (PUR pjena) ili mineralna vuna.

I fleksibilne i čelične cijevi bi trebale sadržavati difuzijsku pregradu između izolacije i vanjske obloge od polietilena (PE) kako bi se toplinska vodljivost smanjila te držala konstantnom kroz vrijeme.

U modernim se cjevovodima često implementira sustav za **upozorenje na curenje** pošto ono izaziva smanjenje utjecaja izolacije te se time povećavaju toplinski gubici kao i gubici vode. Osnovi dijelovi ovog sustava su kablovi (dvije integrirane žice, Slika 51) koji su instalirani u izolaciju cijevi te koji šalju podatke u kontrolnu jedinicu za upozorenje na curenje.



Slika 49. Presjek cijevi za CTS (Izvor: Slika dobivena iz Isoterma)



Slika 50. Primjeri starih jednocjevnih i dvocjevnih čeličnih cijevi (lijevo) te polimernih dvocjevnih cijevi (desno) (Izvor: Rutz D.)





Slika 51. Jednocijevna čelična cijev s dvije žice za sustav upozorenja na curenje (Izvor: Rutz D.)

### 5.3.2 Odabir cijevi za CTS

Prilikom projektiranja CTS-a, mnogi se faktori moraju uzeti u obzir te se stoga preporuča primjena specijaliziranih računalnih alata. Proizvođači također često objavljuju tablice s detaljnim podacima cijevi koje nude poput materijala, izolacije, toplinskih gubitaka, promjera itd., gdje je upravo promjer ključna informacija pošto on određuje maksimalni kapacitet prenesene toplinske energije. Dimenzije cijevi su tipično dane u ovisnosti od pada tlaka i kapaciteta koji se baziraju na formulama razvijenim od strane Colerbrooka i Whitea za temperature vode od 80°C.

Preporučuje se savjetovanje s proizvođačima cijevi i konzultantima prije i za vrijeme izgradnje.

### 5.3.3 Ugradnja cijevi

Cijevi se općenito mogu ugrađivati iznad i ispod zemlje. **Nadzemne cijevi** su uobičajene samo u velikim prijenosnim cijevima koje moraju prelaziti mostove.

Sve ostale glavne, sporedne, magistralne i prijenosne cijevi se uobičajeno ugrađuju **podzemno**. To zahtijeva određene mjere opreza za vrijeme instalacije kako bi se izbjegla oštećenja cijevi. Kao što je napomenuto u poglavlju 5.3.1, najčešće se koriste pred-izolirane „sendvič“ cijevi koje se ponašaju kao jedna integrirana jedinica što utječe na temperaturne dilatacije pojedinih materijala koji ju sačinjavaju, uslijed fluktuacija temperatura medija koji njima struje. Fluktuacije temperature općenito izazivaju naprezanja u materijalu koje cijev mora izdržati.



Slika 52 Ugradnja cijevi za CTS na selu (Izvor: Thermaflex Isolierprodukte GmbH)



Slika 53 Uređaj za usmjereno bušenje (Izvor: Rutz D.)

Naprezanja koja se nakupljaju u polazu su određena mogućnošću cijevi da se neometano širi u reakciji na temperaturne fluktuacije, tlak u cijevi, težinu cijevi i radni medij (Isoplus, 2016).

“**Granica elastičnosti**” ili “točka elastičnosti” je svojstvo definirano kao naprezanje pri kojem se materijal počinje plastično deformirati. Prije te točke, materijal se deformira elastično te se, nakon što naprezanje prestane, vraća u svoje početno stanje. Nakon toga dio deformacija ostaje trajno i nepovratno. U prošlosti je granica elastičnosti predstavljala ograničavajući faktor za projektiranje CTS-a baziranih na polimernim cijevima (Isoplus, 2016), no u današnje vrijeme, uz razvoj tehnologija, prelaženje te granice može se tolerirati kod modernih cijevi.

Različite metode ugradnje se mogu primjenjivati kod drugačijih cijevi kako bi se garantirala dugovječnost cjelokupnog sustava. Tablica 4 prikazuje primjere metoda polaganja cijevi uključujući ekspanzijsko savijanje (zahtjeva dodatnu opremu poput L, Z i U koljena), toplinsko pred-naprezanje (zagrijavanje cijevi prije nego se ona pokrije materijalom u kojeg se ukopava), pred-naprezanje elemenata te hladno polaganje cijevi.

Tablica 4. Metode polaganja cijevi (Izvor: Isoplus, <http://en.isoplus.dk/laying-rules-163>)

Metoda polaganja	Prednosti	Nedostaci
<b>Ekspanzijsko savijanje</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Smanjuje naprezanja u sustavu</li> <li>- Manje strogi zahtjevi za paralelne iskope</li> <li>- Relativno brza metoda polaganja pošto se kanali mogu zakopavati čim se cijev položi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potreba za ekspanzijskim koljenima</li> <li>- Povećani padovi tlaka</li> <li>- Dodatne komponente</li> <li>- Dodatne zone pomaka</li> </ul>
<b>Toplinsko pred-naprezanje</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Smanjuje naprezanja u sustavu</li> <li>- Manje strogi zahtjevi za paralelne iskope</li> <li>- Jednostavan sustav bez potrebe za dodatnim komponentama</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kanal mora ostati otvoren dok se sustav ne zagrije</li> <li>- Potreba za izvorom topline za vrijeme predgrijavanja</li> </ul>
<b>Pred-naprezanje elemenata</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Smanjuje naprezanja u sustavu</li> <li>- Manje strogi zahtjevi za paralelne iskope</li> <li>- Relativno brza metoda polaganja pošto se kanali mogu zakopavati čim se cijev položi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potreba za elementima za pred-naprezanje, jednokratnim komponentama</li> </ul>
<b>Hladno polaganje</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jednostavna metoda koja za sobom ne povlači dodatne troškove komponenata za ekspanziju ili predgrijavanje</li> <li>- Relativno brza metoda polaganja pošto se kanali mogu zakopavati čim se cijev položi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Paralelni iskopi zahtijevaju visoke mjere opreza zbog visokih aksijalnih naprezanja</li> <li>- Značajni inicijalni pomaci. Neprikladno za velike promjere i visoke temperature</li> <li>- U nekim slučajevima zahtjeva ojačane komponente</li> </ul>

U ovom se postupku mogu primjenjivati razni nacionalni standardi, a neki europski koje bi trebalo pratiti su:

- EN 253: 2009 + A1: 2013 Pred-izolirane cijevi
- EN 448: 2009 Spojevi, CTS
- EN 488: 2011 Čelični ventili za CTS
- EN 489: 2009 Spojne medijske cijevi, čelik
- EN 13941: 2009 + A1: 2010 Projektiranje i instalacija
- EN 14419: 2009 Sustavi za praćenje i nadzor
- EN 15698: 2009 Pred-izolirane dvostruke cijevi

Cijevi se mogu zakopavati pomoću bagera (Slika 52) ili s uređajima za horizontalno usmjereno bušenje (Slika 53). Usmjereno bušenje je upravljiva metoda instalacija podzemnih cijevi, kablova i vodova s plitkim lukom na pred definiranom putu pomoću uređaja koji se nalazi na površini, bez iskopavanja kanala. Ova metoda ima minimalan utjecaj na okolno područje te se koristi kada je kopanje kanala nemoguće ili nepraktično kao na primjer u slučajevima prelaska

cesta, uređenih površina, plitkih rijeka i slično. U praksi su se ovom metodom provodile instalacije duljine do 2,000 metara. Cijevi mogu biti izrađene od raznih materijala poput PVC-a, polietilena, polipropilena, lijevanog željeza i čelika ako se cijevi mogu provlačiti kroz izbušenu zemlju. Usmjerenom bušenju daje najbolje rezultate za kamen i sedimentarnu zemlju te nije praktično ukoliko u bušenom materijalu postoje šupljine i šljunak. Koriste se razni tipovi bušilica koje ovise o materijalu koji se buši (Wikipedia, 2014, Rutz et al. 2015).

Usmjerenom bušenju je posebno pogodno za slučajeve kada se cjevovod provodi ispod popločenih cesta jer se tako minimizira ometanje svakodnevnog života zajednice i povećava prihvaćanje CTS-a (Rutz et al. 2015).

#### 5.3.4 Toplinski gubici

**Gubici u mreži** (vidi poglavlje 6.2.2) ovise o dužini mreže te značajno variraju od sustava do sustava. **Toplinski gubici cijevi** su dani od strane proizvođača za standardne uvjete rada u W/m, na primjer " $\Phi = 11 \text{ W/m}$ ". Toplinski gubici ovise o hidrauličkim uvjetima, temperaturi radnog medija i zemlje, izolaciji cijevi, materijalu te debljini.

Proizvođači toplinske gubitke ponekad prikazuju kao postotke no preporuča se korištenje apsolutnih brojki jer se na taj način mogu u obzir uzeti i gubici pri različitim režimima rada.

#### 5.3.5 Troškovi

Teško je dati detaljne podatke o investicijskim troškovima u cijevnu mrežu pošto ona ovisi o njenoj duljini, izolaciji, promjeru te terenu na kojem se postavlja. Same cijevi u pravilu predstavljaju otprilike jednu trećinu ukupnih troškova u mreži CTS-a dok najveći udio otpada na građevinske radove (iskop i ukopavanje cijevi). Do tih se zaključaka došlo na bazi iskustva u Danskoj, u drugim bi državama trošak rada mogao biti jeftiniji te bi to moglo imati utjecaj na ukupne troškove kao i na njihovu distribuciju.

### 5.4 Medij za prijenos topline

Medij za prijenos topline je tekućina koja putem cijevi prenosi toplinu od proizvodnog postrojenja do potrošača. U CTS se za ovu svrhu najčešće koristi voda. Kvaliteta vode ima visoki utjecaj na učinak sustava te pojavu potencijalnih komplikacija. Stoga je visoka kvaliteta vode iznimno bitan aspekt sustava, kako bi se spriječila korozija u sustavu. U sljedećim poglavljima su prikazani glavni aspekti kvalitete vode.

#### 5.4.1 Plinovi u vodi<sup>11</sup>

Najvažniji plinovi koji imaju utjecaj na kvalitetu vode u CTS-u su kisik ( $\text{O}_2$ ) i dušik ( $\text{N}_2$ ).

U nelegiranim i niskolegiranim čeličnim cijevima je korozija uzrokovana kisikom u vodi, naročito ako je voda slana. Kako bi se izbjegle velike količine kisika u vodi, sustav mora biti zabrtvljen, čime se sprječava prodor kisika u cijevi, a samim time i u vodu.

Dušik je u vodi inertan, ali može uzrokovati probleme kada mu je koncentracija toliko visoka da se stvaraju mjehurići čistog dušika. Ovo se može dogoditi kada u isto vrijeme dođe do povećanja temperature i sniženja tlaka, što rezultira smanjenjem topivosti dušika u vodi.

Posljedica toga je pojava buke, erozijske korozije te poremećaja u cirkulaciji medija. U toplinskim podstanicama, zrak i ostali plinovi mogu prodrijeti u medij za prijenos topline putem otvorenih ekspanzijskih posuda. Kisik (i male količine dušika) može prodrijeti u medij difuzijom kroz permeabilnu membranu ili plastične cijevi. Nadalje, niski tlakovi u zatvorenim sustavima

<sup>11</sup> Ovo poglavlje se temelji na Euroheat&Power, 2008

omogućuju prodiranje zraka kroz brtve i automatske nepovratne ventile (Euroheat&Power, 2008).

#### 5.4.2 Ostale tvari u vodi<sup>12</sup>

U toploj vodi, topiva **lužina** reagira sa hidrogenkarbonatima čime nastaju kalcijevi karbonati, tj. kamenac. Porast količine kamenca ometa rad izmjenjivača topline i smanjuje njegov kapacitet. U nekim slučajevima se javlja pregrijavanje, a kao posljedica toga se može oštetiti izmjenjivač topline. Da bi zaštitili sustav protiv stvaranja kamenca, voda koja cirkulira sustavom, kao i ona koja pokriva gubitke se mora prethodno omekšati.

U prisustvu kisika, **anioni** iz tvari koje su topive u vodi (naročito kloridi i sulfati) uzrokuju lokalnu koroziju (npr. pukotinsku koroziju) u nelegiranim čeličnim materijalima. Koncentracija klorida do 50 mg/l uglavnom ne uzrokuje probleme s korozijom. Međutim, pod određenim kritičnim uvjetima (npr. u slučaju povišene koncentracije u porama materijala, itd.) prisutnost iona klora u nehrđajućim čelicima može dovesti do rupičaste korozije ili korozije zbog naslaga. S obzirom da opasnost od korozije ovisi o više faktora (npr. materijalu, mediju, radnim uvjetima), ne može se odrediti određena granična koncentracija klora u vodi. Također, klor uzrokuje koroziju u dodiru sa aluminijem te se stoga ta kombinacija ne preporuča.

Netopive i topive **organske tvari** mogu narušiti proces obrade vode, kao i mikro biološke reakcije u vodi. Stoga ih je potrebno izbjegavati u CTS.

Kako bi se privremeno spriječila korozija stare opreme, cijevi ili izmjenjivačkih površina, koriste se tvari temeljene na **uljima ili mastima**. Ulja djeluju kao pokrov na materijalima (tanki film). Međutim, ulja također ometaju rad sigurnosne opreme i opreme za upravljanje. Ulja i masti mogu čak uzrokovati mikrobiološku koroziju jer djeluju kao hranjive tvari za mikroorganizme. Stoga se preporuča izbjegavanje ulja i masti u CTS-u.

#### 5.4.3 Pogonski parametri vode<sup>13</sup>

CTS bi trebao biti zaštićen od prodora zraka i hladne vode u sustav kako bi se spriječila korozija. Stoga je potrebno održavati određenu razinu tlaka u sustavu. Magnetit, koji nastaje kao produkt korozije, stvara homogeni površinski sloj kisika koji ima visoku otpornost na koroziju. Ovaj zaštitni sloj se stvara samo na temperaturama iznad 100°C te se stoga ovaj način zaštite ne može koristiti u sustavima pripreme PTV-a.

Uzimajući u obzir standardne vrijednosti parametara kvalitete vode (Tablica 5), u CTS-u se mogu koristiti materijali od željeza, nehrđajućeg čelika i bakra, zasebno ili u kombinaciji. Aluminij i legure aluminija se ne bi smjele koristiti u izravnom kontaktu sa vodom jer mogu uzrokovati koroziju materijala.

Ukoliko u vodi postoje čestice željeza ili bakra, može doći do taloženja tih čestica, a samim time i do problema u područjima sa nižim protokom. Iskustveno dozvoljene koncentracije ovih tvari u vodi su  $\leq 0,10$  mg /l za željezo i  $\leq 0,01$  mg/l za bakar.

Euroheat & Power predlaže da se aluminij uopće ne koristi u CTS-u, što uključuje i sekundarni krug potrošača.

U CTS-u, pogon se može podijeliti na pogon sa visokim udjelom soli i pogon sa niskim udjelom soli. Kako bi se osigurala ekonomski učinkovita i sigurna cirkulacija medija, potrebno je ispuniti uvjete koje prikazuje Tablica 5. U izvanrednim situacijama (npr. paljenje postrojenja, pojava oštećenja) moguće je na kratko odstupati od ovih vrijednosti.

<sup>12</sup> Ovo poglavlje se temelji na Euroheat&Power, 2008

<sup>13</sup> Ovo poglavlje se temelji na Euroheat&Power, 2008

Tablica 5. Standardne vrijednosti za kvalitetu vode u mreži CTS-a (Izvor: Euroheat&Power, 2008)

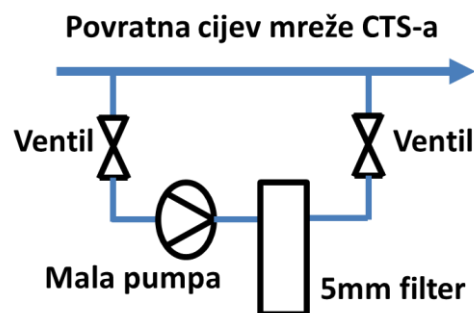
Parametar	Jedinica	Iznos
Električna provodljivost	$\mu\text{S/cm}$	100-1 500
pH vrijednost	n.a.	9,5-10
Kisik	Mg/L	<0,02
Lužina	Mmol/L	<0,02

#### 5.4.4 Praktično iskustvo<sup>14</sup>

Oprema potrebna za osiguravanje potrebne kvalitete vode se sastoji od postrojenja za omekšavanje vode, filtera i potrebnih kemikalija. Reverzna osmoza najčešće nije potrebna jer predstavlja skupu tehnologiju obrade vode, a također i uzrokuje više problema tijekom pogona.

Plastične cijevi (npr. za podno grijanje) mogu uzrokovati aeraciju vode i stvaranje mulja. To može dovesti do oštećenja u mreži CTS-a. Stoga je potrebno koristiti izmjenjivač topline u indirektnim sustavima, kako bi se razdvojio primarni (mreža CTS-a) od sekundarnog kruga (potrošači). Mreže CTS-a u kojima su gubici vode niski, uglavnom nemaju problema sa aeracijom vode (tj. pojavljivanjem hrđe).

U prenosnici u povratu mreže CTS-a, potrebno je ugraditi filter sa filtracijskim pragom od  $5\mu\text{m}$  i pumpu male snage, kako prikazuje Slika 54.



Slika 54. Pumpa i filter u prenosnici u povratu mreže CTS-a (Izvor: Güssing Energy Technologies)

Kako bi se magnetit uklonio iz vode, u filter se može ugraditi magnet. Na taj način se mogu spriječiti potencijalni problemi, s obzirom da magnetit može uzrokovati nepopravljiva oštećenja pumpi.

Dodatkom kemikalija (npr. IWO VAP 25 FW) mogu se vezati ugljične kiseline i kisik iz vode. Na taj način se stvara zaštitni sloj koji prekriva cijevi. Dodatkom kemikalija također dolazi do vezanja mulja koji se zatim uklanja na filteru.

Održavanje se provodi jednom godišnje od strane vanjske tvrtke. Tijekom održavanja se provjerava kvaliteta vode, postrojenje za omekšavanje vode, postrojenje za dodavanje kemikalija i filter.

<sup>14</sup> Ovo poglavlje se temelji na Kotlan (2016)

## 5.5 Priključak potrošača

Distribucijska mreža CTS-a prenosi zagrijani medij za prijenos topline do potrošača te zatim ohlađeni medij nazad do proizvodnog postrojenja. Kako bi se toplina prenijela potrošačima, moraju biti izravno ili neizravno (preko izmjenjivača topline) spojeni na sustav. Mjesto priključka je potrebno razmotriti sa tehničkog i pravnog aspekta. Uobičajeno je sustav grijanja zgrade u vlasništvu njezinog vlasnika, a mreža CTS-a u vlasništvu općine/grada. Vlasnik toplinske podstanice može biti ili vlasnik zgrade ili vlasnik mreže, ovisno o korištenom poslovnom modelu i postojećim ugovorima.

### 5.5.1 Toplinske podstanice

Toplinska podstanica služi za prijenos topline iz mreže CTS-a potrošačima. Uobičajeno je da se kuće spajaju na mrežu CTS-a preko izmjenjivača topline (indirektan sustav) kako voda iz CTS-a ne bi prolazila kroz kućne instalacije. Opremu u toplinskoj podstanici prikazuje Slika 55. U Danskoj se često koriste sustavi bez izmjenjivača topline, tj. izravni sustavi.



**Slika 55. Toplinska podstanica sa izmjenjivačem topline, regulacijskim uređajem, ventilima i kalorimetrom (lijevo) (Izvor: Güssing Energy Technologies) te toplinska podstanica (uključujući izmjenjivač topline) krajnjeg potrošača u Achentalu, Njemačka (Izvor: Rutz D.)**

Toplinske podstanice se uglavnom sastoje od izmjenjivača topline (indirektan sustav), regulacijskog uređaja koji regulira polaznu temperaturu u kući, ventila i kalorimetra. Preporuča se korištenje regulatora diferencijalnog tlaka kako bi se smanjile promjene protoka u sustavu grijanja te postavila maksimalna vrijednost protoka kada je ventil u potpunosti otvoren. Na ovaj način je moguće ograničiti protok (toplinski tok) u toplinskoj podstanici na razinu dogovorenu u ugovoru.

Ovisno o zakonskoj regulativi, potrebno je postaviti kalibrirane kalorimetre u toplinsku podstanicu. Kalibraciju je potrebno provoditi periodično. Uobičajeno se cijena topline sastoji od cijene preuzete topline (€/kWh), zakupljenog vršnog opterećenja (€/kW na mjesec) te troška mjerenja (€/god).

Sustavi za praćenje temperatura, otvaranja ventila te potrošnje topline se već često koriste u CTS-u. Prikupljeni podaci se zatim šalju u centralnu jedinicu (proizvodno postrojenje). To se postiže sabirnicama u svim toplinskim podstanicama. Sustav praćenja se također može koristiti za regulaciju diferencijalnog tlaka glavnih pumpi u CTS-u (upravljanje ventilima).

Praćenje također omogućuje određivanje korisnika koji postižu visoke temperature povrata, kako bi se nad njima primijenile sankcije.

Prednost indirektnog sustava je da su voda iz CTS-a i voda iz sustava grijanja potrošača odvojene. Na taj način aeracija vode (zbog plastičnih cijevi potrošača) ne može oštetiti mrežu CTS-a.

### 5.5.2 Sustav grijanja zgrade

Sustav grijanja zgrade mora biti usklađen sa mrežom CTS-a kako bi se povećala ukupna iskoristivost sustava. Smjernice za toplinske podstanice u CTS-u su dane u dokumentu Euroheat&Power (2008).

Sustav grijanja zgrade mora osigurati niske temperature povrata u mreži CTS-a. Ukoliko su temperature povrata previsoke, potrošača treba savjetovati da promijeni određene dijelove sustava grijanja. Ovu stavku također treba uključiti u ugovor.

Potrošači uglavnom koriste radijatore, podno grijanje, zidno ili stropno grijanje. Radijatori zahtijevaju više temperature od ostalih panelnih sustava. Stoga, podno, zidno i stropno grijanje uzrokuju niže temperature povrata u mreži CTS-a te niže troškove pumpanja vode.

Ukoliko se za grijanje koriste plastične cijevi, potrebno je koristiti indirektni sustav (tj. izmjenjivač topline) kako bi se spriječila aeracija i akumulacija mulja u mreži.

### 5.5.3 Priprema potrošne tople vode

Uz grijanje prostora, toplina iz CTS-a se često koristi i za pripremu PTV-a. U većini CTS-a u Njemačkoj ili Danskoj se toplina koristi za obje svrhe. U nekim drugim državama, naročito u južnoj Europi, postojeći CTS su u pogonu samo tijekom zime te se ne koriste za pripremu PTV-a. U tim slučajevima, potrebna je druga oprema za ovu svrhu.

Priprema i opskrba PTV-om se mora provesti na način da se izbjegnu zdravstveni rizici. Patogeni poput raznih bakterija i naročito legionele (Prozor 6) mogu uzrokovati zdravstvene probleme te ih je potrebno izbjeći. Pojava ovih bakterija nije specifično vezana uz CTS jer se mogu pojaviti u svim sustavima sa toplom vodom. Rast legionela bakterije se odvija u sustavu proizvodnje i distribucije PTV-a, tj. cijevima za pitku vodu, cirkulacijskom sustavu te spremniku. Vlasnik uređaja za pripremu PTV-a je odgovoran za sprečavanje zdravstvenih problema.



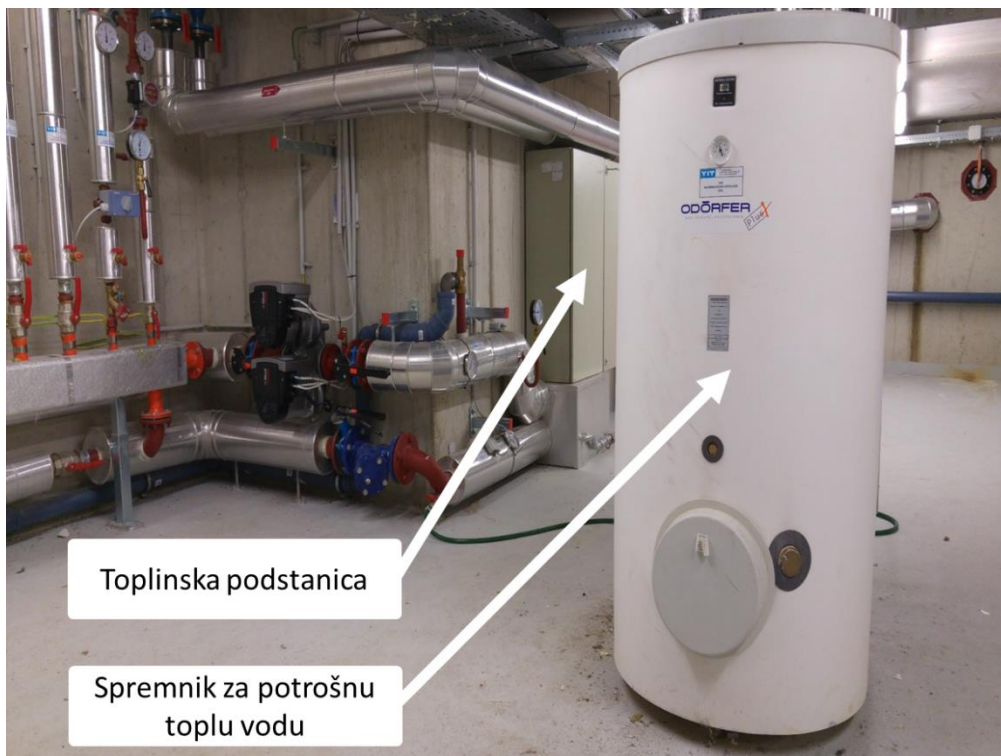
## Prozor 6. Što je legionela bakterija?

Legionella je patogena grupa Gram-negativnih bakterija koje uključuju vrstu *L. pneumophila* koja uzrokuje Legionellu, bolest uzrokovanu bakterijom legionelle. Ona uključuje i bolest sličnu upali pluća koja se naziva Legionarskom bolešću te blagu bolest sličnu gripi koja se naziva Pontiac groznica. Bakterija se ne prenosi s osobe na osobu i mnogi ljudi koji se zaraze nikad ne obole. Legionella se može pojaviti u sustavima za proizvodnju potrošne tople vode u malim koncentracijama. Ukoliko koncentracija naraste, može predstavljati rizik za zdravlje. Legionella se širi u atomiziranom zraku tako da u ljudski organizam ne ulazi vodom za piće nego na primjer tuširanjem.

Svjetska organizacija za zdravlje (*engl. World Health Organization, WHO, 2007*) navodi utjecaje temperature vode na legionellu:

- Iznad 70°C Legionella umire gotovo odmah
- 60° 90% umire u 2 minute
- 50°C 90% umire u 80–124 minute, ovisno o vrsti virusa
- 48 do 50°C može preživjeti ali se ne i razmnožavati
- 32 do 42°C idealno područje rasta
- 25 do 45°C područje rasta
- Ispod 20°C može preživjeti, čak ispod točke leđenja ali ostaje latentna

U sustavima za potrošnu toplu vodu temperature se moraju držati dovoljno visoko da se izbjegne razmnožavanje, postoje razne tehnike za postizanje takvih uvjeta.



Slika 56. Primjer spremnika za potrošnu toplu vodu (izvor: Güssing Energy Technologies)

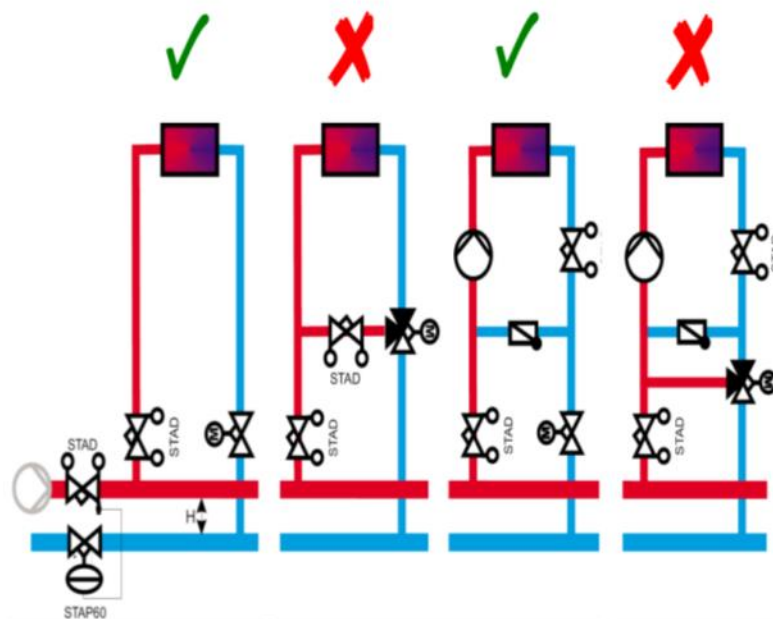
#### 5.5.4 Spajanje potrošača na CTS

Sustav grijanja potrošača (kućanstava) mora biti spojen na mrežu CTS-a na učinkovit način, tj. prilagođen za rad na CTS. Temperatura povrata ne bi smjela previše porasti nakon pojedinog potrošača, tj. polaz CTS-a se ne smije izravno miješati sa povratom.

Slika 57 predstavlja primjer dobrih i loših konfiguracija distribucijskog sustava zgrada. Praktično iskustvo pokazuje da je treća konfiguracija najčešće korištena te da funkcionira bez hidrauličkih problema. Pri spajanju sustava grijanja potrošača na CTS, potrebno se voditi za dobrim praksama koje prikazuje Slika 57. Ukoliko sustav trenutno nije prikladan, potrebno ga je zamijeniti. Također, potrebno je paziti da se sustav (tj. izmjenjivač topline, cijevi, ventili, itd.) ne predimenzionira.

Slika 58 prikazuje primjer distribucijskog sustava poslovne zgrade koja je spojena na mrežu CTS-a.

Često u procesu planiranja izgradnje CTS-a potrošači već imaju postavljene sunčeve kolektore na krovovima. Integracija kolektora ovisi o raznim aspektima, poput vrste, snage i starosti. Ukoliko već postoje sunčevi kolektori na zgradi, preporuka je da se koriste većinom za proizvodnju PTV-a. Ako je u planu priključiti kolektore na sustav grijanja, potrebno je izgraditi toplinski spremnik. Toplina iz kolektora tada puni spremnik topline, a kada temperatura postane preniska, koristi se toplina iz CTS-a.



Slika 57. Varijante distribucijskog sustava potrošača (unutar kućanstva) spojenih na CTS (Izvor: Güssing Energy Technologies, temeljeno na Tour & Andersson Ges.m.b.H., 2005)



Slika 58. Distribucijski sustav poslovne zgrade koja je spojena na CTS (Izvor: Güssing Energy Technologies)

## 6 Planiranje malih centraliziranih toplinskih sustava

Planiranje malih CTS-a je vrlo važno zato jer o tome ovisi ukupna učinkovitost i ekonomska isplativost toplinske mreže. Pri tome se mora uzeti u obzir trenutna potrošnja toplinske energije, ali i buduća, koja u slučaju dodatnog spajanja potrošača može biti veća ili ako se veliki dio zgrada obnovi, manja. Također, mreža mora biti modularna kako bi postojala mogućnost spajanja potrošača koji se u početnom trenutku nisu htjeli priključiti.

Kod malih sustava, planiranje mreže može izvesti i konzultant zadužen za idejno rješenje projekta, čak i ako njegovo zanimanje nije povezano s tehničkom strukom. Proces planiranja se može izvesti u suradnji s proizvođačima cijevi koji često pružaju osnovne alate i znanja za planiranje takvih sustava. Primjeri iz struke pokazuju kako ovako planirani sustavi mogu vrlo dobro funkcionirati, npr. u Njemačkoj. Međutim, predlaže se korištenje pomoći za to obučanih stručnjaka ako u timu za pisanje idejnog projekta ne postoji osoba koja posjeduje tehnička znanja. To se posebice odnosi na kompliciranije sustave koji uključuju nekoliko toplinskih izvora.

### 6.1 Procjena toplinskih potreba

Vrlo važan preduvjet za planiranje CTS-a je kvaliteta prikupljenih podataka o toplinskim potrebama potrošača koji se planiraju spojiti na toplinsku mrežu. Osim trenutne, potrebno je uzeti u obzir i buduću potrošnju toplinske energije. Točnost podataka može imati veliki utjecaj na ekonomsku isplativost projekta. Kako bi se dobile informacije o potrošnji toplinske energije, mogu se koristiti sljedeći izvori podataka:

- Regionalni meteorološki podaci
- Karta s upisanim podacima o kvaliteti izolacije zgrada
- Energetski planovi lokalnih vlasti (Akcijski plan održivog razvoja)
- Ankete o potrošnji toplinske energije potencijalnih korisnika
- Izmjerene vrijednosti

Ako je određena lokacija budućih korisnika CTS-a, može se krenuti s detaljnijim planiranjem. U idealnim uvjetima je moguće definirati i potencijalnu lokaciju budućeg toplinskog izvora. Kako bi se provela prva faza detaljnijeg planiranja, potrebne su **karte**. Ako su potencijalni korisnici upisani na kartu, moguće je napraviti početnu verziju toplovoda i izračunati ukupnu duljinu cijevi. Podaci o lokaciji potrošača mogu biti povezani s detaljnijim informacijama o tipu zgrade, specifičnoj toplinskoj potrošnji i starosti zgrade. Na taj način se može izraditi baza podataka koje je vrlo korisna.

Nakon pripreme podataka, potrebno je izračunati toplinsku potrošnju svakog potencijalnog privatnog, poslovnog ili javnog korisnika. To je moguće izvesti koristeći upitnik/anketu koja sadrži sljedeće:

- Adresu korisnika, označenu na karti
- Vrstu postojećeg sustava grijanja: vrsta bojlera i korišteni energent
- Dodatna trošila toplinske energije i grijača tijela/grijalice
- Ukupna tlocrtna površina objekta koja se grije, izražena u m<sup>2</sup>
- Informacije o energetskom certifikatu, ako postoji
- Izolacija, npr. 10 cm termalne izolacije
- Planirana obnova zgrade
- Godišnja potrošnja toplinske energije, u obliku primarne energije korištenog energenta (npr. 10 m<sup>3</sup> drva, 1000 L lož ulje, 250 kWh električne energije itd.)

- Način proizvodnje toplinske energije za zagrijavanje PTV-a, npr. električni grijač itd.
- Broj ljudi koji koriste PTV u zgradi
- Vrsta grijaćih tijela: panelni grijači, radijatori itd.
- Koristi se grijanje tijekom dana/noći
- Minimalna polazna temperatura sustava grijanja

Drugi način prikupljanja podataka o toplinskoj potrošnji je pomoću računa za grijanje u određenoj sezoni. Preporuča se provjera računa kroz nekoliko prošlih godina. Ova se metoda pokazala vrlo djelotvornom kod malog broja potrošača s relativno niskom potrebom za toplinskom energijom (Rutz et al. 2015.).

### 6.1.1 Potrošnja toplinske energije u zgradama

Nakon što su prikupljeni podaci o potencijalnim potrošačima, može se izračunati ukupna potreba za toplinskom energijom. Na taj se način dobiva teoretska potrošnja toplinske energije za CTS na koji su spojeni svi potencijalni potrošači. Ovakav proračun može dati uvid u isplativost projekta u slučaju:

- Ako se priključe samo potrošači koji su već na to pristali
- Ako se priključe dodatni potrošači koji trenutno na to nisu pristali

Izračun potrošnje toplinske energije za čitavi sustav se određuje dodavanjem potrošnje toplinske energije svih potencijalnih korisnika. Potrebno je izračunati specifičnu potrošnju toplinske energije i ukupnu učinkovitost sustava. Tablica 6 prikazuje primjere prikupljenih podataka o potrošnji toplinske energije.

Pri određivanju ukupne iskoristivosti sustava potrebno je biti konzervativan. Vrlo visoka učinkovitost može dati krivu sliku o ukupnoj potrebnoj toplinskoj energiji.

Tablica 6 . Primjeri prikupljenih podataka o toplinskoj potrošnji za tri različita potrošača

Potrošač Broj.	Godišnja potrošnja	Specifična potrošnja	Učinkovitost sustava, izračunata na godišnjoj razini	Ukupna toplinska potrošnja za CTS
1	14 m <sup>3</sup> drva	946 kWh/m <sup>3</sup> udio vlage 25%	65%	8 608 kWh
2	2 100 l lož ulja	10 kWh/l	75%	15 750 kWh
3	2 700 m <sup>3</sup> prirodnog plina	10 kWh/m <sup>3</sup>	80%	21 600 kWh

### 6.1.2 Vršno toplinsko opterećenje u zgradama

Vršno toplinsko opterećenje se može procijeniti pomoću ukupnog broja sati rada postrojenja na maksimalnom opterećenju u čitavoj godini.

Za grijanje, uključujući i proizvodnju PTV-a, u Austriji je potrebno oko 1600 sati rada na maksimalnom opterećenju. Ako se promatra samo proizvodnja toplinske energije za grijanje prostora tada se broj sati rada na maksimalno opterećenju smanjuje na 1400. Vrijednost broja sati ovisi o klimatskim uvjetima, učinkovitosti sustava i stupnju toplinske izolacije zgrada. Stoga ona varira ovisno o zemljama koje se proučavaju.

Drugi korišteni pojam, vezan za vršno opterećenje, je faktor opterećenja. On predstavlja udio godine u kojem postrojenje radi na maksimalnom opterećenju. Drugim riječima to je omjer proizvedene energije i potencijalno maksimalno proizvedene energije na godišnjoj razini.

Uzimajući u obzir prethodno prikazane podatke (Tablica 6), mogu se izračunati vršna opterećenja. Tablica 7 prikazuje rezultate.

Tablica 7. Primjeri izračuna vršnog toplinskog opterećenja za CTS

Potrošač	Godišnja potreba za toplinskom energijom	Proizvodnja toplinske energije za PTV	Procijenjen broj sati rada postrojenja na max. opterećenju	Potrebna vršna snaga CTS-a
1	8 608 kWh	Da	1 600 h/god	5,4 kW
2	15 750 kWh	Ne	1 400 h/god	11,3 kW
3	21 600 kWh	Da	1 600 h/god	13,5 kW

Za proračun potrošnje toplinske energije može se koristiti EN ISO 13790:2008-09 standard (Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema EN ISO 13790). On prikazuje metodu za određivanje potrošnje toplinske energije za grijanje i hlađenje na godišnjoj razini u zgradama ili u pojedinim dijelovima.

Ponekad postoji razlika između izračunatog vršnog opterećenja i instalirane toplinske snage u pojedinoj zgradi. To je jedan od pokazatelja da je toplinski sustav u zgradi predimenzioniran.

Za izračun vršnog opterećenja CTS-a, potrebno je uzeti u obzir faktor simultanosti koji određuje koji postotak korisnika koristi sustav u isto vrijeme. Uz to, veliki utjecaj ima informacija o korištenju toplinskih spremnika, koji smanjuju vršno opterećenje kotla. Moguće je koristiti CTS i po noći, tada se smanjuju vršna opterećenja, ali i povećava ukupna potrošnja toplinske energije. Na taj se način smanjuje investicija povezana s vršnom instaliranom snagom postrojenja, ali i povećava komfor korisnika.

### 6.1.3 Toplinske potrebe u industriji

Toplinske potrebe u industriji ovise o više faktora, uključujući veličinu i vrstu industrije. Ne postoje standardizirane procijenjene vrijednosti potrošnje toplinske energije za industriju kao što postoje u zgradarstvu. Međutim, neka postrojenja imaju ugrađene sustave za praćenje potrošnje toplinske energije te se oni mogu iskoristiti za potrebe proračuna CTS-a. Ako podaci ne postoje, potrebno ih je procijeniti.

Potrebno je znati ukupnu potrošnju toplinske energije, vršno opterećenje i dnevnu/sezonsku krivulju toplinskog opterećenja. Osim toga, potrebno je znati i korištene polazne temperature u sustavu grijanja. Potrošači kojima toplinsko opterećenje jako varira predstavljaju izazov za kotao (npr. kotao na biomasu) i regulaciju protoka vode u toplinskoj mreži. Stoga je potrebno detaljno pregledati hidrauličku shemu te ju adaptirati na novi sustav kako bi se izbjegle visoke povratne temperature. Optimalno bi bilo uspostaviti dogovor s potrošačima o maksimalnoj povratnoj temperaturi.

Kako bi se izbjegli navedeni problemi, potrebno je dobiti detaljne podatke o industrijskim potrošačima.

## 6.2 Projektiranje toplovoda

Nakon što su podaci prikupljeni, moraju biti detaljno obrađeni i analizirani. Sljedeći koraci su: izrada karata, izračun gustoće toplinske energije i udjela spojenih korisnika te dimenzioniranje mreže. Ovi koraci su detaljno opisani u nastavku.

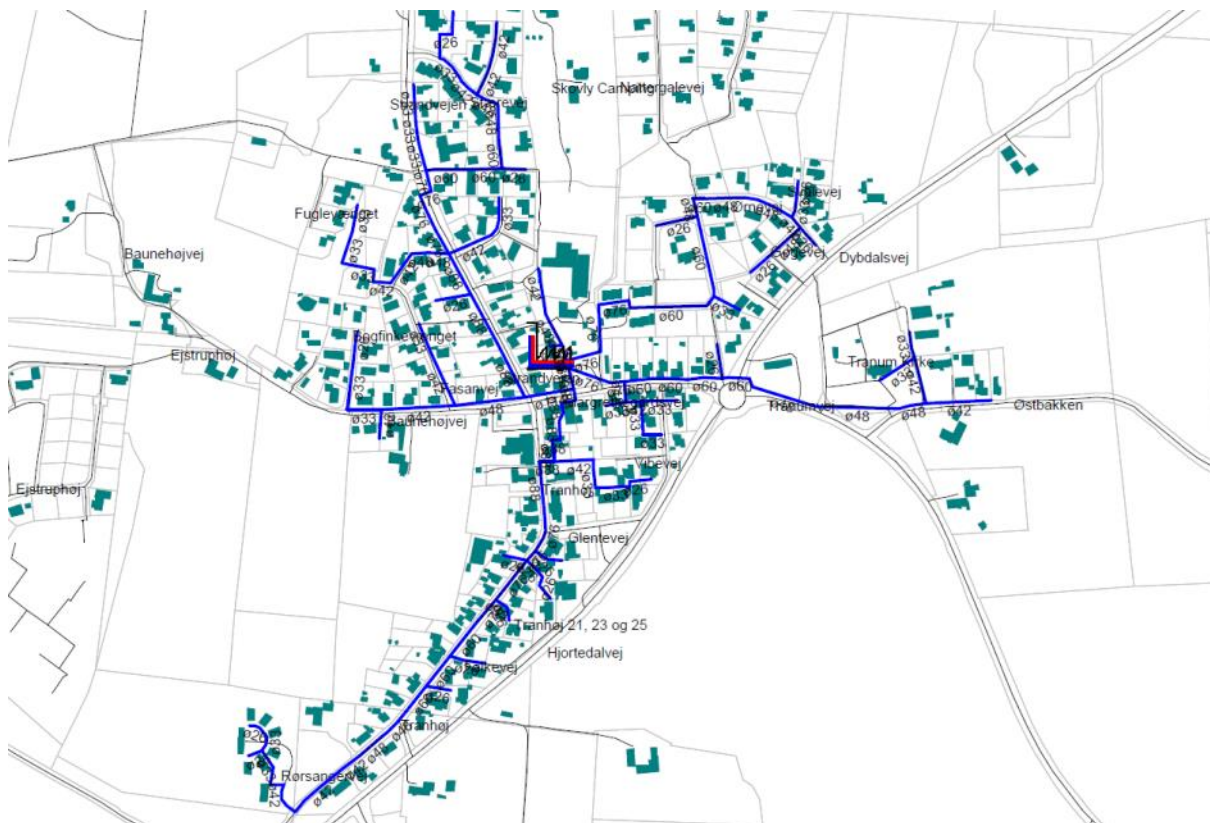
### 6.2.1 Mapiranje toplinske mreže

Nakon što su prikupljene informacije o toplinskoj potrošnji, može se projektirati toplinska mreža. Ono uključuje konkretno planiranje sustava toplovoda koristeći karte. Kao početni korak mogu se koristiti **online alati** za mapiranje, kao što je npr. Google Earth, kako bi se odredila duljina cijevi.

Na taj način se mogu provjeriti i analizirati različite opcije **veličine sustava** i spojenih potrošača. Ovisno o temperaturnom režimu, udaljenosti i gustoći potrošnje toplinske energije, postoji mogućnost da pojedini potencijalni korisnici neće biti spojeni kako bi se povećala ukupna učinkovitost sustava. S druge strane, ponekad se predlaže spajanje s određenim korisnicima, koje je s tehničkog stajališta vrlo komplicirano. Primjer su industrijska postrojenja koja imaju veliki utjecaj na ostvarivost projekta, npr. oni su glavni investitor ili dodatan izvor toplinske energije itd.

Na kraju, potrebno je odrediti nekoliko prijedloga **lokacije postrojenja za proizvodnju toplinske energije**. Tehnički gledano, moraju biti, što je god više moguće, blizu potrošača. Međutim to ponekad nije moguće uslijed socijalnih razloga ili dostupnosti zemljišta.

Nakon početnog dizajna, mogu se koristiti **alati specijalizirani za planiranje i projektiranje toplinskih mreža**. Primjer takvog programa je Termis. Slika 59 prikazuje konfiguraciju toplovoda dobivenog koristeći Termis program.



Slika 59. Primjer toplinske mreže izrađen pomoću programa Termis (Izvor: PlanEnergi)

## 6.2.2 Udio spojenih potrošača i gustoća toplinske energije

Količina potrebne toplinske energije je direktno povezana s brojem spojenih korisnika. Stoga je udio spojenih potrošača ključan parametar koji utječe na gustoću toplinske energije. Udio spojenih potrošača je broj spojenih korisnika u odnosu na sve potencijalne. Ono nije pokazatelj apsolutne potrošnje toplinske energije, stoga je gustoća toplinske energije puno bolji indikator.

Gustoća toplinske energije (vidi poglavlje 5.1) je važna karakteristika toplinske mreže i može biti korištena kao indikator ekonomske isplativosti projekta. Općenito, što je veća gustoća toplinske energije, veća je ekonomska isplativost sustava. Gustoća toplinske energije se može izraziti preko površine naselja ili pomoću duljine toplovoda (linearna gustoća toplinske energije). Gustoća toplinske energije je jednaka omjeru godišnje toplinske energije isporučene u mrežu i ukupne površine naselja.

$$\text{Gustoća toplinske energije} = \frac{\text{Godišnja potrošnja topl. enrgije [MWh/a]}}{\text{Ukupna površina naselja[ha]}} \quad \text{Jednadžba 4}$$

Površina naselja je opisana gustoćom zgrada i njihovom energetsom učinkovitošću. Gustoća zgrada u naselju je definirana kao omjer površine životnog prostora i površine tlocrta zgrade. Taj iznos u Njemačkoj iznosi npr. 0,2 za zgrade s jednim kućanstvom u selu do 1,5 za višestambenu zgradu u središtu grada. Gustoća toplinske energije varira od 60 MWh/ha/a za standardne pasivne kuće u ruralnom području do 3 600 MWh/ha/a za loše izolirane zgrade u središtu grada. Centralizirani toplinski sustavi su općenito isplativi pri gustoćama toplinske energije u iznosu od 150 do 300 MWh/ha/a (Von Hertle et al. 2015).

**Gustoća toplinske mreže**, još nazvana i linearna gustoća toplinske energije, je omjer godišnje toplinske energije distribuirane u toplinsku mrežu i ukupne duljine toplovoda. Duljina toplovoda je jednaka duljini cijevi u toplovodu.

$$\text{Linearna gustoća topl. en.} = \frac{\text{Godišnja potrošnja topl. enrgije [MWh/a]}}{\text{Duljina cijevi toplovoda [m]}} \quad \text{Jednadžba 5}$$

Ovo će biti prikazano na sljedećem primjeru: ukupna potrošnja toplinske energije CTS-a iznosi 638 000 kWh/a, a prema prvom projektnom rješenju, ukupna duljina toplovoda iznosi 570 m cijevi (duljina iskopa je 570 m: duljina povratnog voda je 570 m, duljina polaznog voda je također 570 m). Prema gornjoj jednadžbi, linearna gustoća toplinske energije iznosi 1 119 kWh/m po godini.

Gustoća toplinske mreže je važan faktor za određivanje ekonomske isplativosti projekta. Cilj bi trebao biti dostaviti što više toplinske energije u što manjoj toplinskoj mreži. Međutim izvedivost projekta ovisi o raznim rubnim uvjetima. Također ovisi o: cijeni toplinske energije, temperaturnom režimu, gubicima u mreži te ostalim faktorima. Prema ovome, različita pravila vrijede za minimalnu linearnu gustoću toplinske energije pri kojoj se projekt ekonomski isplati. Osim toga, ono ovisi i o lokaciji odnosno državi gdje se planira gradnja CTS-a.

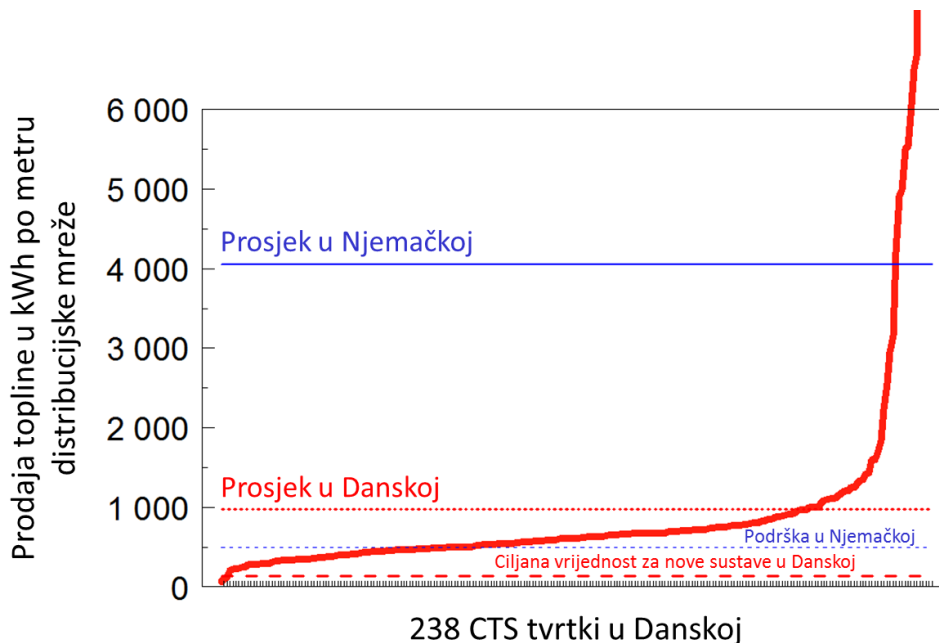
Primjerice, u Austriji je predložena vrijednost od 900 kWh/m/a kako bi se projekt bio ekonomski isplativ. Ako je gustoća manja od 900 kWh/m/a, postoji mogućnost ne spajanja potencijalnih korisnika s vrlo niskom potrebom za toplinskom energijom ili korisnika koji su previše udaljeni od izvora toplinske energije.

U Njemačkoj, kako bi projekti za izgradnju malog CTS-a dobili poticaje njemačkog KfW programa, moraju zadovoljiti minimalnu linearnu gustoću toplinske energije od najmanje 500 kWh/m. Srednja linearna gustoća toplinske energije u Njemačkoj iznosi 4 000 kWh/m/A (Nast et al. 2009.) Ova vrijednost ne uključuje samo male CTS-e, već i one velike. Ovaj iznos je baziran na podacima iz 2009. i dosada se mogao promijeniti s uvođenjem mnogih malih CTS-a.

U Danskoj, srednja gustoća toplinske mreže iznosi 1 000 kWh/m/a. Postoje velike varijacije u gustoći, s CTS-a čija je linearna gustoća manja od 500 kWh/m/a. Ekonomski isplativ projekt



CTS-a u Danskoj se smatra onaj čija je linearna gustoća toplinske energije jednaka 200 kWh/m/a. Taj iznos je mnogo manji nego u Njemačkoj. Ova razlika između Danske i Njemačke se temelji na činjenici da danski CTS-i rade pri nižim temperaturnim režimima nego oni u Njemačkoj (Nasi et al. 2009.).



Slika 60. Prodana toplinska energija po duljini toplovoda za 238 CTS-a u Danskoj, uključujući i srednje vrijednosti za Njemačku i Dansku (Izvor: Michael Nast, Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.)

### 6.2.3 Dimenzioniranje toplovoda

Kako bi se zadovoljile potrebe kupaca, potrebno je obratiti pozornost na vrlo važnu karakteristiku sustava – **temperaturni režim** (vidi poglavlje 5.2). Stoga je potrebno uzeti u obzir **sezonalnost** u potrošnji toplinske energije. Temperature u sustavu mogu varirati, ovisno o zimskom i ljetnom radu sustava.

Premda su moderni CTS-i vrlo učinkoviti, **toplinski gubici** su neizbježni. Gubici bi uvijek trebali biti što je moguće manji, ali uvijek mora postojati prostor za optimizaciju između toplinskih gubitaka i dodatnih investicijskih troškova uslijed smanjenja gubitaka. Kako bi se izračunao temperaturni režim sustava potrebno je poznavati toplinske gubitke. To će također imati utjecaj na izbor izvora topline, uključujući i njegovu vršnu snagu. Sljedeći parametri utječu na toplinske gubitke u sustavu Rutz et al. (2015.):

- Duljina toplovoda
- Toplinska izolacija cijevi
- Vrsta tla
- Visina tla iznad položenih cijevi
- Volumen, protok i temperatura vode u sustavu
- Predviđena temperaturna razlika na posljednjem izmjenjivaču topline
- Broj izmjenjivača topline spojenih u seriju

Postoji više načina kako **izraziti toplinske gubitke** u CTS-u (Wiese 2007.):

- Temperaturna razlika između polazne i povratne temperature
- Relativni iznos ili postotak toplinskih gubitaka
- Ukupni iznos toplinskih gubitaka u W/m, kWh/m, kWh/a

Za izračunavanje relativnih toplinskih gubitaka se mogu koristiti Jednadžba 6 i Jednadžba 7. Pri tome je važno razlikovati gubitke bazirane na toplinskoj potrošnji (koliko toplinske energije trebaju potrošači) i na toplini dostavljenoj u toplinsku mrežu. Poznavanje ove razlike je nužno zato jer legislativa može definirati gubitke na prvi ili drugi način, kako bi se odbili ili odobrili poticaji za izgradnju CTS-a. Primjerice, bonus za kogeneracijska postrojenja u Njemačkoj se može dobiti samo ako su toplinski gubici mreže manji od 25%, definirani prema potrošnji toplinske energije.

Uobičajeni iznosi relativnih toplinskih gubitaka iznose 15-20% potrošnje toplinske energije. Taj iznos može biti puno manji, primjerice u Kopenhagenu iznosi samo 7%, ali i mnogo veći, čak do 50% kod loše dizajniranih sustava (Danska energetska agencija i Energinet.dk, 2015.). Kod nekih toplovoda, toplinski gubici mogu biti samo 2% dobavljene toplinske energije.

$$\begin{aligned} \text{Toplinski gubici toplovoda [\%]} = \\ \frac{\text{Proizvedena topl. en. [kWh/a]} - \text{Potrošnja topl. en. [kWh/a]}}{\text{Potrošnja topl. en. [kWh/a]}} \end{aligned} \quad \text{Jednadžba 6}$$

$$\begin{aligned} \text{Toplinski gubici toplovoda [\%]} = \\ \frac{\text{Proizvedena topl. en. [kWh/a]} - \text{Potrošnja topl. en. [kWh/a]}}{\text{Proizvedena topl. en. [kWh/a]}} \end{aligned} \quad \text{Jednadžba 7}$$

Nadalje, potrebno je definirati **protok** medija za prijenos topline (npr. m<sup>3</sup>/s), tlak (npr. u bar) te padove tlaka.

Hidraulički proračuni su nužni kako bi se definirale dimenzije različitih cijevi u CTS-u, za što se mogu koristiti razni programi za simulaciju, primjerice Termis. Uglavnom su potrebni sljedeći parametri kako bi se proveo hidraulički proračun:

- Karte koje sadrže: ceste, zgrade, visinske podatke itd.
- Katalog cijevi: dimenzije, toplinski gubici, itd.
- Podaci o potrošačima: toplinska potrošnja, temperaturna razlika
- Rubni uvjeti: projektna temperatura, gradijent tlaka, brzina strujanja medija u cijevima, itd.

Možda će biti potrebne dodatne informacije o projektu, ovisno o korištenom programu.

Pri projektiranju toplovoda, dimenzije će biti određene u skladu sa zimskim opterećenjima, ali je pritom potrebno pripaziti i na ljetno razdoblje, jer se tada mogu javiti kritične točke gdje vlada vrlo niski tlak i brzine strujanja. Uobičajena je praksa projektirati toplovod na način da su promjeri toplovoda najmanji kako bi se smanjili gubici. Međutim, ponekad je potrebno uzeti u obzir i daljnje širenje toplinske mreže.

Moguće je smanjiti temperaturni režim tijekom ljeta kako bi se povećala učinkovitost toplovoda. U nekim slučajevima je izvedivo zaustaviti postrojenje kako bi se smanjili veliki toplinski gubici. Međutim to ovisi od sustava do sustava. Primjerice, nije moguće prekinuti rad postrojenja ako postoji dogovor s kupcima toplinske energije o neprekinutom radu i dobavi toplinske energije za PTV.

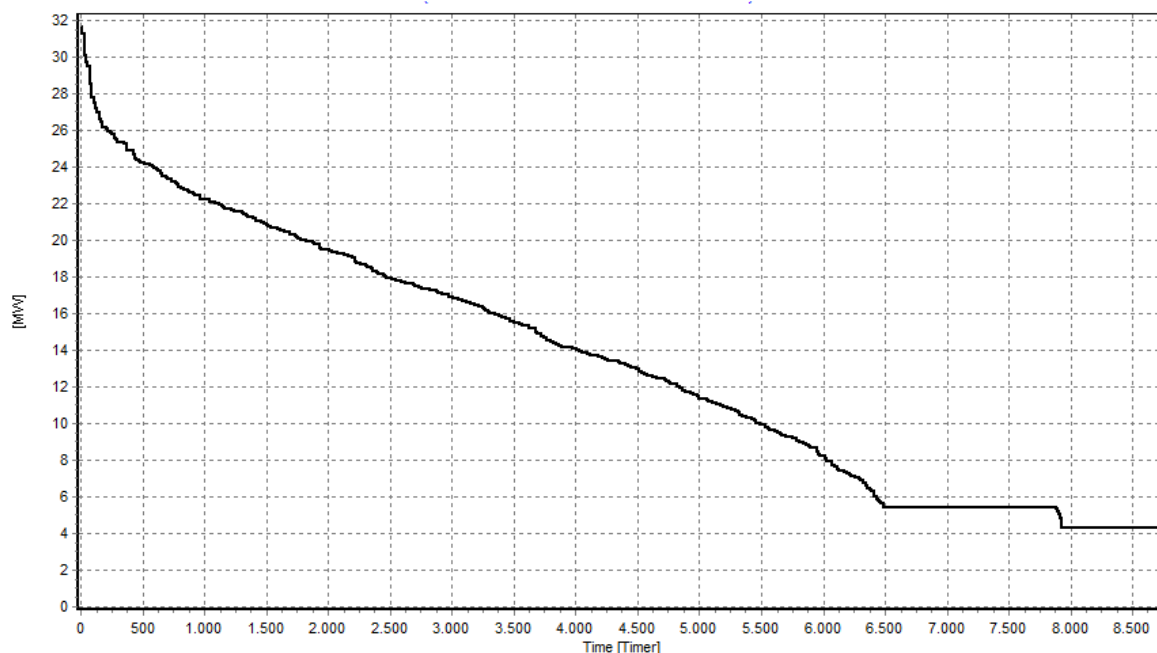
## 6.3 Projektiranje postrojenja za proizvodnju topline

### 6.3.1 Krivulja trajanja opterećenja

Sezonska varijacija potrošnje toplinske energije je ključna informacija dobivena analizom potrošnje. Analiza krivulje trajanja opterećenja daje uvid u varijaciju potrošnje toplinske energije. Nadalje, poslužiti će pri definiranju instaliranih snaga različitih toplinskih izvora.

Slika 61 prikazuje primjer krivulje trajanja opterećenja za CTS u Danskoj, gdje je opterećenje prikazano u MW za određen broj sati u godini. Koristeći krivulju trajanja opterećenja može se dobiti uvid u broj sati kada postrojenje radi na vršnom, srednjem i baznom opterećenju. Na danom primjeru može se npr. vidjeti da je broj sati rada na vršnom opterećenju jednak 1 400 – 2000 sati, na srednjem 2 800 – 6000, a na baznom 8760 kroz čitavu godinu.

Posebice je važno uzeti u obzir i najniže temperature na zadanoj lokaciji, jer utječu na količinu potrebne topline i vršno opterećenje te s time i na instaliranu snagu postrojenja. Klimatski podaci su uglavnom dostupni kod javnih meteoroloških institucija. Uz poznavanje podataka o zgradi (oblik, veličina, izolacija, način upotrebe) i meteoroloških podataka moguće je proračunati točnu potrošnju toplinske energije i sezonske specifikacije CTS-a (Rutz et al. 2015).



Slika 61. Primjer krivulje trajanja opterećenja, danski primjer (Izvor: PlanEnergi).

### 6.3.2 Dimenzioniranje sustava proizvodnje toplinske energije

Osim prikupljanja podataka o potrošnji i projektiranja mreže, potrebno je isplanirati sustav proizvodnje toplinske energije. Sustav se sastoji od jedne ili više jedinica koje proizvode toplinsku energiju. Pametna kombinacija različitih proizvodnih tehnologija je važna karakteristika malih CTS-a koji koriste intermitentne OIE kao što je sunčeva energija.

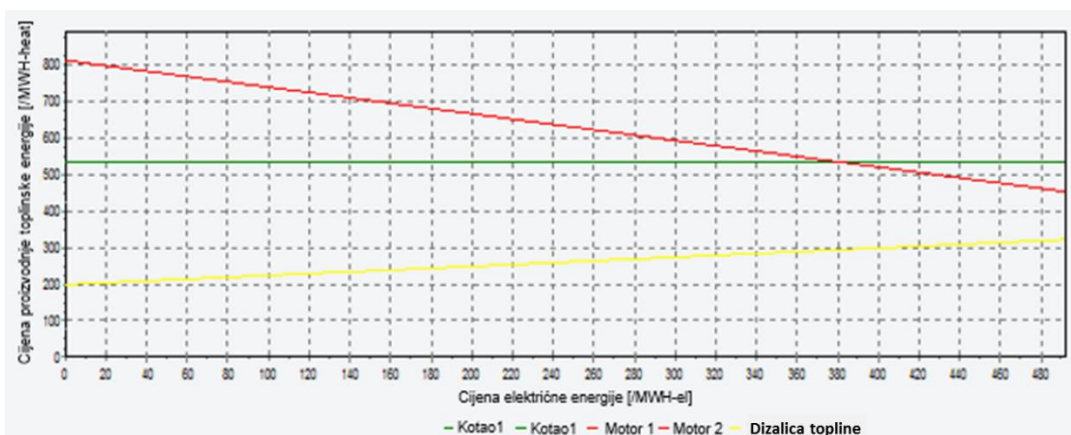
Slika 63, Slika 64 i Slika 65 prikazuju primjere kombinacije malih modularnih centraliziranih toplinskih sustava.

Jedan od razloga kombiniranja više različitih tehnologija je robusnost u pogledu sigurnosti dobave toplinske energije. **Spajanje većeg broja** manjih proizvodnih jedinica pridonosi ukupnoj stabilnosti sustava.

Sustav koji koristi veći broj različitih proizvodnih jedinica ima mogućnost korištenja tehnologija koje su **jeftinije za korištenje**, primjerice solarni kolektori i na taj način smanjiti korištenje jedinica koje pokrivaju vršno opterećenje čiji su troškovi vrlo visoki. Pri tome se može smanjiti i njihova nazivna snaga. Nadalje, proizvodnja se može prilagoditi trenutnom stanju cijena na tržištu. Primjerice, mnogi sustavi u Danskoj uključuju kotlove na prirodni plin ili biomasu, ali i električne grijače. U slučaju niske tržišne cijene električne energije pa čak i negativne, toplinsku energiju proizvode električni grijači. U izvještaju CoolHeating projekta (Laurberg Jensen et al. 2016.) se mogu naći primjeri kombinacije nekoliko različitih toplinskih izvora i tehnologija u malim CTS-ima.

Kod kombiniranja različitih proizvodnih tehnologija, potrebno je obratiti pozornost na planiranje proizvodnje kako bi se postigla što je moguće niža cijena proizvedene toplinske energije.

Slika 62 prikazuje primjer planiranja proizvodnje toplinske energije u sustavu koji kombinira više različitih tehnologija gdje je neto cijena proizvedene toplinske energije prikazana kao funkcija cijene električne energije. U ovome primjeru, sustav se sastoji od dva kotla, dva CHP postrojenja (motora) i dizalice topline.



Slika 62. Primjer planiranja proizvodnje toplinske energije gdje cijena toplinske energije ovisi o cijeni električne energije (Izvor: PlanEnergi)

Neto proizvodni troškovi toplinske energije (NHPC, *engl. net heat production costs*) za kotlove su konstantni<sup>15</sup>, ne ovise o cijeni električne energije jer oni proizvode samo toplinsku energiju. NHPC kogeneracijskih jedinica ovise o cijeni električne energije, NHPC pada povećanjem cijene električne energije. U slučaju dizalice topline i električnog grijača, situacija je obratna. Koristeći više različitih tehnologija istovremeno, moguće je djelovati sukladno cijenama električne energije, npr. CHP će proizvoditi energiju kada je cijena električne energije visoka, a dizalice topline kada je cijena niska

Sljedeća strategija je kombinacija biomase i sunčeve energije kako bi se smanjili pogonski troškovi. Na taj način je moguće pokriti toplinske potrebe ljeti iz sunčevih kolektora te na taj način smanjiti potrošnju biomase tijekom tog perioda (Slika 3). Na taj je način moguće smanjiti pogonske troškove kotla na biomasu.

Uz korištenje raznih jedinica za proizvodnju toplinske energije, moguće je integrirati pametno skladištenje toplinske energije, koje ima važnu ulogu u ukupnom sustavu. Satni toplinski spremnici mogu smanjiti vršno opterećenje sustava, a sezonski toplinski spremnici mogu povećati udio solarnih kolektora u CTS-u. Dizalica topline može biti vrlo važan dio takvog sustava.

Cijena proizvodnje toplinske energije ovisi o troškovima goriva, porezu, cijeni električne energije te troškovima održavanja i pogona. U sustavu s različitim tehnologijama, cijena

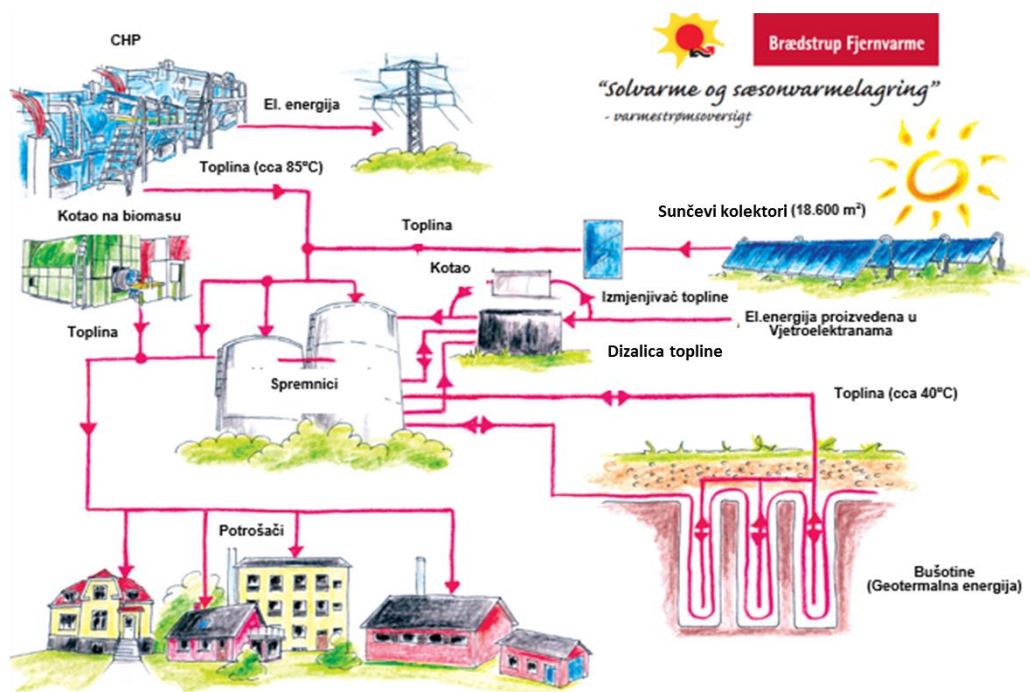
<sup>15</sup> Potrošnja električne energije kotla je u ovome slučaju zanemarena

proizvodnje toplinske energije će odrediti broj sati rada svake jedinice, npr. u godini s visokim cijenama električne energije, CHP će raditi veći broj sati nego u godini s nižim cijenama.

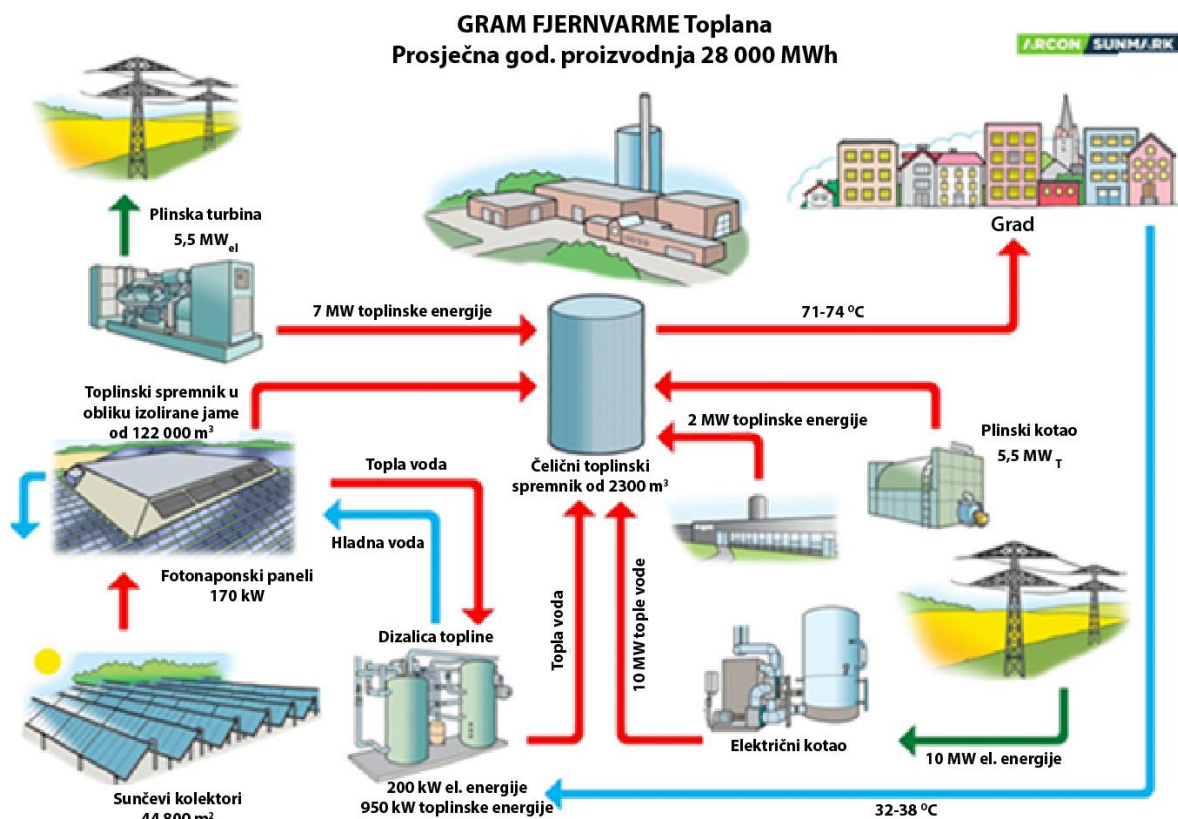
Jedan od nedostataka ovakvih sustava koji kombiniraju više vrsta tehnologija i proizvodnih jedinica je njegova kompleksnost, koja zahtjeva i naprednije sustave upravljanja. Sljedeći nedostatak je vezan za iskoristivost pojedinih jedinica, neke jedinice će raditi manji broj sati nego što je to maksimalno moguće, npr. broj sati rada kotla na biomasu može biti smanjen. Stoga bi isplativost projekta morala biti izračunata za čitavi sustav, a ne za pojedine segmente. Ako su troškovi i razina kompleksnosti vrlo visoki, preporuča se korištenje konzultacijskih usluga određenih tvrtki koje se bave planiranjem.

Potrebno je analizirati dostupnu tehnologiju, energetske izvore i ukupne potrebe za toplinskom energijom prije investiranja u novi CTS, kako bi se optimizirao rad postrojenja.

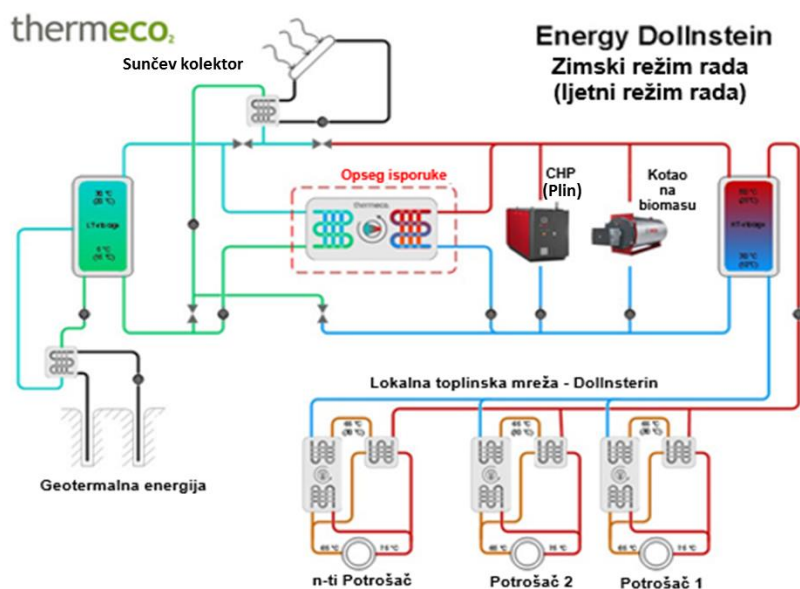
Za dimenzioniranje proizvodnih jedinica, korisno je koristiti krivulju trajanja opterećenja (Poglavlje 6.3.1). Za detaljno planiranje, preporuča se korištenje programskih alata, poput energyPRO. Ovaj program ima mogućnost izrade krivulje trajanja opterećenja, izračunate prema pretpostavkama o toplinskoj potrošnji i lokalnim meteorološkim uvjetima. Moguće je napraviti detaljan plan koristeći programske alate.



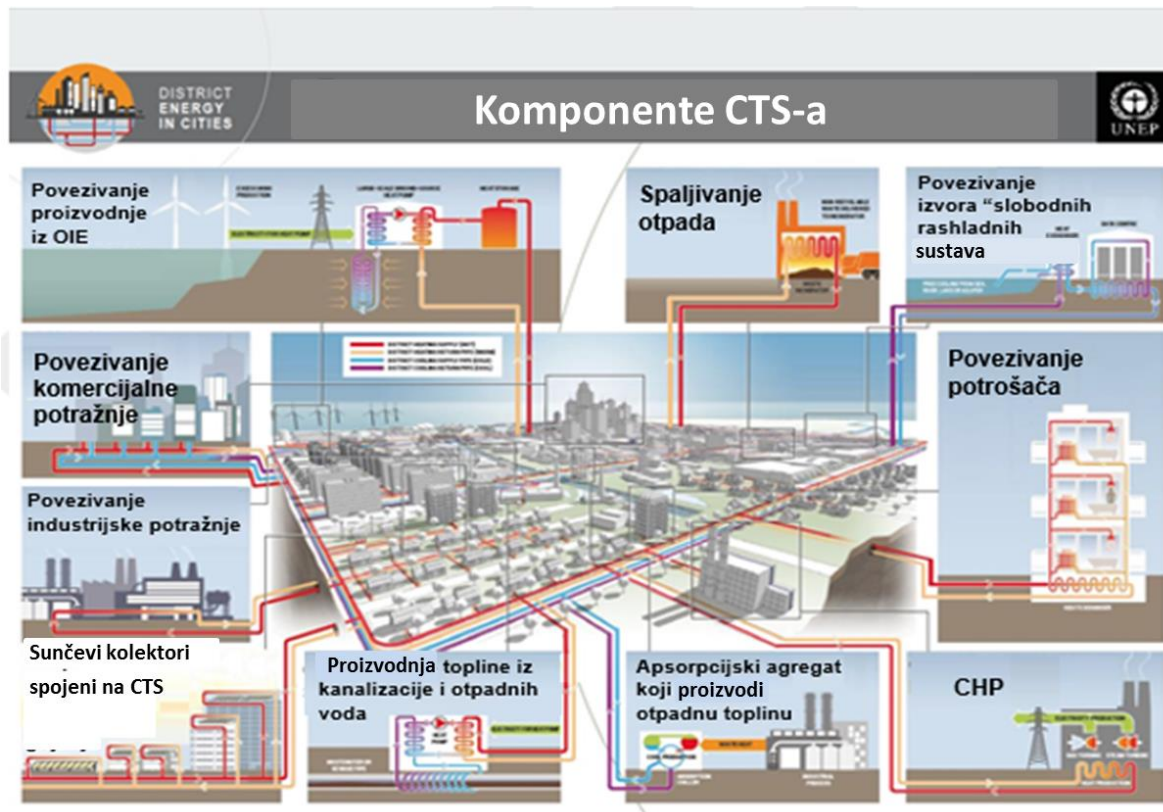
Slika 63. Shema CTS-a u Bradstrupu, Danska (Izvor: braedstrup-fjernvarme.dk)



Slika 64. Shema CTS-a u Gramu, Danska (Izvor: Rutz D.)



Slika 65. Shema CTS-a u Dollnsteinu (Izvor: Dürr thermea)



Slika 66. Komponente većeg CTS-a (Izvor: UNEP, [www.districtenergyinitiative.org](http://www.districtenergyinitiative.org))

#### 6.4 Potrebe i uzorci ponašanja krajnjih korisnika

Osim tehničke analize potrošnje toplinske energije, potrebno je izraditi i netehničku analizu. Stoga je nužno uzeti u obzir potrebe i uzorke ponašanja krajnjih korisnika u daljnjim analizama.

Potrebno je razmotriti voljnost korisnika da se spoji na CTS. Motivacije korisnika da se spoje mogu biti mnogobrojne. Niže cijene toplinske energije, bolja usluga, potpora i korištenje OIE te veći komfor mogu biti potencijalni razlozi za to. Krajnji korisnik jedino mora platiti toplinsku energiju i ne treba se brinuti o godišnjim troškovima goriva kao što je to slučaj s individualnim grijanjem. Povećani komfor za krajnje korisnike je ključna karakteristika CTS-a, ali je ujedno i izvor konkurentnosti između sličnih CTS-a. Nadalje, dodatna pogodnost je povećanje životnog prostora u objektu jer komponente CTS-a zauzimaju manje prostora u stanu nego pri korištenju individualnog grijanja. Pri spajanju na CTS, potrebno je jedino rezervirati prostor za toplinsku podstanicu, ali u nekim slučajevima i toplinski spremnik. Pri individualnom grijanju potrebno je rezervirati prostor za kotao, spremnik vode i lož ulja te dodatni toplinski spremnik.

Direktan odnos između krajnjeg korisnika i pružatelja usluga, kao i razni informativni event, mogu poboljšati odnos kupaca prema CTS tehnologiji. Ovisno o stupnju razvoja projekta, moguće je prikupiti pisma potpore potpisana od strane potencijalnih kupaca spremnih za priključivanje na sustav. Ovo je vrlo važno u početnoj fazi projekta jer postoji velika mogućnost da se svi potencijalni korisnici neće htjeti spojiti na CTS, što ujedno i smanjuje potencijalnu potrošnju toplinske energije promatranog područja.

Jednom kada projekt uđe u daljnju fazu razvoja, bilo bi dobro izraditi dugoročne ugovore između kupca i proizvođača toplinske energije uslijed visoke investicijske cijene i truda potrebnog kako bi se izradio CTS. Odnosi definirani u ugovoru su podložni su raznim zakonima i odlukama lokalnih vlasti koje se vežu na centralizirane toplinske sustave te prodaju toplinske energije. CTS tvrtka koja proizvodi i prodaje toplinsku energiju mora biti transparentna te to mora biti jasno predstavljeno krajnjim kupcima toplinske energije. Na taj način će se stvoriti

uzajamno povjerenje između kupca i proizvođača što je ključno u takvome projektu. Kako bi se povećao broj potpisanih ugovora, predlaže se dostavljanje kupcima sljedeće:

- Pismo dobrodošlice
- Informacije o proizvođaču
- Sporazum o proizvodnji toplinske energije
- Uvjeti sporazuma
- Tehnički uvjeti sporazuma
- Popis cijena toplinske energije i primjer ugovora

U ugovoru s kupcem toplinske energije, potrebno se dogovoriti oko **koncepta dobave toplinske energije**. Postoje dva glavna i različita koncepta, nazvani: osnovna dobava toplinske energije i garantirana dobava toplinske energije.

U **konceptu osnovne dobave toplinske energije**, proizvođač dobavlja samo određeni dio toplinske energije do potrošača. Ovaj model je često korišten ako je toplinska energija zapravo otpadna toplina određenog postrojenja. Proizvođač ne garantira potpunu dobavu toplinske energije. U tome slučaju potrebno je postojanje dodatnih izvora toplinske energije koji će krajnjemu kupcu omogućiti grijanje u trenucima kada proizvođač to nije u mogućnosti. Ovo se uglavnom događa u trenucima vršne potrebe za toplinskom energijom ili prilikom kvara na sustavu. Kod ovakvog koncepta, rizik koji preuzima proizvođač je minimalan, ali je i cijena toplinske energije uslijed toga smanjena. Kupci toplinske energije imaju koristi zato jer kupuju relativno jeftinu toplinsku energiju, ali moraju investirati u toplinsku podstanicu i dodatan bojler te njegovo održavanje.

Kod **koncepta garantirane toplinske energije**, čitava potrošnja toplinske energije je pokrivena pomoću CTS-a. Ovo je uobičajeni model ako se izrađuje novi takav sustav. Ovaj koncept uključuje dobavu toplinske energije pri vršnom toplinskom opterećenju, npr. tijekom hladne zime, ali i onda kada dođe do kvara na sustavu. Primjerice u Njemačkoj, u mnogim sustavima se garantira dobava toplinske energije do  $-15^{\circ}\text{C}$  vanjske temperature. U ovakvim slučajevima proizvođač toplinske energije ima veće investicijske troškove pošto mora instalirati kotao veće vršne toplinske snage ili dodatne kotlove u slučaju kvara primarnog izvora toplinske energije. Pri ovakvom konceptu je povećan rizik za proizvođača toplinske energije jer mora garantirati kontinuiranu dostavu toplinske energije kada je to kupcu potrebno. Pošto je kupac čitavu odgovornost proizvodnje toplinske energije prebacio na proizvođača, moguće su više cijene toplinske energije, ali je i komfor krajnjeg korisnika veći (Rutz et al. 2015.).

Uz tehničku procjenu, moguće je analizirati i podatke o potrošnji te informacije o krajnjim korisnicima. Stoga je potrebno procijeniti i uzorke potrošnje energije na dnevnoj i sezonskoj razini te vršna opterećenja.

Potrebno je uzeti u obzir, da ponašanje korisnika ima veći utjecaj na ukupnu potrošnju toplinske energije nego vrsta tehničke opreme. Toplinska potrošnja može jako varirati za isti tip zgrade uslijed različitog uzorka ponašanja korisnika. Primjerice, drugačije navike ventiliranja prostora i održavanja sustava grijanja mogu imati veliki utjecaj na ukupnu potrošnju toplinske energije. Priključivanje kupaca na CTS može biti dobra prilika za izobrazbu o energetske učinkovitosti. Nadalje, potrebno je redovito pregledavati i održavati opremu za grijanje u zgradi. Taj posao najčešće preuzima vlasnik zgrade, a ne proizvođač toplinske energije. Taj bi posao mogao biti dodatna usluga proizvođača toplinske energije pri čemu bi se povećala suradnja s lokalnim instalaterima opreme za grijanje.

Na kraju, poslovni model centraliziranog toplinskog sustava može uključivati i suradnju s krajnjim kupcima. Oni mogu biti uključeni kao investitori ili dionici, posebice u zadružnim modelima poslovanja. Na ovaj način je moguće povećati ekonomsku isplativost te izvedivost projekta.



## 6.5 Ekonomika malih centraliziranih toplinskih sustava

Sveukupna ekonomika malih CTS-a ovisi o više faktora na puno različitih razina. Primjerice, na lokalnoj razini, cijena proizvodnje energije iz OIE se često u društvu uspoređuje s cijenom proizvodnje iz fosilnih goriva. Ako su OIE jeftiniji od fosilnih goriva tada će oni biti implementirani. Ako su troškovi veći, tada projekt neće biti prihvaćen. Lokalni načini potpore imaju veliki utjecaj na ekonomiku na lokalnoj razini.

Stoga su u nastavku prikazani samo najvažniji parametri koji utječu na ekonomsku isplativost projekta. Detaljnije informacije su prikazane u ostalim izvještajima CoolHeating projekta. Također se može koristiti i kalkulator ekonomske isplativosti, izrađen u sklopu CoolHeating projekta. Ključni faktori koji utječu na ekonomsku isplativost uključuju:

- Investicijske troškove
- Troškove pogona i održavanja
- Toplinsku potrošnju krajnjih korisnika
- Cijenu goriva
- Poreze
- Kvalitetu i životni vijek trajanja opreme
- Model poslovanja
- Vlasništvo nad CTS-om

## 7 Tehnologije za hlađenje

Povećanjem srednjih temperatura uslijed globalnog zatopljenja, potreba za rashladnom energijom postaje sve bitnija. Međutim, već danas je potreba za rashladnom energijom značajna. Hlađenje ima primjene u raznim djelatnostima:

- Klimatizacija javnih i privatnih zgrada
- Klimatizacija industrijskih zgrada (npr. hlađenje sobe za server)
- Hlađenje industrijskih i prehrambenih proizvoda
- Hlađenje u industriji proizvodnje pića i hrane
- Hlađenje u kemijskoj industriji

Ovisno o potražnji rashladne energije i temperaturnoj razini, OIE se mogu upotrijebiti u procesima hlađenja. Hlađenje je najčešće potrebno za vrijeme vrućih ljeta, odnosno u razdobljima kada je sunčevo zračenje intenzivno. Stoga, proizvodnja rashladne energije pomoću sunčeve energije i otpadne topline iz drugih procesa može povećati udio OIE.

Kako bi se povećao udio OIE mogu se koristiti klasični hladnjaci, apsorpcijski hladnjaci, adsorpcijski hladnjaci te dizalice topline. Razne tehnologije su prikazane u nastavku.

### 7.1 Prirodno hlađenje

Prirodno hlađenje je jeftino hlađenje („besplatno“) gdje se koristi niska temperatura, primjerice temperatura zraka, tla ili vodenih masa. Takvo hlađenje nije u potpunosti besplatno jer je potrebna određena količina energije za pokretanje ventilatora, kompresora i kontrolnih uređaja. Međutim, takvo hlađenje uvelike smanjuje troškove i emisije stakleničkih plinova. Kao prirodni izvori rashladne energije, mogu se koristiti:

- Hladna voda iz jezera, mora ili rijeka
- Niska temperatura zraka uslijed noćnih razdoblja
- Niska temperatura zraka uslijed velike visine
- Niska temperatura tla

Ovisno o sustavu i potrebama, prirodni izvori rashladne energije se mogu koristiti zasebno ili u kombinaciji s konvencionalnim tehnologijama za hlađenje kao što su klasični hladnjaci. U slučaju promjenjivog potencijala rashladnog izvora, primjerice hladni zrak tijekom noći, ono može zaobići korištenje konvencionalnih hladnjaka tijekom tih razdoblja. Tada se konvencionalni hladnjaci mogu koristiti samo tijekom vršnih opterećenja, primjerice danju.

Jednostavna primjena prirodnog hlađenja je klimatizacija zgrade pri čemu se koristi geotermalna dizalica topline koja ima i mogućnost grijanja tijekom zime. Ljeti je prosječna temperatura tla 8-12°C i centralni toplinski sustav može poslužiti za hlađenje zgrade. Posebice ako centralni sustav grijanja ima velike površine kao što su panel grijači ili podno grijanje. Niska temperatura tla može biti korištena za učinkovito hlađenje zgrade. Velika pozornost mora biti dana spuštanju temperature ispod točke rosišta kako kondenzirana voda ne bi oštetila zgradu.

Drugi način prirodnog hlađenja je projektiranje zgrade na način da se zgrada tijekom noći ohladi na određenu temperaturu pomoću vanjskog zraka relativno niske temperature kako bi zgrada ostala klimatizirana i tijekom dana

### 7.2 Kompresijski rashladni uređaji

Kompresijski rashladni uređaji su najčešće korišteni u hlađenju zgrada i automobila. Osim toga, koriste se i u kućanstvima te u komercijalne svrhe, u kemijskoj industriji, skladištima hrane, hladnjačama itd.

Kompresijski rashladni uređaji koriste rashladno sredstvom kao medij koji apsorbira toplinu iz prostora koji je potrebno ohladiti i potom tu toplinu otpušta negdje drugdje. Ključan dio uređaja je kompresor kojeg pokreće električna energija. Nadalje, sustav uključuje kondenzator, ekspanzijski ventil i isparivač.

U procesu, rashladno sredstvo ulazi u kompresor u isparenom stanju. Tu se povećava tlak te mu pritom raste i temperatura i dolazi u stanje pregrijane pare. Pregrijana para rashladnog medija se hladi zrakom ili vodom što dovodi do kondenzacije pare natrag u kapljevito stanje. Kondenzirani rashladni medij je tada u stanju vrele kapljevine. Potom ulazi u ekspanzijski ventil gdje se naglo spušta tlak i temperatura pri čemu je dio rashladnog sredstva ponovno ispario. Sada rashladni medij ponovno može apsorbirati toplinu, ispariti te ući u kompresor čime se zatvara ciklus hlađenja.

Najveća prednost kompresijskih rashladnih uređaja je njihova jednostavnost, pouzdanost te njihova široka primjena u raznim sustavima. Trenutni nedostaci su povezani s visokim troškovima električne energije za pogon kompresora. Kako su cijene električne energije često visoke, troškovi pogona ovakvih hladnjaka se moraju uzeti u obzir.

U odnosu na adsorpcijske i apsorpcijske hladnjake, klasični hladnjaci pretežito koriste električnu energiju, dok ostali sustavi uglavnom koriste toplinsku energiju, primjerice iz solarnih kolektora. Kako su cijene električne energije iz solarnih kolektora strmo glavo pale u zadnjih par godina, hlađenje pomoću klasičnih hladnjaka može konkurirati s mnogo inovativnijim tehnologijama, kao što su adsorpcijski i apsorpcijski hladnjaci, koji se trenutno puno manje koriste u sektoru hlađenja. Stoga kombinacija solarnih panela i klasičnih hladnjaka može u budućnosti konkurirati ovakvim sustavima.

### 7.3 *Apsorpcijski hladnjaci*<sup>16</sup>

U odnosu na kompresijske rashladne uređaje koji pretežito koriste električnu energiju, apsorpcijski hladnjaci obično koriste određeni toplinski izvor, koji može biti sunčeva energija ili otpadna toplina, za potrebe procesa hlađenja. Oni su alternativno rješenje konvencionalnim hladnjacima u područjima gdje je električna energija skupa, nepouzdana, ali ponekad i nedostupna te gdje je buka kompresora nepoželjna i problematična. Oni su optimalno rješenje gdje postoji višak toplinske energije, primjerice u nekom industrijskom postrojenju. Apsorpcijski hladnjaci uobičajeno imaju određene prednosti, neke od njih su navedene u nastavku (Skagestad & Mildenstein, n.d.):

- Niža potreba za električnom energijom
- Manji izvor buke i vibracija prilikom rada
- Sposobnost pretvorbe viška otpadne topline u rashladnu energiju
- Radne tvari uglavnom ne predstavljaju prijetnju za ozonski sloj

Apsorpcijski hladnjaci, kao i kompresijski, koriste rashladno sredstvo koje uobičajeno ima nisku točku vrelišta (često ispod -18 °C). U oba slučaja, toplina je preuzeta iz jednog sustava, pri čemu sredstvo isparava, kako bi se stvorio efekt hlađenja. Glavna razlika između ova dva sustava je način na koji se sredstvo vraća u kapljevito stanje kako bi se proces mogao ponoviti. Kompresijski hladnjaci mijenjaju agregatno stanje tvari iz plinovitog u kapljevito povećanjem tlaka, pritom koristeći kompresor pogonjen elektromotorom. Apsorpcijski hladnjak mijenja agregatno stanje rashladnog sredstva iz plinovitog u kapljevito, apsorpcijom rashladnog sredstva u drugu tekućinu te zatim koristi toplinu za ponovno isparavanje rashladnog medija. Druga razlika je u korištenom rashladnom sredstvu. Kompresijski rashladni uređaji obično koriste HCFC ili HFC dok apsorpcijski rashladni uređaji obično koriste amonijak ili litij bromid (LiBr).

<sup>16</sup> Za potrebe ovoga poglavlja su korišteni dijelovi teksta BiogasHeat Handbook (Rutz et al. 2015). Više dijelova teksta je preuzeto iz ovog izvora.

Uobičajeno je kategorizirati apsorpcijske hladnjake na direktne i indirektne te na jednostruke, dvostruke ili trostruke. Korištenje OIE ili otpadne topline je uglavnom relevantno za indirektne, dok direktni apsorpcijski hladnjaci koriste direktan izvor topline, primjerice plamen prirodnog plina itd. Kompresijski i apsorpcijski hladnjaci mogu biti kombinirani: kaskadno ili hibridno.

Klasifikacija jednostrukih, dvostrukih ili trostrukih adsorpcijskih hladnjaka se bazira na broju toplinskih izvora. Jednostruki apsorpcijski hladnjaci imaju samo jedan stupanj grijanja radne tvari (jednostavno rješenje). Dvostruki imaju dva stupnja isparavanja kako bi se odvojilo rashladno sredstvo od apsorbera. Stoga, ovakvi apsorpcijski hladnjaci imaju dva kondenzatora i dva generatora. Prijelaz topline se odvija pri višim temperaturama u odnosu na jednostruke cikluse. Dvostruki ciklusi imaju veću učinkovitost, ali su i skuplji (New Buildings Institute 1998). Trostruki apsorpcijski hladnjaci još su napredniji i trenutno su u stadiju razvoja te predstavljaju sljedeći korak u napretku ove tehnologije (New Buildings Institute 1998).

Korištenje apsorpcijskih hladnjaka ovisi o temperaturi otpadne topline, korištenom rashladnom sredstvu, apsorpcijskom mediju kao i o traženoj temperaturi potrebnoj za proces hlađenja. LiBr/H<sub>2</sub>O apsorpcijski hladnjaci su u mogućnosti sniziti temperaturu do 6°C dok NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O hladnjaci čak od 0 do -60°C.

Kako bi se moglo usporediti hladnjake, koristi se faktor hlađenja (EER, *engl. energy efficient ratio*) koji je sličan faktoru grijanja (COP, *engl. coefficient of performance*). Predstavlja omjer rashladnog učinka ( $\dot{Q}_C$ ) i dovedenog toplinskog toka ( $\dot{Q}_H$ ). Stoga je snaga pumpe ( $P_P$ ) zanemariva. EER stvarnog sustava je općenito manji od 1. Uobičajeni iznosi EER-a su 0,65-0,8 za jednostruke te 0,9-1,2 za dvostruke apsorpcijske hladnjake (Skagestad & Mildenstein, n.d.).

$$EER = \frac{\text{Rashladni učinak}}{\text{Dovedeni toplinski tok}} = \frac{\dot{Q}_C}{\dot{Q}_H + P_P} \approx \frac{\dot{Q}_C}{\dot{Q}_H}$$

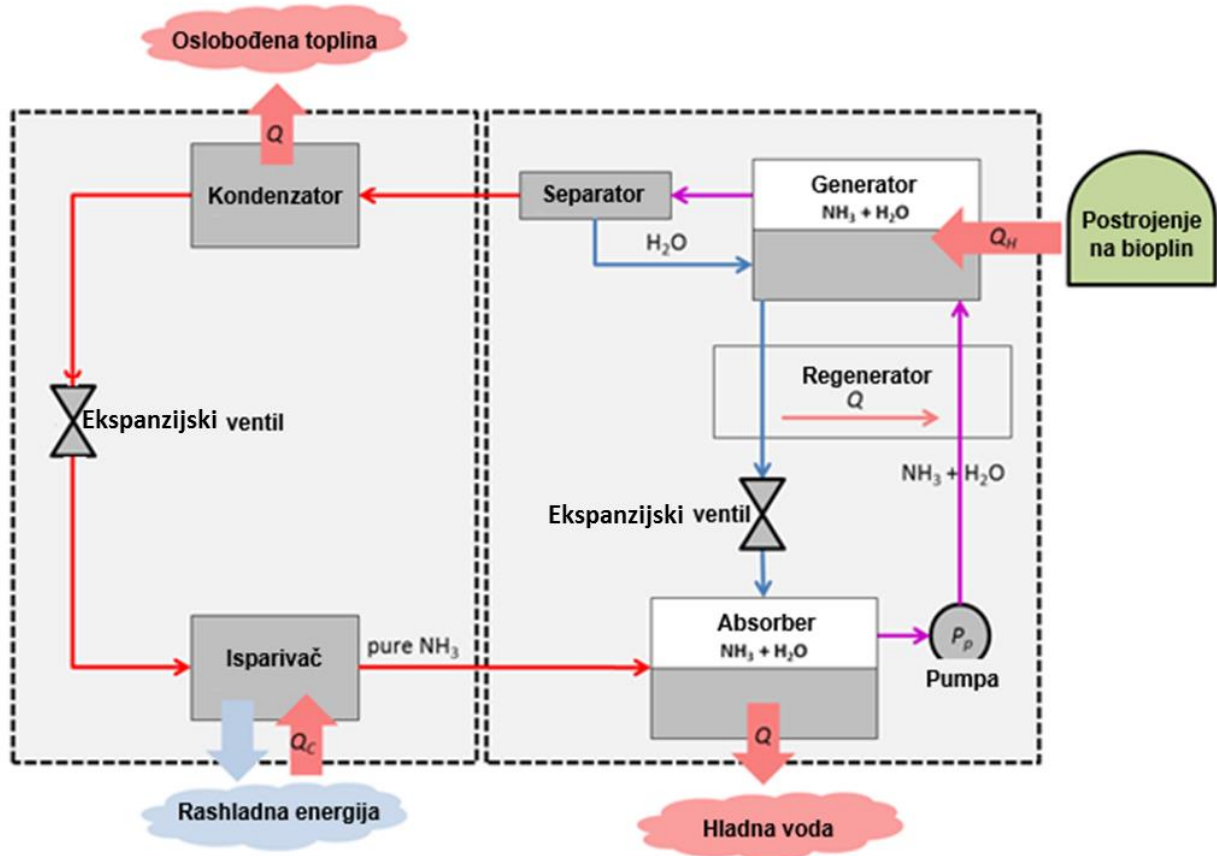
**Jednadžba 8**

*EER- faktor hlađenja*

$\dot{Q}_C$      *rashladni učinak [kW]*

$\dot{Q}_H$      *dovedeni toplinski tok [kW]*

$P_P$      *Potrebna električna snaga (pumpa) [kW]*



Slika 67. Proces tipičnog  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$  apsorpcijskog hladnjaka koji koristi otpadnu toplinu (Izvor: Rutz et al. 2015.)

Slika 67 prikazuje uobičajeni proces tipičnog apsorpcijskog  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$  hladnjaka. U ovome procesu, amonijak služi kao rashladno sredstvo, a voda kao apsorber. Amonijak u kapljevito-agregatnom stanju u **isparivaču** stvara efekt hlađenja. Apsorbira toplinu iz tvari koju je potrebno ohladiti i pritom isparava. Otuda se pare amonijaka transportiraju natrag do apsorbera. U **apsorberu** već postoji slaba otopina amonijaka i vode. Voda služi kao apsorber, nezasićena je i postoji potencijal za dodatnim parama amonijaka koje je moguće apsorbirati. Kako pare amonijaka dolaze u apsorber, tako ih voda apsorpira i stvara se jaka otopina amonijaka u vodi. Tijekom ovog procesa, oslobađa se toplina koja smanjuje potencijal apsorpcije amonijaka u vodi; uslijed čega se amonijak hladi vodom. Otopina se transportira pomoću **pumpe** pri visokom tlaku do **generatora** u kojem se zagrijava pomoću toplinskog izvora (npr. bioplinско postrojenje) dok amonijak ne ispari. Pare amonijaka napuštaju generator pri čemu su čestice vode nošene s amonijakom, uslijed velike sklonosti spajanja amonijaka s vodom. Zbog toga, smjesa se dovodi u **separator**, koji podsjeća na destilacijski uređaj, gdje se voda odvaja od amonijaka. Voda se potom odvodi do regeneratora, kroz ekspanzijski ventil natrag u generator. Slaba smjesa vode i amonijaka se odvodi iz generatora u apsorber. Čiste pare amonijaka ulaze u kondenzator pri visokom tlaku gdje se hlade vodom. Amonijak mijenja svoje agregatno stanje u kapljevito i potom prolazi kroz ekspanzijski ventil pri čemu mu se naglo spušta temperatura i tlak. Amonijak potom ponovno ulazi u isparivač gdje nastaje efekt hlađenja čime se zatvara proces hlađenja.



Slika 68. Hladnjak hlađen zrakom koji koristi otpadnu toplinu postrojenja za spaljivanje otpada u Austriji (Izvor: Rutz D.)

#### 7.4 Adsorpcijski hladnjaci

Adsorpcija je adhezija atoma, iona ili molekula plina, kapljevine ili otopljene krutine na površini. Proces je sličan apsorpciji, ali se razlikuje po tome što se u apsorpciji tekućina (apsorber) otapa ili prodire u krutinu ili kapljevinu (apsorbent). Adsorpcija uvijek koristi tekućinu (plin) i kruti materijal, dok apsorpcijski uređaji uvijek koriste tekućine.

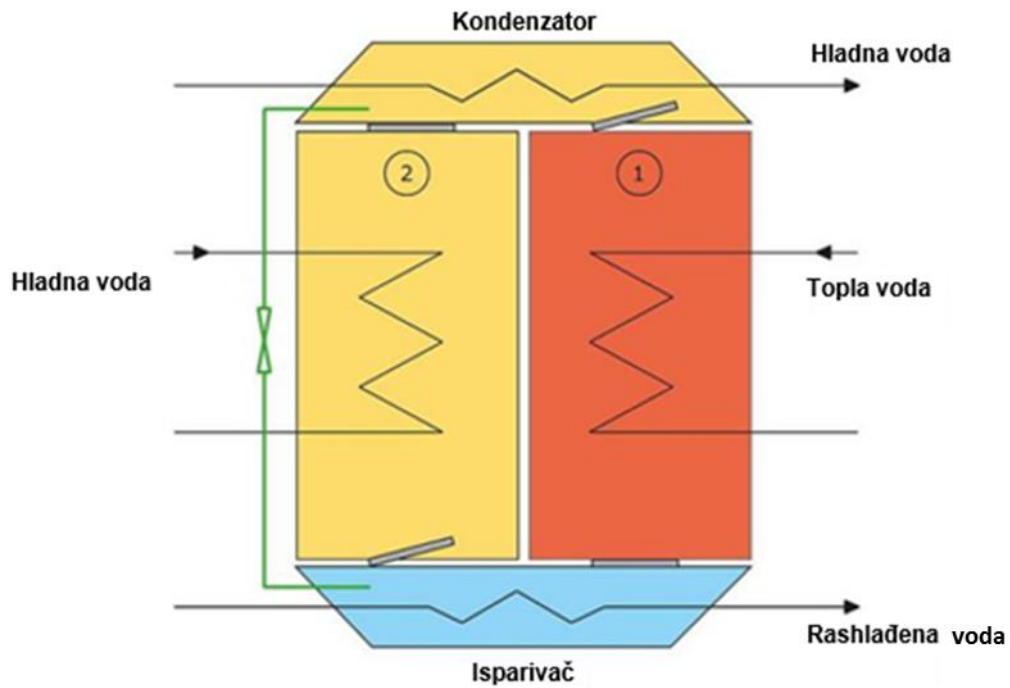
Adsorpcijski hladnjaci koriste kruti sorpcijski materijal umjesto tekućina. Danas su dostupne dvije tehnologije koje koriste silikagel ili zeolit kao sorpcijski materijal, a vodu kao rashladno sredstvo. Kombinirajući adsorbent i rashladno sredstvo, adsorpcijski hladnjaci koriste toplinu, primjerice iz solarnih kolektora kako bi pružili efekt hlađenja.

Sustav se sastoji od dvije adsorpcijske komore (Slika 69, Solair Project, 2009.) koje naizmjenično rade kao spremnici (Slika 70). Sadrže kruti sorbent koji u svojem neutralnom stanju adsorbira rashladno sredstvo. Kada se zagrije, kruti materijal otpušta pare rashladnog sredstva, koje se uslijed toga hlade i ukapljaju. Kapljevina se potom koristi za hlađenje u isparivaču, apsorbirajući toplinu i prelazeći u plinovito agregatno stanje. U posljednjoj fazi procesa, pare rashladnog sredstva su ponovno adsorbirane u kruti materijal. Korištenjem dva spremnika može se postići kontinuirani proces.

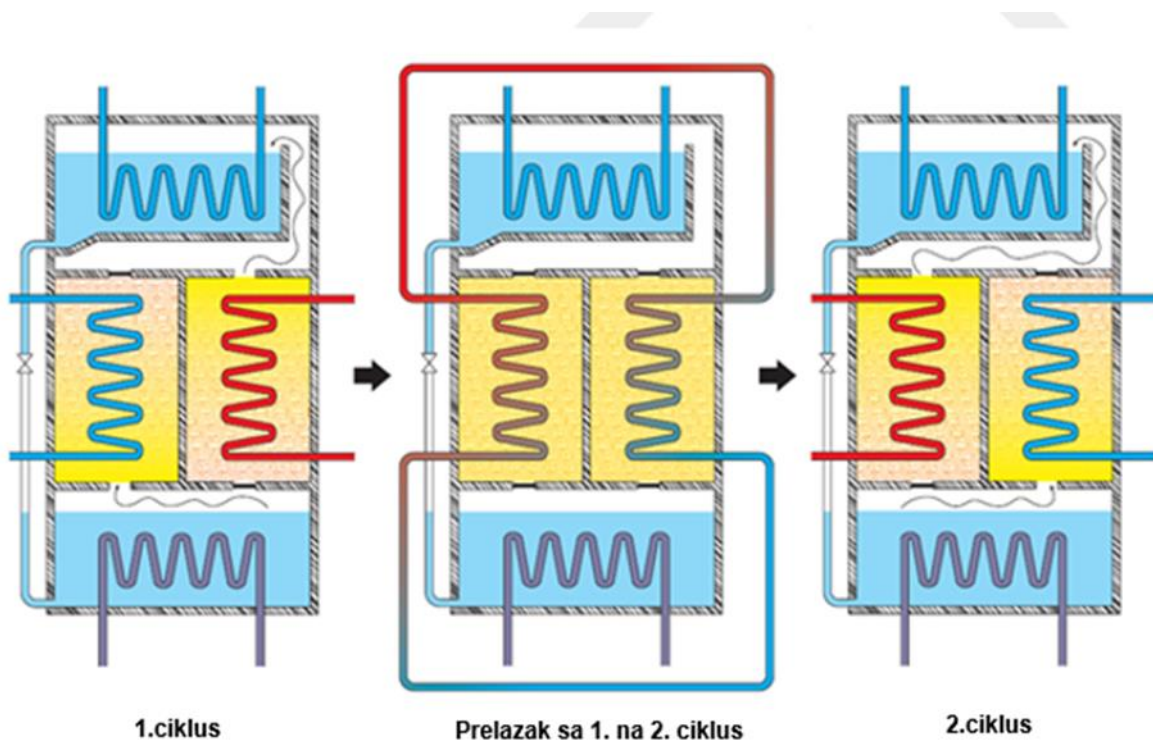
Do danas, postoje samo nekoliko azijskih i europskih tvrtki koje proizvode adsorpcijske hladnjake. Uslijed uobičajenih radnih temperatura do 80 °C, može se postići COP od 0,6, ali proces je moguć i pri temperaturama od 60 °C. Rashladni učinak može biti od 5,5 do 500 kW (Solair Project, 2009).

Adsorpcijski hladnjaci imaju iste prednosti kao i apsorpcijski. Dodatna prednost adsorpcijskih hladnjaka je njihova robusnost i jednostavna izvedba. Ne postoji opasnost od kristalizacije i stoga nema ograničenja temperature. Potrošnja električne energije je smanjena jer nema potrebe za pumpom. Nedostatak je relativno veliki volumen, masa te visoka cijena uslijed maloserijske proizvodnje. Postoji veliki potencijal za poboljšanjem vezan za konstrukciju

izmjenjivača topline u komorama adsorbera koja bi mogla smanjiti njihov volumen i masu (Solair Project, 2009).



Slika 69. Shema adsorpcijskog hladnjaka (Izvor: Solair Project 2009)



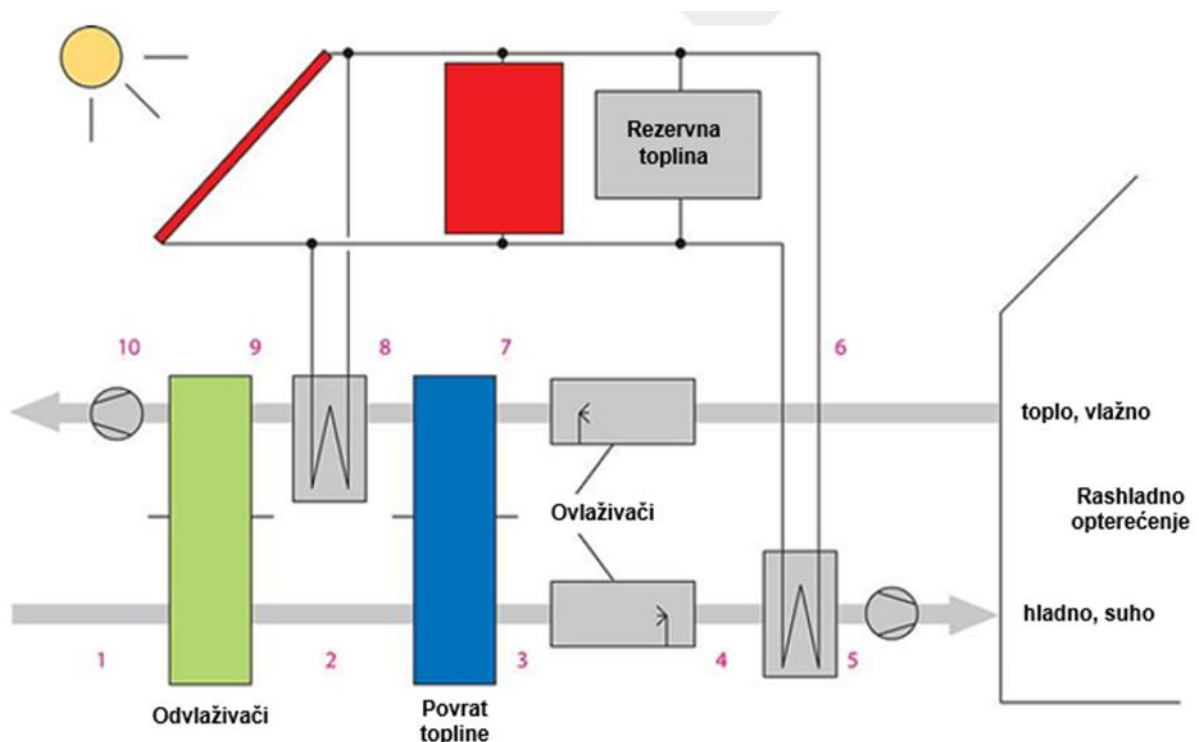
Slika 70. Princip rada adsorpcijskog hladnjaka i njegovih ciklusa (Izvor: Holzmann 2010)

## 7.5 Rashladni sustavi koji koriste materijal za sušenje

Rashladni sustavi koji koriste materijal za sušenje su otvoreni i koriste vodu kao rashladno sredstvo u direktnom kontaktu sa zrakom. Ovi sustavi koriste efekt evaporativnog hlađenja u kombinaciji sa sredstvom za sušenje, tj. higroskopnim materijalom. Ono može biti tekućina ili kruti materijal. Naziv „otvoreni“ se koristi kako bi se prikazalo odbacivanje iskorištenog rashladnog sredstva nakon završenog procesa hlađenja te dodavanje novog u sredstva u otvoreni ciklus. Stoga je moguće koristiti samo vodu u direktnom kontaktu sa zrakom. Današnje tehnologije uglavnom koriste rotacijske materijale za sušenje, opremljene sa silika gelom ili litij kloridom kao sorpcijskim materijalom (Solair Project, 2009).

Topli i vlažni zrak ulazi u rotacijski materijal za sušenje i suši se adsorpcijom vode (1-2). Kako se zrak zagrijava adsorpcijskom toplinom, sljedeće kolo služi kao izmjenjivač topline (2-3), što rezultira značajnim dodatnim hlađenjem dobavnog zraka. Uslijed toga, zrak se dodatno vlaži te uslijed toga hladi kontroliranim ovlaživačem (3-4). Kontrolirani parametri su temperatura dobavnog zraka i vlažnost. Sunčeva energija se također može koristiti zimi za proces grijanja (5). U procesu hlađenja, izlazna struja zraka iz sobe je ovlažena (6-7) skoro do točke rosišta kako bi se ohladilo kolo s izmjenjivačem topline (7-8). Na kraju, kolo sa sredstvom za sušenje se mora regenerirati (9-10) koristeći toplinu s relativno malim temperaturnim rasponom 50-75 °C kako bi se osigurao kontinuirani proces sušenja. Potreban je poseban dizajn kola sa sredstvom za sušenje u slučaju ekstremnih uvjeta, primjerice na Mediteranu. Novi sustavi koriste otopinu voda-litij klorida kao sredstvo za sušenje (Solair Project, 2009.)

Sustavi za hlađenje koji koriste sredstva za sušenje mogu koristiti sunčevu energiju iz solarnih kolektora na krovu zgrade, ali i toplinu iz CTS-a te otpadnu toplinu nekog drugog procesa.



Slika 71. Shema rada sustava za hlađenje koji koristi sredstvo za sušenje (Izvor: Solair Project 2009)



## 8 Tehnologije skladištenja rashladne energije <sup>17</sup>

Spremnici rashladne energije su po principu rada jednaki spremnicima toplinske energije opisanima u poglavlju 4. Stoga, kada su potrebne niske temperature, spremnici rashladne energije se koriste na isti način kao i spremnici toplinske energije. Postoje dva načina rada spremnika rashladne energije:

- Snižavanje temperature skladištene tvari u spremniku koristeći sustav hlađenja u produženom periodu
- Planirana proizvodnja ohlađene vode ili leda u spremniku, jami ili prirodnim rezervoarima

Učinak utjecaja promjene temperature na kvalitetu skladištenog proizvoda mora biti uzet u obzir, jer su neki produkti osjetljivi na promjene temperature.

Banke leda su danas najpoznatije tehnologije skladištenja rashladne energije, ali kako sustavi hlađenja postaju sve učinkovitiji, tako se i potreba za njima smanjuje. S povećanim potrebama za fleksibilnošću sustava hlađenja, postoji mogućnost njihovog ponovnog uvođenja. Međutim, proizvodnja leda mora biti vrlo učinkovita kako bi se smanjili gubici energije.

Klasična proizvodnja leda podrazumijeva velike razlike temperature. Temperature sustava hlađenja su često niže od -10 °C. Kombinirano korištenje vode kao rashladnog sredstva i leda kao sredstva za skladištenje rashladne energije rezultira vrlo učinkovitim načinom proizvodnje i skladištenja leda. Potrebna su dodatna istraživanja i razvoj proizvodnje leda baziran na korištenju čiste vode, punjenju i pražnjenju spremnika leda te mjerenju količine leda u spremniku.

Vodena para ima veliki potencijal kao rashladno sredstvo jer nije opasna za okoliš. Trenutno se ideja istražuje u nekoliko projekata s čime se želi komercijalizirati njezino korištenje u bliskoj budućnosti.

---

<sup>17</sup> Za potrebe ovoga poglavlja su korišteni dijelovi teksta Schrøder Pedersen et al. (2014)

## 9 Integracija sustava hlađenja

Hlađenje, klimatizacija zgrade te drugi načini primjene koji koriste sunčevu energiju su posebice zanimljivi u toplim područjima gdje je velika potražnja za rashladnom energijom povezana s visokim okolišnim temperaturama. Na taj način je moguće uskladiti vršno rashladno opterećenje s proizvodnjom rashladne energije. Razna skladišta, industrijski procesi te spremnici rashladne energije koji se nalaze u toplijim krajevima, trebaju mnogo rashladne energije u razdobljima kada je sunčevo zračenje maksimalno (Morgenstern, 2016.). Općenito je moguće koristiti uređaje za hlađenje koji koriste toplinsku energiju iz solarnih kolektora umjesto električnih uređaja koji koriste električnu energiju iz mreže kako bi se smanjilo njeno vršno opterećenje.

Također, moguće je koristiti ostale jeftine izvore topline, kao što je otpadna toplina iz bioplinskih CHP-a, u kombinaciji s rashladnim sustavima (adsorpcijskim i apsorpcijskim). Može se koristiti i prirodno hlađenje te sustavi hlađenja koji koriste sredstva za sušenje. Hlađenje pomoću električne energije dobivene iz solarnih panela se tada može koristiti kao dopunski sustav.

Međutim, solarno hlađenje je relativno skupo, pogotovo ako se koristi samo za hlađenje prostora (Kempener, 2015.).

### 9.1 Hlađenje s centraliziranim toplinskim sustavom

U područjima gdje nema velike potražnje za rashladnom energijom, ali pojedini korisnici imaju potrebe za rashladnom energijom, dio topline iz CTS-a se može iskoristiti za proizvodnju rashladne energije u apsorpcijskim hladnjacima koji se nalaze kod krajnjih korisnika. Na taj način se toplinska energija distribuira do potrošača gdje se potom proizvodi rashladna energija. Glavna prednost ovakvog pristupa je dodatna ekonomska isplativost u sustavima koji ne zahtijevaju veliku potrošnju energije za grijanje u toplim ljetnim razdobljima. Koristeći decentralizirane apsorpcijske hladnjake koji koriste toplinsku energiju iz mreže, mogu se stvoriti potrebe za toplinskom energijom i ljeti te na taj način povećati isplativost projekta CTS-a. Obično je tijekom ljeta potražnja za rashladnom energijom veća od energije potrebne za grijanje prostora. Dodatna prednost ovakvog pristupa je smanjenje vršne potrošnje električne energije tijekom ljeta.

### 9.2 Pametni centralizirani rashladni sustavi<sup>18</sup>

Centralizirani rashladni sustavi su slični centraliziranim toplinskim sustavima. Jedina razlika je u temperaturi medija koji prolazi kroz distribucijski sustav. Premda se potrošnja rashladne energije konstantno povećava, uslijed povećane razine komfora i viših temperatura uzrokovanih klimatskim promjenama, CRS nisu masovno korišteni kao CTS. Nekoliko europskih zemalja je uvelo CRS kako bi se smanjile emisije stakleničkih plinova.

Izvor rashladne energije mogu biti apsorpcijski hladnjaci, kompresijski rashladni uređaji te drugi procesi poput prirodnog hlađenja. Ostali sustavi hlađenja se također mogu koristiti. Prema ugovoru s potrošačima, ohlađena voda može biti distribuirana za vrijeme baznog i vršnog opterećenja. Uslijed visokih investicijskih troškova apsorpcijskih hladnjaka, dodatni kompresijski rashladni uređaji mogu biti korišteni za pokrivanje vršnog opterećenja. Pri dizajniranju CRS-a potrebno je obratiti pozornost na sljedeće (Rutz et al. 2015):

- Temperaturna razlika između povrata i polaza
- Brzina strujanja
- Tlak u distribucijskoj mreži i razlika tlaka između polazne i povratne cijevi

<sup>18</sup> Za potrebe ovog poglavlja korišteni su pojedini dijelovi BiogasHEat Handbook-a (Rutz et al. 2015).

Uspješna implementacija centraliziranih toplinskih i rashladnih sustava ponajviše ovisi o sposobnosti sustava da ostvari veliku (dovoljnu) temperaturnu razliku ( $\Delta T$ ) između polaza i povrata (Skagestad & Mildenstein n.d.). Ona je uglavnom ograničena na 8-11 °C. Sustav uglavnom prilagodi temperaturu rashladne vode prema okolišnoj temperaturi. CRS mogu biti podijeljeni u tri grupe, ovisno o polaznoj temperaturi:

- Voda ohlađena konvencionalnim hladnjacima do temperature 4-7 °C
- Sustavi vode i leda: +1°C
- Mješavina leda, mulj: -1°C

Uslijed malog temperaturnog gradijenta između cijevi i tla, nije potrebno izolirati cijevi. Podzemne cijevi za hlađenje u distribucijskoj mreži su obično na dubini od 60 cm. U toplijim područjima i u slučaju kada cijevi nisu položene u tlo, potrebno ih je izolirati.

Maksimalno dopuštene **brzine strujanja** su određene padom tlaka i kritičnim smetnjama u sustavu uzrokovanim tranzijentnim pojavama. Općenito bi brzine strujanja više od 2,5-3 m/s trebalo izbjegavati osim ako je sustav unaprijed dizajniran i zaštićen kako bi se dopustile povećane brzine strujanja.

### 9.3 Odabrani primjeri

U odnosu na male decentralizirane sustave grijanja koji koriste OIE, ne postoje toliko puno primjera dobre prakse vezanih uz CRS. Neki od primjera su prikazani u nastavku. Predstavljeni primjeri nisu nužno mali, decentralizirani ili obnovljivi, ali prikazuju različite korištene tehnologije i veličine sustava. Dobar pregled najboljih primjera sustava hlađenja koji koriste sunčevu energiju se mogu vidjeti na web stranici Solair projekta ([www.solair-project.eu/175.0.html](http://www.solair-project.eu/175.0.html)). Uz to, primjeri dobrih projekata se mogu naći i u izvješću CoolHeating projekta (Laurberg Jensen et al. 2016). Neki od Danskih primjera centraliziranih rashladnih sustava su u Kopenhagenu<sup>19</sup> i Thistedu<sup>20</sup>.

#### 9.3.1 Solarno hlađenje vinskog podruma u Banyuls sur Mer, Francuska<sup>21</sup>

Groupement Interproducteurs du Cru de Banyuls ([www.terresdestempliers.fr](http://www.terresdestempliers.fr)) je udruga proizvođača vina u Banyuls sur Mer, Francuska. Kako bi skladištili 3 milijuna boca na odgovarajućoj temperaturi, napravljena je analiza te je ugrađeno solarno hlađenje 1990. godine.

Potrošnja rashladne energije objekta ovisi o sunčevom zračenju, tj. ljeti je povećana potražnja za hlađenjem. Objekt se sastoji od prizemlja gdje se vino pakira i sprema za distribuciju te dva podruma u kojima se vino skladišti. Temperatura se u prizemlju održava na 22°C, u prvom podrumu na 19 °C, a u drugom na 17 °C.

Rashladni sustav se sastoji od 130 m<sup>2</sup> vakuumskih solarnih kolektora postavljenih na krov. Orijentirani su prema jug/jugozapad, a postavljeni su na krov pod fiksnim nagibom od 15°. Sustav uključuje 1 000 litara dnevnog toplinskog spremnika. Boce vina predstavljaju dugotrajni spremnik rashladne energije. Sustav ima jednostruki indirektni apsorpcijski hladnjak s nominalnim rashladnim učinkom od 52 kW, kao i rashladni toranj otvorenog tipa nominalnog rashladnog opterećenja 180 kW.

<sup>19</sup> <http://www.hofor.dk/english/district-cooling/?hilite=cooling>

<sup>20</sup> <http://fjernkoling.dk/>

<sup>21</sup> Podaci preuzeti sa: <http://www.solair-project.eu/185.0.html>

### 9.3.2 Solarno hlađenje s adsorpcijskim hladnjakom, Fraunhofer ISE, Freiburg, Njemačka<sup>22</sup>

Zgrada Fraunhofer Institute-a za Solarne energetske sustave (ISE) je energetska učinkovita s pasivnim načinom hlađenja. Izuzetak je kuhinja u prostoru kantine gdje je potrebno aktivno hlađenje zrakom kako bi se zadovoljilo rashladno opterećenje. Ono je pokriveno malim adsorpcijskim hladnjakom.

Sustav hlađenja kantine je zatvoreni sustav koji koristi ohlađenu vodu kao rashladni medij s adsorpcijskim hladnjakom. Potrebna toplina za sustav adsorpcijskog hlađenja je pokrivena solarnim kolektorima te sustavom grijanja instituta. Tijekom ljeta, koristi se samo sustav hlađenja. Srednjetemperaturna toplina iz adsorpcijskog hladnjaka se odbacuje u okoliš pomoću tri cijevi u tlu duge 80 m. Tijekom zime, dizalice topline koriste te cijevi kao niskotemperaturni izvor topline. Sustav na taj način hladi i grije dobavni zrak za kuhinju.

### 9.3.3 Centralizirani rashladni sustav hlađenja u Chemnitzu, Njemačka<sup>23</sup>

Grad Chemnitz u Njemačkoj ima sustav centraliziranog hlađenja od 1973. Toplovod je dug oko 5 km i distribuira hladnu vodu do različitih javnih zgrada i trgovačkih centara. Sustav je u početku koristio kompresijske rashladne uređaje pogonjene električnom energijom, ali je obnovljen 90-ih pri čemu su instalirani apsorpcijski hladnjaci.

U 2007. je ugrađen inovativan spremnik rashladne energije kako bi se pokrila vršna rashladna opterećenja. Spremnik je visok 17 m s promjerom od 16 m. Ukupni volumen spremnika je 3 500 m<sup>3</sup>, a njegov kapacitet iznosi 32 MWh.

Centralni apsorpcijski hladnjaci koriste otpadnu toplinu iz kogeneracijskog postrojenja u Chemnitzu. Postrojenje za spaljivanje otpada ima 3 bloka koja koriste lignit ili loživo ulje. Premda je ovaj sustav baziran na fosilnim gorivima, prikazan je u ovome poglavlju kako bi se prikazao centralizirani sustav hlađenja. Sustav bi teorijski mogao koristiti toplinu iz OIE. Topla voda se dovodi toplovodom iz kogeneracijskog postrojenja do apsorpcijskih rashladnih jedinica.

Apsorpcijski hladnjaci koriste toplinu kako bi smanjili temperaturu vode do 5 °C. Voda se potom pumpa izoliranim cijevima do 25 podstanica gdje se nalaze posebni izmjenjivači topline za rashlađivanje zgrada. Povratna temperatura vode iznosi oko 13 °C.

### 9.3.4 Centralizirani rashladni sustav u Beču, Austrija<sup>24</sup>

Otpadna toplina iz postrojenja za spaljivanje otpada u Beču se ne koristi samo za potrebe grijanja već i za dobivanje rashladnog učinka. Proizvođač energije Wien Energie nudi dva rješenja za kupce rashladne energije:

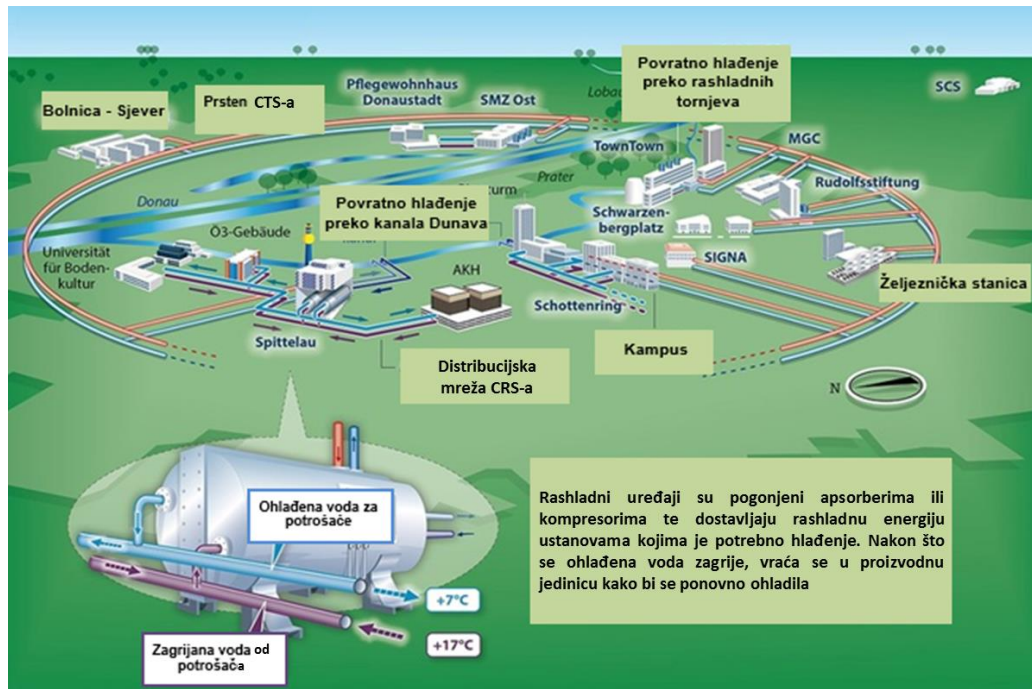
- Decentralizirano: Wien Energi može instalirati rashladni uređaj direktno kod potrošača
- Centralizirano: kupac se može spojiti na centralizirani rashladni sustav koji pokriva više potrošača istovremeno

Slika 72 prikazuje centralizirani rashladni sustav Beča koji se sastoji od nekoliko manjih rashladnih mreža i individualnih rashladnih sustava koji su međusobno povezani. Koristi se više različitih tehnologija koje se sastoje od apsorpcijskih hladnjaka, kompresijskih rashladnih uređaja te njihove kombinacije. Različiti dijelovi sustava uključuju bolnice, trgovačke centre, željezničke stanice te naselja.

<sup>22</sup> Podaci preuzeti sa: <http://www.solair-project.eu/175.0.html>

<sup>23</sup> Podaci preuzeti sa: <http://www.eins.de/ueber-eins/netze/fernkaelte/>  
<https://www.inetz.de/startseite/netzanschluss/haushalt-gewerbe/fernkaelte/>

<sup>24</sup> Podaci preuzeti sa: <http://www.eins.de/ueber-eins/netze/fernkaelte/>  
<https://www.inetz.de/startseite/netzanschluss/haushalt-gewerbe/fernkaelte/>



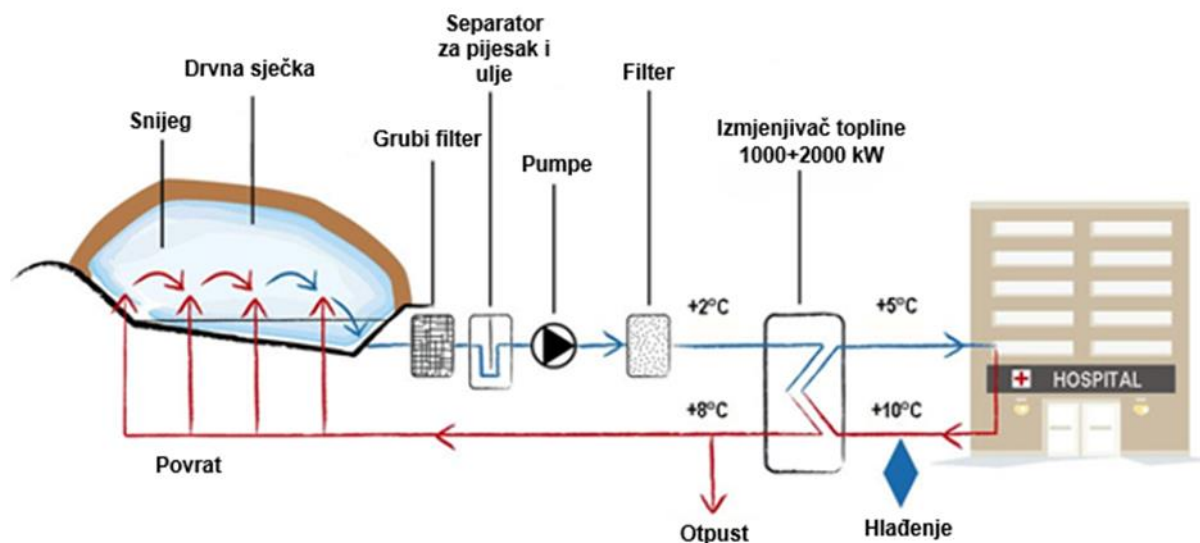
Slika 72. Centralizirani rashladni sustav u Beču (izvor: APA-Auftragsgrafik/Wien Energie GmbH)

### 9.3.5 Hlađenje snijegom u Sundsvallu, Švedska<sup>25</sup>

Okružna bolnica u Sundsvallu u Švedskoj dobiva rashladnu energiju iz postrojenja koje koristi nisku temperaturu snijega. Postrojenje je u pogonu od 2000. te je prvo takve vrste u svijetu. Bolnica je velika zgrada koja pokriva 190 000 m<sup>2</sup> i zahtjeva veliki rashladni učinak kako bi se održala određena ugodnost te namirile sve rashladne potrebe vezane za opremu u bolnici.

Konvencionalno hlađenje bolnice se koristilo do 2000. Međutim, lokalne vlasti Västernorrlanda su odlučile smanjiti emisije stakleničkih plinova u novom tisućljeću te su odlučili povećati energetske učinkovitost i korištenje prirodnih izvora energije dostupnih na sjeveru Švedske, primjerice snijega. Prije sustava hlađenja snijegom, zapadno od bolnice je postojala velika količina snijega koja je služila kao mjesto za istovar snijega prikupljenog tijekom čišćenja ceste ralicama itd. Mjesto se pokazalo savršenim za izgradnju novog postrojenja za proizvodnju rashladne energije, pošto nema nikakvih negativnih posljedica za okoliš i već služi kao skladište rashladne energije.

<sup>25</sup> Podaci preuzeti sa: <http://www.lvn.se/v1/in-english1/in-english/environment-and-energy/energy-factor-2/snow-cooling-in-sundsvall/>



Slika 73. Sustav hlađenja snijegom za bolnicu Sundsväl (izvor: Snowpower AB, <http://www.snowpower.se>)

Postrojenje je opremljeno sa 7 metara dubokim spremnikom koji se tijekom zime puni sa snijegom. Spremnik snijega je napravljen od vodonepropusnog asfalta koji služi za izolaciju od tla. Tijekom proljeća i ljeta, naslage snijega su pokrivene s pokrovom od drvene sječke kako bi se spriječilo otapanje uslijed povećane temperature. Uslijed zima s vrlo malo snijega, mogu se koristiti topovi sa snijegom kako bi se osigurala dovoljna količina snijega u spremniku. Međutim, korištenje topova za snijeg je opet puno učinkovitije nego proizvodnja rashladne energije koristeći klasične rashladne sustave.

Takvo se postrojenje sastoji od 3 glavna djela: spremnika snijega, pumpne stanice i izmjenjivača topline. Snijeg koji se otopio prenosi se do izmjenjivača topline gdje hladi opremu kao i ventilacijski zrak koji prolazi kroz bolnicu. Kroz ovaj proces, voda se zagrijava te se ponovno koristi kako bi otopila snijeg. Korištenjem ovoga sustava, potrošnja električne energije u bolnici se smanjila za više od 90%.

## Skraćenice

AD	Anaerbona digestija
ATES	Toplinski spremnik u obliku vodonosnika (engl. Aquifer Thermal Energy Storage)
BTES	Toplinski spremnik u obliku bušotine (engl. Borehole Thermal Energy Storage)
CHP	Kogeneracijsko postrojenje (engl. Combined Heat and Power)
COP	Faktor grijanja (engl. Coefficient of Performance)
CRS	Centralizirani rashladni sustav
CSP	Koncentrirana sunčeva snaga (engl. Concentrated Solar Power)
CTS	Centralizirani toplinski sustav
EU	Europska Unija
EER	Faktor hlađenja (engl. Energy Efficiency Ratio)
HCFC	Klorofluorouglikovodici
HFC	Fluorirani ugljikovodici
NHPC	Neto proizvodni troškovi toplinske energije (engl. Net Heat Production Costs)
OIE	Obnovljivi izvori energije
ORC	Organski Rankineov ciklus
PCM	Materijali sa promjenom faze (engl. Phase Change Materials)
PE	Polietilen
PTES	Toplinski spremnik u obliku izolirane jame (engl. Pit Thermal Energy Storage)
PTV	Potrošna topla voda
SCOP	Sezonski faktor grijanja (engl. Seasonal Coefficient of Performance)

## Mjerne jedinice

Prilog 1. Prefiksi za energetske jedinice

Prefiks	Skraćenica	Faktor
Deka	Da	10
Hekta	H	10 <sup>2</sup>
Kilo	K	10 <sup>3</sup>
Mega	M	10 <sup>6</sup>
Giga	G	10 <sup>9</sup>
Tera	T	10 <sup>12</sup>
Peta	P	10 <sup>15</sup>
Eksa	E	10 <sup>18</sup>

Prilog 2. Pretvorba energetske jedinice

	<b>kJ</b>	<b>kcal</b>	<b>kWh</b>	<b>TCE</b>	<b>m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub></b>	<b>toe</b>	<b>barel</b>
<b>1 kJ</b>	1	0,2388	0,000278	3,4 10 <sup>-8</sup>	0,000032	2,4 10 <sup>-8</sup>	1,76·10 <sup>-7</sup>
<b>1 kcal</b>	4,1868	1	0,001163	14,3 10 <sup>-8</sup>	0,00013	1 10 <sup>-7</sup>	7,35·10 <sup>-7</sup>
<b>1 kWh</b>	3,600	860	1	0,000123	0,113	0,000086	0,000063
<b>1 TCE</b>	29.308.000	7.000.000	8.140	1	924	0,70	52
<b>1 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub></b>	31.736	7.580	8,816	0,001082	1	0,000758	0,0056
<b>1 toe</b>	41.868.000	10.000.000	11.630	1,428	1.319	1	7,4
<b>1 barel</b>	5.694,048	1.360,000	1.582	0,19421	179,42	0,136	1
<b>1 BTU</b>	1,055						



## Prilog 3. Pretvorba jedinica za snagu

	kcal/s	kW	hp	PS
<b>1 kcal/s</b>	1	4,1868	5,614	5,692
<b>1 kW</b>	0,238846	1	1,34102	1,35962
<b>1 hp</b>	0,17811	0,745700	1	1,01387
<b>1 PS</b>	0,1757	0,735499	0,98632	1

## Prilog 4. Pretvorba jedinica za temperaturu

	Jedinica	Celzijus	Kelvin	Fahrenheit
<b>Celzijus</b>	°C	-	$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$	$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \times 1,8$
<b>Kelvin</b>	K	$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$	-	$\text{K} = (^{\circ}\text{F} + 459,67) \times 1,8$
<b>Fahrenheit</b>	°F	$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \times 1,8 + 32$	$^{\circ}\text{F} = \text{K} \times 1,8 - 459,67$	-

## Prilog 5. Pretvorba jedinica za tlak

	Pa	bar	at	atm	Torr	psi
<b>1 Pa</b>		0,00001	$\frac{0,00001019}{7}$	$9,8692 \times 10^{-6}$	0,0075006	$\frac{0,000145037}{7}$
<b>1 bar</b>	100.000		1,0197	0,98692	750,06	14,50377
<b>1 at</b>	98.066,5	0,980665		0,9678411	735,5592	14,22334
<b>1 atm</b>	101.325	1,01325	1,0332		760	14,69595
<b>1 Torr</b>	133,3224	0,001333224	$\frac{0,00135955}{1}$	$\frac{0,00131578}{9}$		0,01933678
<b>1 psi</b>	6894,8	0,068948	0,0703069	0,068046	51,71493	

## Literatura

- Bava F., Furbo S., Brunger A. (2015) Correction of collector efficiency depending on fluid type, flow rate and collector tilt. - IEA-SHC INFO SHEET 45.A.1; <http://task45.iea-shc.org/data/sites/1/publications/IEA-SHC-T45.A.1-INFO-Correction-of-collector-efficiency.pdf> [09.11.2016]
- Danish Energy Agency, Energinet.dk (2015) Technology Data for Energy Plants - Generation of Electricity and District Heating, Energy Storage and Energy Carrier Generation and Conversion. - May 2012 (certain updates made October 2013, January 2014 and March 2015); ISBNwww: 978-87-7844-931-3
- Dansk Fjernvarme (2016) Technology. - <http://www.geotermi.dk/english/deep-geothermal-energy-in-denmark/technology> [11.11.2016]
- Danish Geothermal District Heating (2016) [The geothermal concept.](http://www.geotermi.dk/english/deep-geothermal-energy-in-denmark/technology) - <http://www.geotermi.dk/english/deep-geothermal-energy-in-denmark/technology> [09.11.2016]
- Euroheat & Power (2012) District Cooling The sustainable response to Europe's rising cooling demands. – Brochure; [http://www.euroheat.org/Files/Files/documents/District%20Heating/Cooling\\_Brochure.PDF](http://www.euroheat.org/Files/Files/documents/District%20Heating/Cooling_Brochure.PDF) [10.07.2012]
- Euroheat & Power (2008): Guidelines for District Heating Substations; <https://www.euroheat.org/wp-content/uploads/2008/04/Euroheat-Power-Guidelines-District-Heating-Substations-2008.pdf> [03.10.2016]
- Frederiksen S., Werner S. (2013) District Heating and Cooling. - Studentlitteratur, page 205
- GeoDH (n.d.) "Developing Geothermal District Heating in Europe", [www.geodh.eu](http://www.geodh.eu), [https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/geodh\\_final\\_publishable\\_results\\_oriented\\_report.pdf](https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/geodh_final_publishable_results_oriented_report.pdf) [10.11.2016]
- Hiegl W., Rutz D., Janssen R. (2011) Information Material Biomass Systems. – Training Handbook for Sanitary and Heating Installers; WIP Renewable Energies, Munich, Germany; Academy for In-Service Teacher Training and Staff Development (ALP), Dillingen a.d. Donau, Germany; Report of the IEE Project Install+RES
- Hurter, S., and R. Haenel, 2002, Atlas of Geothermal Resources in Europe, Publication No. EUR 17811 of the European Commission. Office for Official Publications of the European Communities, L-2985 Luxembourg.
- Isoplus (2016) Laying rules. - <http://en.isoplus.dk/laying-rules-163> [03.11.2016]
- Laurberg Jensen L., Rutz D., Doczekal C., Gjorgievski V., Batas-Bjelic I., Kazagic A., Ademovic A., Sunko R., Doračić B. (2016) Best Practice Examples of Renewable District Heating and Cooling. – Report of the CoolHeating project; PlanEnergi, Denmark; [www.coolheating.eu](http://www.coolheating.eu)
- Kempener R. (2015) Solar Heating and Cooling for Residential Applications: Technology Brief. – IEA-ESTAP and IRENA Technology Brief E21 – January 2015; [http://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena\\_etsap\\_tech\\_brief\\_r12\\_solar\\_thermal\\_residential\\_2015.pdf](http://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_etsap_tech_brief_r12_solar_thermal_residential_2015.pdf) [04.08.2016]
- Kotlan R. (2016) Technical interview with Ralf Kotlan from W.A.S. Wasseraufbereitungssysteme GmbH on 27.10.2016; Güssing, Austria; <http://www.w-a-s.cc>
- Köfinger M., Schmidt R.R., Basciotti D., Hauer S., Doczekal C., Giovannini A., Konstantinoff L., Hofmann M., Andreeff V., Meißner E., Ondra H., Teuschel P., Frühauf O. (2015) NextGenerationHeat Niedertemperaturfernwärme am Beispiel unterschiedlicher Regionen Österreichs mit niedriger Wärmebedarfsdichte. - Projektnummer: 834582; AIT Austrian Institute of Technology GmbH; [http://ait.visueligent.at/fileadmin/mc/energy/downloads/NextGenerationHeat\\_publicierbarer\\_Endbericht\\_final.pdf](http://ait.visueligent.at/fileadmin/mc/energy/downloads/NextGenerationHeat_publicierbarer_Endbericht_final.pdf) [10.11.2016]
- Laurberg Jensen L., Rutz D., Doczekal C., Gjorgievski V., Batas-Bjelic I., Kazagic A., Ademovic A., Sunko R., Doračić B. (2016) Best Practice Examples of Renewable District Heating and Cooling. – Report of the CoolHeating Project; PlanEnergi, Denmark
- Metz M., Moersch M., Heini W. (2012) Komponenten solarthermischer Anlagen. – Kapitel 4 in Leitfaden Solarthermische Anlagen; Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie.
- Morgenstern A., Safarik M., Wiemken E., Zachmeier P. (2016) Mit solarer Wärme kühlen: Konzepte und Technologien für die Klimatisierung von Gebäuden. - BINE-Themen info III/2016; [http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Themen-Infos/III\\_2016/themen\\_0316\\_internetx.pdf](http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Themen-Infos/III_2016/themen_0316_internetx.pdf) [accessed: 04.08.2016]

- Nast M. et al. (2009) Ergänzende Untersuchungen und vertiefende Analysen zu möglichen Ausgestaltungsvarianten eines Wärmegesetzes Endbericht. - Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR); [http://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/publications/Endbericht\\_Waermegesetz-11.pdf](http://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/publications/Endbericht_Waermegesetz-11.pdf) [10.11.2016]
- Nast M. (2012) Fernwärme, die Komfort-Energie, Rolle der Wärmenetze in der Stromversorgung. - 11. Tagung "Wärme-und Kälteversorgung in der Energiestrategie Schweiz "; 26. Januar 2012 in Biel-Bienne; [http://elib.dlr.de/75363/1/Rolle\\_der\\_W%C3%A4rmenetze\\_in\\_der\\_Stromversorgung.pdf](http://elib.dlr.de/75363/1/Rolle_der_W%C3%A4rmenetze_in_der_Stromversorgung.pdf) [10.11.2016]
- New Buildings Institute (1998) Guideline: Absorption Chillers. - New Buildings Institute; Fair Oaks; Canada; <http://www.stanford.edu/group/narratives/classes/08-09/CEE215/ReferenceLibrary/Chillers/AbsorptionChillerGuideline.pdf> [10.07.2012]
- Paeger J. (2012) <http://www.oekosystem-erde.de/html/energie.html> [10.07.2012]
- Rutz D., Janssen R. (2008) Biofuel Technology Handbook. - 2nd version; BIOFUEL MARKETPLACE Project funded by the European Commission (EIE/05/022); WIP Renewable Energies, Germany; 152p. [http://www.wip-munich.de/images/stories/6\\_publications/books/biofuel\\_technology\\_handbook\\_version2\\_d5.pdf](http://www.wip-munich.de/images/stories/6_publications/books/biofuel_technology_handbook_version2_d5.pdf) [10.11.2016]
- Rutz D., Janssen R., Letsch H. (2006) Installateurs-Handbuch Biomasseheizanlagen. - EU-IEE EARTH Project; 241p. [www.earth-net.info](http://www.earth-net.info)
- Rutz D., Mergner R., Janssen R. (2015) Sustainable Heat Use of Biogas Plants – A Handbook, 2nd edition. WIP Renewable Energies, Munich, Germany; Handbook elaborated in the framework of the BiogasHeat Project; ISBN 978-3-936338-35-5 translated in 8 languages; [http://www.wip-munich.de/images/stories/6\\_publications/books/Handbook-2ed\\_2015-02-20-cleanversion.pdf](http://www.wip-munich.de/images/stories/6_publications/books/Handbook-2ed_2015-02-20-cleanversion.pdf) [10.11.2016]
- Schrøder Pedersen A., Elmegaard B., Christensen C.H., Kjølner C., Elefsen F., Bøggild Hansen J., Hvid J., Sørensen P.A., Kær S.K., Vangkilde-Pedersen T., Feldthusen Jensen T., (2014) Status and recommendations for RD&D on energy storage technologies in a Danish context. - [https://www.energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Danske%20dokumenter/Forskning%20-%20PSO-projekter/RDD%20Energy%20storage\\_ex%20app.pdf](https://www.energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Danske%20dokumenter/Forskning%20-%20PSO-projekter/RDD%20Energy%20storage_ex%20app.pdf) [09.11.2016]
- Skagestad B., Mildenstein P. (no date) District Heating and Cooling Connection Handbook. – International Energy Agency (IEA) District Heating and Cooling. [http://dedc.dk/sites/default/files/programme\\_of\\_research\\_development\\_and\\_demonstration\\_on\\_district\\_heating\\_and\\_cooling.pdf](http://dedc.dk/sites/default/files/programme_of_research_development_and_demonstration_on_district_heating_and_cooling.pdf) [10.07.2012]
- Solair Project (2009) Increasing the market implementation of Solar-air-conditioning systems for small and medium applications in residential and commercial buildings (SOLAIR). – Project website <http://www.solair-project.eu/142.0.html> [accessed: 04.08.2016]
- Tour & Andersson Ges.m.b.H. (2005) TA Systemheft - Hydraulische Grundsaltungen. - Guntramsdorf; Austria
- Von Hertle H., Pehnt M., Gugel B., Dingeldey M., Müller K. (2015) Wärmewende in Kommunen, Leitfaden für den klimafreundlichen Umbau der Wärmeversorgung. – Heinrich Böll Stiftung Band 41 der Schriftenreihe Ökologie [https://www.boell.de/sites/default/files/waermewende-in-kommunen\\_leitfaden.pdf](https://www.boell.de/sites/default/files/waermewende-in-kommunen_leitfaden.pdf) [10.07.2012]
- WHO (2007) Legionella and the prevention of legionellosis. - World Health Organization ; India, [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/emerging/legionella.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/emerging/legionella.pdf) [10.11.2016]

