



# Modularni sistemi daljinskog **grejanja** i **hlađenja**

*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, Dorian Marjanović, 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
- Prevod:** Ilija Batas Bjelić, Slobodan Jerotić, Nikola Rajaković
- ISBN:** 978-86-7466-660-9
- Verzije:** Izvorna verzija ovog priručnika napisana je na engleskom jeziku. Priručnik je dostupan na: hrvatskom, bošnjačkom, makedonskom, srpskom, slovenačkom i nemačkom jeziku.
- Objavljeno:** © 2017, Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, Beograd  
Akademska misao, Beograd, Republika Srbija
- Izdanje:** 1. izdanje
- Kontakt:** WIP Renewable Energies, Sylvensteinstr. 2, 81369 Minhen, Savezna Republika Nemačka  
[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** Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11 120, Beograd, Republika Srbija  
[Nikola.Rajakovic@etf.rs](mailto:Nikola.Rajakovic@etf.rs), Tel.: +381 11 3370 168  
<https://www.etf.rs/>
- Vebsajt:** [www.coolheating.eu](http://www.coolheating.eu)
- Copyright:** Sva autorska prava su zaštićena. Niti jedan deo ovog priručnika ne sme se reprodukovati u bilo kojem obliku ili na bilo koji način, kako bi se iskoristio u komercijalne svrhe bez pismenog dopuštenja izdavača. Autori ne garantuju tačnost i/ili potpunu ispravnost informacija i podataka koji se nalaze i koji su dati u ovom priručniku.
- Disclaimer:** Punu odgovornost za sadržaj ovog priručnika snose autori. Izrečeni stavovi ne odražavaju nužno stavove Evropske Unije. INEA kao ni Evropska Komisija ne snose odgovornost za korišćenje ovih informacija.

## **Zahvalnost**

Ovaj priručnik izrađen je u okviru projekta CoolHeating. Autori se zahvaljuju Evropskoj komisiji za pruženu podršku u realizaciji ovog projekta. Autori se takođe zahvaljuju sledećim kompanijama i njihovim zaposlenima na dopuštenju korišćenja podataka i grafika: Wien Energie GmbH (Burkhard Hölzl), DLR (Michael Nast), Steinbeis Forschungsinstitut Solites (Thomas Pauschinger), W.A.S. Wasseraufbereitungssysteme GmbH (Ralf Kotlan).

## **Projekat CoolHeating**

Trenutno je, oko 50 % potrošnje finalne energije u Evropi sektoru grejanja i hlađenja. Podsticajne mere energetske politike usmerene na obnovljivu energiju uglavnom se fokusiraju na električnu energiju, dok je pitanje grejanja i hlađenja u znatno manjoj meri zastupljeno. Potrebno je iz tog razloga podržati i promovisati sisteme daljinskog grejanja i hlađenja korišćenjem obnovljivih izvora energije, što upravo jeste suština projekta CoolHeating.

Cilj projekta CoolHeating, finansiranog od strane EU programa Horizont 2020, je pružanje podršku razvoju „malih modularnih obnovljivih sistema daljinskog grejanja i hlađenja“ u gradovima i opštinama jugoistočnoj Europi. Taj dominantni cilj će se u ovom projektu konkretno realizovati kroz transfer znanja i razmenu iskustava kroz zajedničke aktivnosti partnera iz država koje su dostigle visok nivo razvoja u ovoj oblasti (Austrija, Danska, Nemačka) i partnera iz država koje nisu dostigle visok nivo razvoja u ovoj oblasti (Hrvatska, Slovenija, Makedonija, Srbija, Bosna i Hercegovina) (Slika 1).

Ključne aktivnosti, uz klasične tehno-ekonomske analize i studije, uključuju mere koje za cilj imaju podsticaj interesa lokalne zajednice za razvoj sistema daljinskog grejanja i hlađenja uz korišćenje obnovljivih izvora energije, podizanje tehničkog kapaciteta za upotrebu inovativnih finansijskih i poslovnih modela. Krajnji rezultat ovih mera, biće dovođenje projekata modularnih sistema daljinskog grejanja i hlađenja u predinvesticionu fazu u 5 fokus gradova i oština. Realizacija ovih projekata imaće dugoročan uticaj na razvoj „modularnih obnovljivih sistema daljinskog grejanja i hlađenja“ u okviru nacionalnih energetskih sistema u regiji jugoistočne Evrope.

Važan alat za sprovođenje projekta CoolHeating je i ovaj priručnik. Iako su i sada informacije i literatura o malim modularnim sistemima daljinskog grejanja i hlađenja dostupne, postoji potreba za izradom priručnika koji sadrži najnovije podatke koji je besplatno dostupan na nacionalnim jezicima u regiji i kojim bi se otklonio problem nedostatka ovakve literature. Priručnik daje pregled tehničkih, ali isto tako i netehničkih aspekata planiranja. Glavne karakteristike različitih izvora grejanja, poput solarne energije, biomase, geotermalne energije i otpadne toplote, prikazane su u ovome priručniku i predstavljene su mogućnosti i prednosti njihovih međusobnih kombinacija u modularnim sistemima daljinskog grejanja i hlađenja. U priručniku su takođe prikazane mogućnosti sezonskog i dnevnog skladištenja toplote, kao i upotreba toplotnih pumpu. Prikazani su i posebni aspekti grejanja i hlađenja u malim sistemima.



Slika 1. Države i ciljani gradovi/opštine (crvene tačke) uključene u projekt CoolHeating

**Konzorcijum i lokalni kontakti:**

**WIP Renewable Energies**, koordinator projekta, Nemačka  
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.duc@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)



**International Center for Sustainable Development of Energy,  
Water and Environment Systems – Ured u Makedoniji**, Makedonija  
Natasa Markovska [sdewes.skopje@sdewes.org]  
[www.sdewes.org/macedonian\\_section.php](http://www.sdewes.org/macedonian_section.php)



**Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet**, 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>Zahvalnost .....</b>	<b>2</b>
<b>Projekat CoolHeating .....</b>	<b>3</b>
<b>1 Uvod .....</b>	<b>8</b>
<b>2 Osnovno o toplotnoj energiji .....</b>	<b>10</b>
2.1 Brojne vrednosti i jedinice za konverziju toplote .....	10
2.2 Kvalitet toplote .....	11
2.3 Korišćenje toplote .....	11
<b>3 Izvori toplote i tehnologije za proizvodnju toplote .....</b>	<b>13</b>
3.1 Sistemi sa solarnim kolektorima .....	13
3.2 Sistemi koji koriste biomasu .....	21
3.3 Geotermalna energija .....	37
3.4 Otpadna toplota .....	40
3.5 Električni bojleri: konverzija električne energije u toplotu .....	41
3.6 Toplotne pumpe .....	43
3.7 Vršni i zamenski kotlovi .....	51
<b>4 Tehnologije za skladištenje toplote .....</b>	<b>53</b>
4.1 Kratkoročno skladištenje toplote .....	55
4.2 Sezonsko skladištenje toplote .....	57
<b>5 Modularni sistemi daljinskog grejanja .....</b>	<b>60</b>
5.1 Veličina sistema .....	60
5.2 Temperature u sistemu .....	60
5.3 Cevi .....	64
5.4 Medijumi za prenos toplote .....	69
5.5 Priključenje potrošača .....	72
<b>6 Planiranje malih sistema daljinskog grejanja i hlađenja .....</b>	<b>77</b>
6.1 Procena potreba za toplotom .....	77
6.2 Projektovanje toplovoda .....	80
6.3 Projektovanje postrojenja za proizvodnju toplote .....	84
6.4 Potrebe i navike krajnjih korisnika .....	88
6.5 Ekonomičnost malih SDG .....	90
<b>7 Tehnologije za hlađenje .....</b>	<b>91</b>
7.1 Prirodno hlađenje .....	91
7.2 Kompresorski rashladni uređaji .....	92
7.3 Apsorpcioni rashladni uređaji .....	92
7.4 Adsorpcioni rashladni uređaji .....	95
7.5 Rashladni sistemi koji koriste material za sušenje .....	97

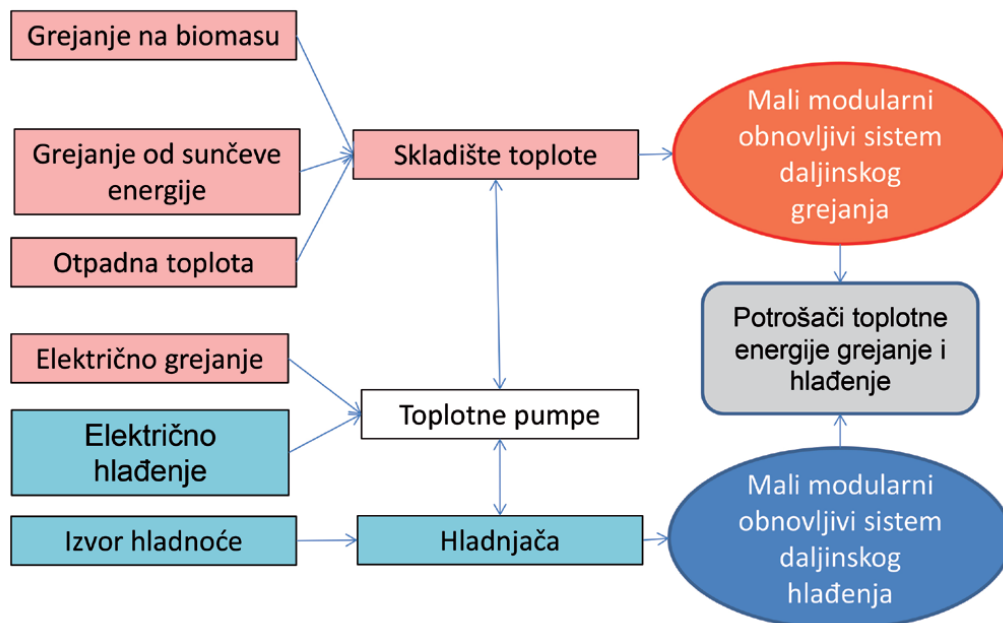


---

<b>8</b>	<b>Tehnologije hladnjača.....</b>	<b>98</b>
<b>9</b>	<b>Integracija sistema hlađenja.....</b>	<b>99</b>
9.1	Sistemi daljinskog hlađenja .....	99
9.2	Pametni sistemi daljinskog hlađenja .....	99
9.3	Izabrani primeri .....	100
	<b>Spisak najčešće upotrebljivanih skraćenica .....</b>	<b>104</b>
	<b>Jedinice za konverziju.....</b>	<b>105</b>
	<b>Reference.....</b>	<b>107</b>

## 1 Uvod

Modularni sistemi daljinskog grejanja i hlađenja predstavljaju lokalne koncepte za pokrivanje energetske potrebe domaćinstava imalih (ili srednjih) preduzeća za grejanje i hlađenje obnovljivom energijom. U nekim slučajevima, mogu se kombinovati sa velikim sistemima daljinskog grejanja, međutim opšti koncept je da ovi sistemi imaju zasebnu distributivnu mrežu (toplovod), na koju je priključen manji broj korisnika. Ovi koncepti najčešće se primenjuju u selima ili manjim gradovima. Ovaj koncept zasniva se na korišćenju različitih izvora, kao što su solarni kolektori, kotlovi na biomasu i otpadna toplota (npr. toplota iz industrijskih procesa ili iz biogasnog postrojenja koja se trenutno ne koristi već se baca u okolinu). Shemu ovog koncepta prikazuje Slika 2.



Slika 2. Koncept modularnih sistema daljinskog grejanja i hlađenja(Izvor: Rutz D.)

Posebno obećavajući koncept za manja ruralna mesta predstavlja kombinacija solarog grejanja sa grejanjem na biomasu, zbog doprinosa sigurnosti snabdevanja, stabilnosti cene, razvoju lokalne ekonomije, lokalnom zapošljavanju, itd. S jedne strane, solarno grejanje ne zahteva kupovinu goriva, a s druge strane grejanje na biomasu može se koristiti tokom zime kada je solarno zračenje znatno niže jer se biomasa može uskladištiti. Moguće je dodatno po potrebi integrisati i skladište toplote (čelični rezervoari cilindričnog oblika za kratkotrajno skladištenje i sezonski za dugotrajno skladištenje). Standardnu shema sezonskih potreba i snabdevanja toplotom kombinovanog malog modularnog sistema za daljinsko grejanje prikazuje Slika 3. Glavne prednosti kombinovanog koncepta (biomasa/solarna energija) su:

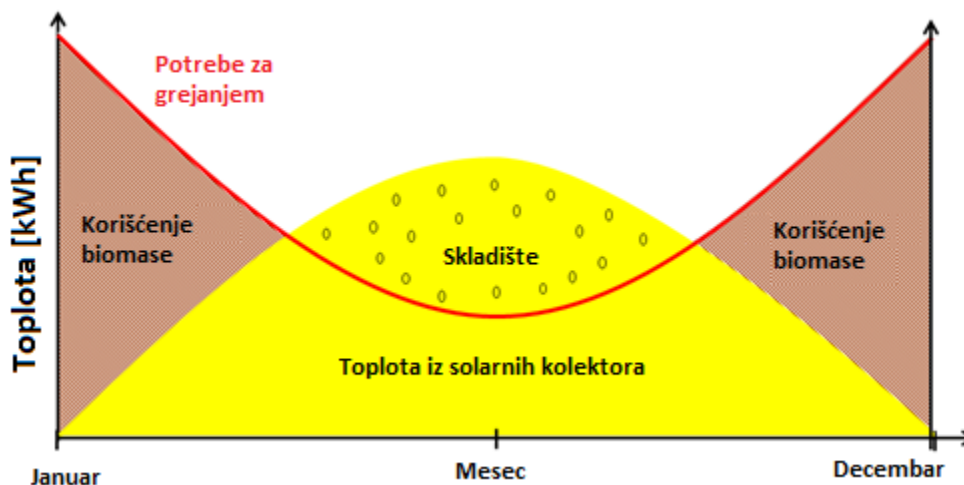
- Smanjena potreba za biomasom
- Smanjenje potrebnog kapaciteta za skladištenjem toplote
- Smanjene potrebe za održavanjem kotlova na biomasu

Za postizanje još boljih rezultata potrebno je integrisati sektor grejanja i hlađenja sa sektorom električne energije u kojem kontinuirano raste udeo varijabilnih obnovljivih izvora energije (fotonaponski paneli, vetroelektrane) u jedinstven sistem inteligentnih energetske mreže. Korišćenjem tehnologija poput električnih bojlera i toplotnih pumpi dodatno se doprinosi optimalnosti strukture nacionalnih energetske sistema.

Ukoliko se proces planiranja sprovede na takav način, mali modularni sistemi daljinskog grejanja i hlađenja imaju tu prednost da se na početku projekta može izgraditi samo deo

sistema, a dodatni korisnici, kao i izvori toplotne energije se mogu priključiti naknadno. Ova modularnost zahteva pažljivo i detaljno planiranje kao i odgovarajuće dimenzionisanje opreme (npr. cevi). Na taj način se smanjuje prvobitna investicija pa projekat može održivo rasti.

Uz male modularne sisteme daljinskog grejanja, mali sistemi daljinskog hlađenja takođe predstavljaju važnu tehnologiju sa velikim brojem prednosti. Kao posledica globalnog zagrevanja, temperature vazduha rastu usled čega raste i potreba za hlađenjem, naročito u regiji jugoistočne Evrope gde se nalaze države partneri na projektu. U poređenju sa konvencionalnim klima uređajima koji troše veliku količinu energije, sistemi daljinskog hlađenja predstavljaju dobru i održivu alternativu, naročito za veće komplekse zgrada. Projekat CoolHeating se bavi planiranjem malih modularnih održivih sistema daljinskog grejanja i hlađenja.



Slika 3. Shema sezonskih potreba za grejanjem i snabdevanje toplotom iz solarnih kolektora i korišćenjem biomase u Evropi (Izvor: Rutz D.)

Države u jugoistočnoj Evropi koje imaju visok nivo solarnog zračenja, pored potreba za grejanjem imaju potrebu i za hlađenjem. Planiranjem kombinacije malih modularnih sistema za grejanje i hlađenje ostvaruju se uštede troškova i smanjuje se obim investicije, čak i kada neki korisnici imaju potrebe samo za hlađenjem ili samo za grejanjem. Stoga se takođe stvaraju tehničke sinergije (cevi, korišćenje toplotnih pumpi). U sklopu projekta CoolHeating će se razviti poslovni modeli za ciljane gradove/opštine sa sledećim karakteristikama:

- Korišćenje sezonskih skladišta toplote
- Korišćenje dnevnih skladišta toplote
- Korišćenje obnovljivih izvora energije (npr. solarni kolektori u kombinaciji sa kotlom na biomasu)
- Korišćenje apsorpcijskih toplotnih pumpi za hlađenje
- Korišćenje otpadne toplote iz rashladnih procesa za grejanje (npr. pripremu potrošne tople vode)

Mali modularni sistemi daljinskog grejanja i hlađenja imaju razne prednosti. Oni doprinose rastu lokalne ekonomije zbog lokalnog snabdevanja biomasom. Podstiče se lokalno zapošljavanje, a takođe raste i sigurnost snabdevanja. Komfor priključenih korisnika je znatno veći s obzirom da je potrebno instalirati samo izmjenjivač toplote u podrumu zgrade i nije potrebno organizirati kupovinu goriva. Zbog svih ovih prednosti, projekat CoolHeating podržava implementaciju malih modularnih obnovljivih sistema daljinskog grejanja i hlađenja u gradovima i opštinama u jugoistočnoj Evropi.

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

Toplota se u **termodinamici** definiše kao energija koja se prenosi iz jednog sistema u drugi putem toplotnih interakcija. Toplotanije veličina stanja, kao što su to npr. temperatura ili zapremina, nego je veličina procesa, što znači da je funkcija načina prelaza sistema iz jednog stanja u drugo. Dakle, toplotom se opisuje prelazak sistema iz jednog stanja ravnoteže u drugo stanje ravnoteže. Svaki sistem se karakteriše određenim granicama sistema. Toplota uvek spontano prelazi iz sistema više temperature na sistem niže temperature. U termodinamici se vrlo često koriste i termini „toplotni tok“ i „prelaz toplote“. Prelaz toplote se može obaviti kondukcijom, zračenjem, konvekcijom, prenosom mase i hemijskim reakcijama. S druge strane, **hlađenje** je usluga snabdevanja niskotemperaturnog medijuma korisniku, pri čemu se energija (toplota) prenosi na neki drugi medijum. Stoga se hlađenje uvek veže uz prenos toplote.

Potrebno je razlikovati osećaj toplote i latentnu toplotu. Toplota se može osetiti (ili tačno meriti) kao promena temperature. S druge strane, latentna toplota je ona energija koja se oslobodi ili apsorbira od strane nekog tela ili termodinamičkog sistema tokom procesa koji se odvija bez značajne promene temperature. Tipičan primer je promena agregatnog stanja, kao što je prelazak vode iz čvrstog stanja (led) u tečno stanje (voda).

U sistemima daljinskog grejanja i hlađenja, toplota se može karakterisati određenom zapreminom vode koja ima određenu temperaturu koja se prenosi cevima do krajnjeg korisnika. Tu toplotu mogu koristiti krajnji korisnici u kom slučaju se temperatura vode smanjuje.

### 2.1 Brojne vrednosti i jedinice za konverziju toplote

Simbol koji se koristi za toplotu je **Q**, a SI jedinica je **džul (J)**. Takođe se često koriste i sledeće jedinice: British Thermal Unit (BTU), tona ekvivalentne nafte (toe) i kalorije (cal). Simbol za toplotni tok je **Q̇** dok je SI jedinica **vat (W)**, koja predstavlja džul u sekundi. Vat je najčešće korišćena jedinica u području sistema daljinskog grejanja (SDG) i hlađenja.

- $1 \text{ J} = 1 \text{ Ws} = 1/3,600 \text{ Wh}$
- $1 \text{ Wh} = 3,600 \text{ Ws} = 3,600 \text{ J}$
- $1 \text{ toe} = 11,630 \text{ kWh} = 41.87 \text{ GJ}$
- $1 \text{ BTU} = 1,055 \text{ J}$

Ukupna snaga sistema za grejanje najčešće se izražava u **kW** ili MW (kilovat ili megavat). Ukoliko je proizvodno postrojenje kogeneracijsko (eng. Combined heat and power – CHP), električna snaga postrojenja se izražava u **kW<sub>el</sub>**, dok se toplotna snaga izražava u **kW<sub>th</sub>**. Proizvedena energija se izražava u **kWh** ili MWh (kilovatsati ili megavatsati). Stvarno proizvedena energija na godišnjem nivou izražava se u **kWh/god** (kilovatsati po godini). Ovo je zasnovano na broju sati u jednoj godini koji iznosi **8 760**. Za male sisteme daljinskog grejanja i hlađenja, najčešće se koriste prefiksi kilo ( $10^3$ ), mega ( $10^6$ ) i giga ( $10^9$ ).

Toplota se može izmeriti pomoću **kalorimetra** ili se može **izračunati** korišćenjem drugih veličina kao što su zapremina, masa, temperatura i toplotni kapacitet. Kada se toplota koristi za namene kao što je grejanje domaćinstava, najčešće se koriste **uređaji za merenje toplote**. Radi se o uređajima koji mere toplotu iz izvora (npr. biogasno CHP postrojenje) na način da izmere protok medijuma za prenos toplote (npr. vode) i promenu temperature medijuma ( $\Delta T$ ) između polazne i povratne cevi.

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

<sup>1</sup> Ovo poglavlje bazirano je na Rutz et al. 2015

kreću između 0,4 i 0,9, dok za sisteme koji koriste biomasu, ovaj parametar uzima niže vrednosti.

## 2.2 Kvalitet toplote

Osim količine energije (kvantiteta), bitan parametar prilikom korišćenja toplote je i kvalitet energije. Mogućnost prelaza iz jednog oblika energije u drugi oblik je jedan od važnih parametara koji opisuju kvalitet energije. Opšte rečeno, električna energija smatra se kvalitetnijim oblikom energije od toplote jer je električnu energiju moguće jednostavno preneti i koristiti za različite svrhe kao što su konverzija u mehaničku energiju, toplotu, itd.

U termodinamici se često koristi izraz eksergija. On opisuje maksimalni rad sistema, ukoliko je sistem u ravnoteži sa okolinom.

Nadalje, toplota se karakteriše **visinom temperature i količinom**. Uopšteno, može se reći da što je veća temperatura i količina energije (entropija), postoji više mogućnosti za njeno korišćenje. Primeri minimalnih temperatura za korišćenje u različitim namenama:

- Snabdevanje toplom vodom: 50-80°C
- Grejanje domaćinstava: 50-80°C
- **Rankinov ciklus** (ORC, CRC): 60-565°C
- **Sušare** za poljoprivredne proizvode: 60-150°C

Mali modularni sistemi daljinskog grejanja ne moraju nužno biti samo obnovljivi, već je potrebno razmotriti i eksergiju potencijalnih izvora toplote. Stoga je nužno optimizovati kvalitet toplote i prilagoditi je postojećim potrebama za grejanjem. Visokotemperaturna toplota trebala bi se koristiti u procesima više vrednosti, poput proizvodnje električne energije i industrijskim procesima. Otpadna niskotemperaturna toplota iz industrije ili proizvodnje električne energije se zatim može koristiti za grejanje i pripremu potrošne tople vode (PTV). Takođe, na povratni vod ovih sistema (u kombinaciji sa korišćenjem toplotnih pumpi) se mogu spojiti niskoenergetske zgrade. Ovi takozvani kaskadni sistemi povećavaju finansijsku održivost obnovljivih malih modularnih SDG. Ovaj koncept (eng. "**LowEx heating grids**") je opisan u Von Hertle et al. (2015).

## 2.3 Korišćenje toplote

Toplota se koristi za razne svrhe. Toplota koja se distribuira u sisteme daljinskog grejanja primarno se koristi za grejanje prostora i pripremu PTV u zgradama (domaćinstva ili javne zgrade). Primer potreba za grejanjem domaćinstava prikazan je u Antrfile 1.

Osim grejanja zgrada, toplota iz SDG se može koristiti i u industriji u različitim fabrikama. Međutim, često su za tu namenu potrebne više temperature od onih u distributivnoj mreži SDG-a. Industrija takođe može biti i proizvođač toplote. Otpadna toplota iz industrije koja se ne koristi u industrijskim procesima se može isporučiti u mrežu SDG-a. To znači da zavisno od vrste proizvodnog procesa, industrija može biti korisnik, proizvođač ili korisnik/proizvođač (eng. prosumer od reči proizvesti – „produce“ i koristiti - „consume“).

**Antrfile 1: Potrebe za grejanjem po osobi u domaćinstvu.**

Sledeći primer prikazuje prosečnu neto potrošnju energije po osobi u Nemačkoj (bazirano na Paeger 2012; Rutz et al. 2015):

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

### 3 Izvori toplote i tehnologije za proizvodnju toplote

Trenutno postoje već dovoljno razvijene i komercijalno isplative tehnologije za proizvodnju toplote u modularnim SDG. Najvažniji izvori toplote za ove sisteme su solarna energija, biomasa i geotermalna energija. Naročito zanimljiva opcija je korišćenje otpadne toplote iz raznih procesa (bioglasna postrojenja, industrija, itd.), koja se trenutno baca u okolinu. Proizvodnja toplote iz električne energije takođe sve više dobija na značaju. Ova tehnologija je vrlo zanimljiva u pogledu iskorišćenja viška električne energije koji se javlja zbog sve većeg udela varijabilnih obnovljivih izvora energije (OIE) u proizvodnji električne energije. Pri tome je vrlo zanimljiva tehnologija korišćenja toplotnih pumpi koje koriste razne niskotemperaturne izvore toplote i podižu im temperaturu. Često se u inteligentne energetske mreže integrišu vršni kotlovi kako bi ceo projekat bio finansijski isplativ s obzirom da su investicioni troškovi spomenute opreme (gasni kotlovi ili kotlovi na lož ulje) niski.

#### 3.1 Sistemi sa solarnim kolektorima<sup>2</sup>

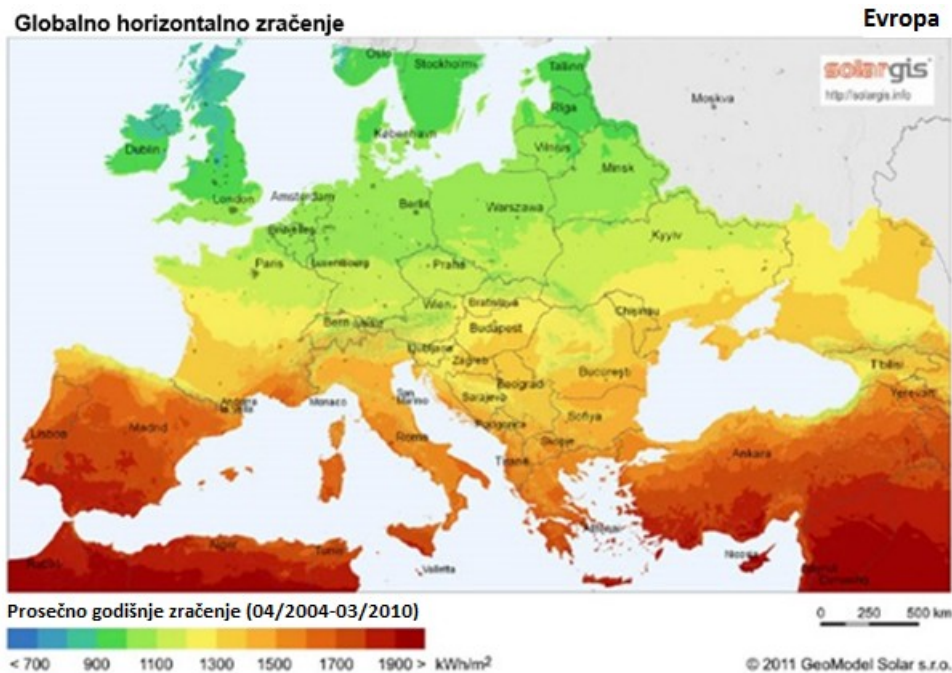
Korišćenje solarne energije za zagrevanje vode je poznata tehnologija koja se koristi već mnogo godina. Trenutno postoji više od 580 000 000 m<sup>2</sup> instaliranih solarnih kolektora na svetu, s ukupnom instalisanom snagom 410 GW<sub>th</sub>.

Energija solarnog zračenja izvan zemljine atmosfere iznosi 1 367 W/m<sup>2</sup>. Na zemljinoj površini je taj iznos manji i iznosi oko 1 000 W/m<sup>2</sup>. Energija solarnog zračenja veća je na ekvatoru, a manja što je lokacija severnije ili južnije od ekvatora. Efekat solarnog zračenja je veći normalno na smer zračenja. Iz tog razloga solarne kolektore je potrebno postaviti pod uglom od približno 30° – 40°.

Tehnologije korišćene za solarno grejanje se mogu jednostavno kombinovati sa ostalim tehnologijama. Nadalje, moguće ih je modularno širiti čime se omogućuje postavljanje kolektora različitih snaga. Važan deo tehnologije predstavljaju skladišta toplote koja služe za balansiranje varijacija u proizvodnji toplote iz kolektora. Toplota iz solarnih kolektora može pokriti 20-25% potreba za grejanjem na godišnjem nivou, ukoliko se koristi skladište toplote (podaci za danske klimatske uslove, tj. postojeće projekte u Danskoj). Korišćenjem sezonskog skladišta toplote, može se osigurati pokrivanje čak 80-100% potreba za grejanjem iz solarnih kolektora. Ovo će biti posebno opisano u poglavlju 4.2.

Najveći problem kod solarnog grejanja je činjenica da se u ovim sistemima najviše toplote proizvodi leti i tokom dana, kada su potrebe za grejanjem najmanje kako na dnevnoj, tako i na sezonskoj bazi. Udeo solarnog grejanja u SDG kada ne postoji skladište toplote je relativno nizak (5-8% godišnjih potreba za grejanjem). Najčešće se uz solarno grejanje koristi dnevno skladište toplote, koje omogućava udeo solarnog grejanja u SDG od 20-25%. Kombinacijom sa sezonskim skladištem toplote, udeo solarnog grejanja u SDG može se podići na 30-50%, a u teoriji i do 100%. Stoga je očigledna potreba sinergije sa sezonskim skladištenjem toplote.

<sup>2</sup> Ovo poglavlje bazirano je na sledećim izvorima: [www.Task45.iea-shc.org](http://www.Task45.iea-shc.org), podaci o postrojenjima: [www.solvarmedata.dk](http://www.solvarmedata.dk) i [www.solarheatdata.eu](http://www.solarheatdata.eu), snabdevači solarnih panela: [www.arcon.dk](http://www.arcon.dk)



Slika 4. Karta solarnog zračenja energije u Evropi: karta globalnog horizontalnog zračenja Evrope (Izvor: SolarGIS © 2011 GeoModel Solar s.r.o.<sup>3</sup>)

### 3.1.1 Tehnologije za solarno grejanje

Solarno grejanje koristi se za grejanje prostora, kao i za pripremu PTV-a. Voda se tipično zagreva u nizu solarnih kolektora. U SDG, kolektori se često postavljaju na zemlji, spojeni u dugačke serije (Slika7, Slika8). U manjim sistemima, kolektori se takođe postavljaju i na krovove zgrada (Slika9, desno).

Postoje različite vrste solarnih kolektora, kao što prikazuje Slika 5. U malim solarnim SDG, uglavnom se koriste pločasti i vakuumski solarni kolektori.

Najčešće korišćena vrsta solarnih kolektora su **pločasti kolektori** (Slika8), koji postoje u raznim oblicima. Sastoje se od tamnog pločastog absorbera koji može biti izrađen od toplotno stabilnih polimera, aluminijuma, čelika ili bakra na koje se nanosi mat crni ili selektivni sloj. Kao podloga absorberu služi mreža ili snop cevi koje se nalaze u kućištu koje je izolovano staklenom ili polimernom omotačem. U cevima, medijumi za prenos toplote (vazduh, antifriz ili voda) odvođe toplotu iz absorbera na krug grejanja. Absorber se najčešće postavlja u izolovano kućište s providnom staklenom ili polimernom omotačem koji smanjuje gubitke toplote. Takođe postoje i kolektori bez glazure ali oni se najčešće ne postavljaju u solarne SDG. Zadnji deo je takođe izolovan čime se smanjuju gubici toplote kroz taj deo kolektora.

**Vakuumski kolektori** (Slika7) se sastoje od staklenih vakuumiranih cevi koje su spojene u kolektor. Staklena cev je vakuumirana na pritisak  $10^{-2}$  do  $10^{-6}$  bar kako bi se minimizirali gubici toplote. Većina vakuumskih kolektora je vakuumirana na pritisak  $10^{-5}$  bar (Metz et al. 2012). Postoje razne vrste vakuumskih kolektora. Dva glavna principa su:

- **Cevi sa direktnim tokom:** cevi kroz koje medij prolazi direktno bez isparavanja
- **“Heat pipe” cevi:** cevi u kojima medijum isparava u absorberu

Cevi sa direktnim tokom mogu se klasifikovati u dve kategorije. Mogu se sastojati od jedne vakuumirane staklene cevi u kojoj se absorberska ploča spaja na cev kroz koju struji medijum za prenos toplote. Druga kategorija je takozvana „Sydney“ cev, koja predstavlja

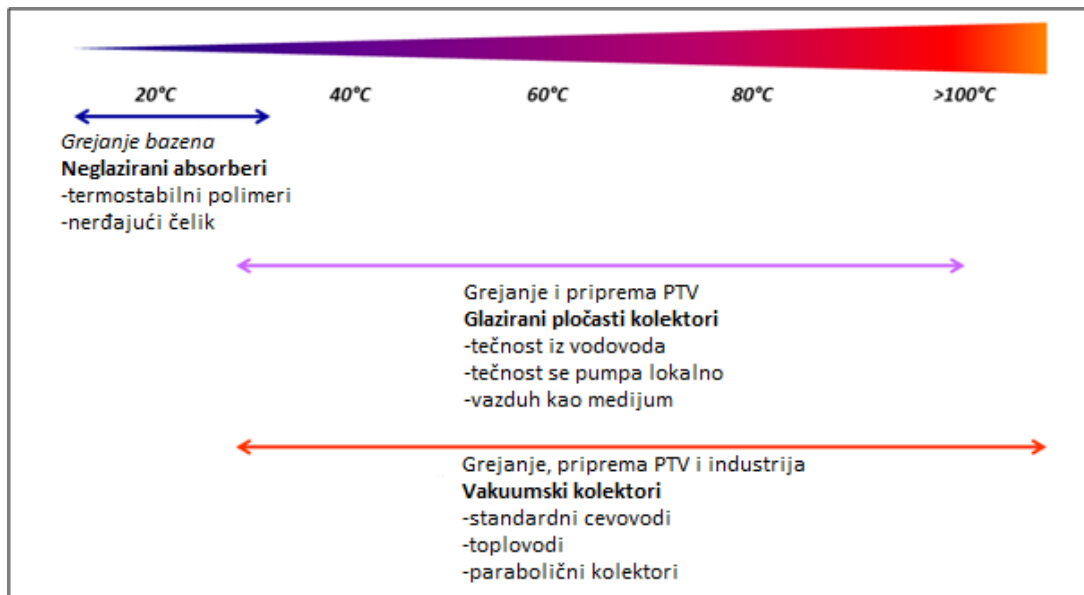
<sup>3</sup><https://earsc-portal.eu/pages/viewpage.action?pageId=16548947>



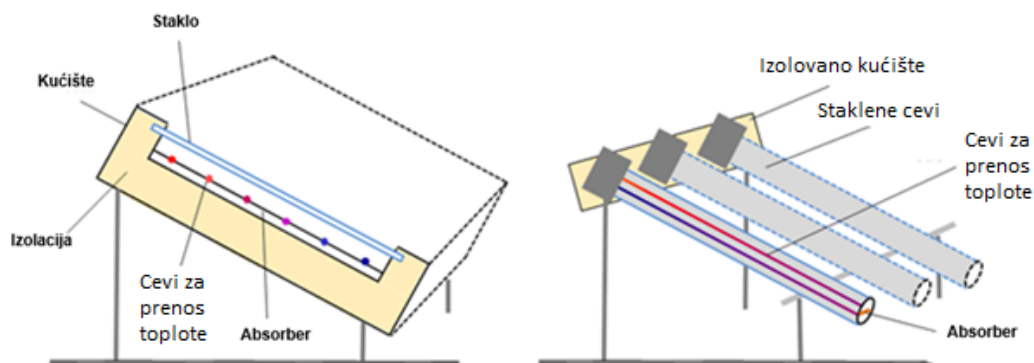
dvostruku staklenu cev (poput vakuumirane boce). Unutarašnja cev je obložena kako bi mogla delovati kao absorber, a bakarna U cev preuzima toplotu iz spomenutog absorbera.

Vakuumske cevi takođe mogu biti opremljene složenim paraboličnim koncentrisanim kolektorom (eng. Compound Parabolic Concentrator - CPC), koji se nalazi ispod cevi kako bi se omogućilo korišćenje toplote koja se razmenjuje zračenjem između cevi.

Postoji velik broj snabdevača solarnih kolektora za evropsko tržište. Solarni kolektori predstavljaju zrelu tehnologiju koja se već može koristiti u velikim sistemima, čime se dodatno smanjuju investicioni troškovi i povećava finansijska izvodljivost ovih sistema.



Slika 5. Vrste absorbera i solarnih kolektora, zavisno od temperature (Izvor: Rutz D.)



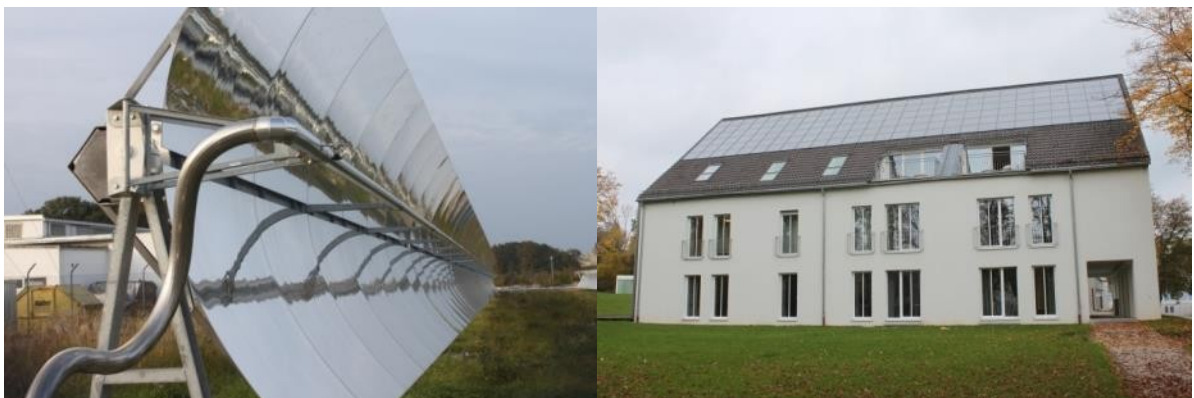
Slika 6. Način rada pločastog kolektora (levo) i vakuumskog kolektora (desno) (Izvor: Rutz D.)



Slika7. Vakuumski kolektori postavljeni na zemlju (levo) koji su deo SDG u Büsingenu u Nemačkoj i uzorak ove vrste kolektora (desno) koji prikazuje U cev u desnoj cevi, kao i složeni parabolični koncentrisani kolektor (eng. Compound Parabolic Concentrator - CPC) (Izvor: Rutz D.)



Slika8. Pločasti kolektori postavljeni na zemlju koji su deo SDG u Gramu u Danskoj (Izvor: RutzD.)



Slika9. Probno postrojenje koje koristi parabolične kolektore (levo) i solarni kolektori postavljeni na krov zgrade kao deo malog SDG u Bad Aiblingu u Nemačkoj (Izvor: RutzD.)

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

*Prednosti*

- Iskoristivost je veća na nižim temperaturama okoline i pri slabijem solarnom zračenju (tokom zime)
- Iskoristivost je veća u uslovima veće temperaturne razlike između absorbera i okoline (tokom leta)
- Na istoj površini vakuumski kolektori proizvode 30 % više toplote
- Moguće je postići više temperature čime se povećava eksergija
- Ukoliko je kolektor potrebno postaviti u nekom drugom smeru, a ne na zapad, smanjena dozračena energija se može nadoknaditi aksijalnim zakretanjem cevi ili korišćenjem CSP-a
- Kompatibilni su sa sistemima u kojima se kao medijum za prenos toplote koristi samo voda

*Nedostaci*

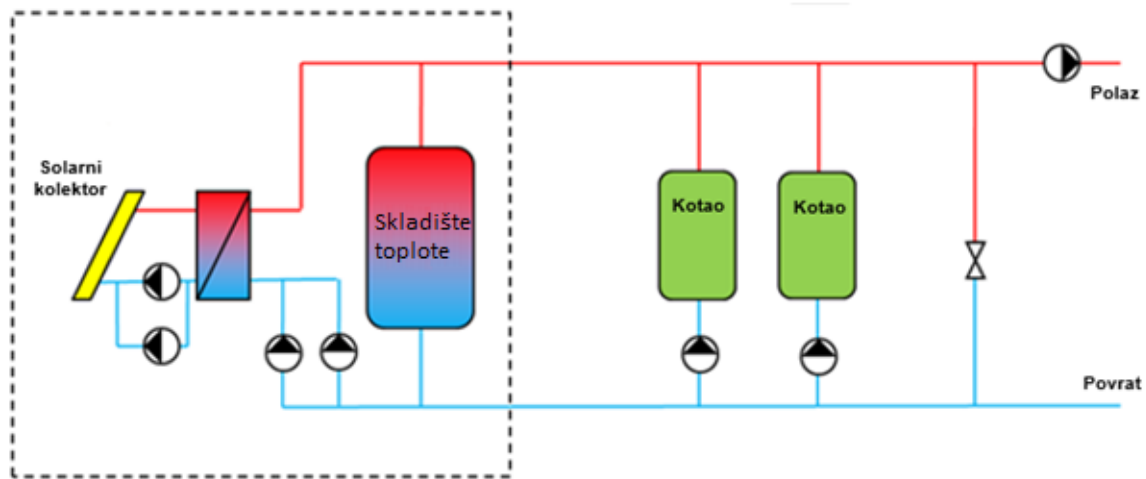
- Viša cena
- Odnos troškova i efikasnosti je relativno loš
- Sistem mora biti sposoban da toleriše više temperature stagnacije

Osim pločastih i vakuumskih kolektora, za male SGD mogu se koristiti i **parabolični kolektori** (Slika 9, levo). Međutim, ovakvi kolektori se uglavnom koriste za tzv. postrojenja sa koncentrisanom solarnom snagom (Concentrated Solar Power - CSP), koja proizvode električnu energiju zbog vrlo visokih temperatura u sistemu. Ekonomska isplativost paraboličnih kolektora zavisi od potrebe za visokim temperaturama, npr. mogli bi se koristiti za proizvodnju električne energije ili za potrebe industrije.

Svrha solarnih panela u SDG je da apsorbuju solarnu energiju u **medijum za prenos toplote** (npr. glikol, voda). Ta se toplota zatim predaje vodi koja se koristi u SGD (putem izmjenjivača toplote) ili skladištu toplote (Slika 7). Medijum za prenos toplote je uglavnom voda kojoj se dodaje glikol kako bi se sprečilo zamrzavanje.

Voda bi se trebala koristiti kao medijum za prenos toplote kada god je to moguće s obzirom da ima bolje karakteristike u ekonomskom smislu, kao i u fizičkom (toplotnom) smislu. Međutim, zavisno od klimatske zone i od mogućnosti zamrzavanja, često je potrebno koristiti mešavinu propilen glikola i vode. S obzirom da više koncentracije glikola rezultiraju lošijim svojstvima medijuma u pogledu specifične toplote i prenosa toplote, preporučuje se korišćenje najniže koncentracije glikolakoja sprečava zamrzavanje. Ukoliko se temperatura medijuma približi tački zamrzavanja, moguće je pokrenuti pumpu kruga solarnih kolektora kako bi se medijum zagrejao. Ovim pristupom se dodatno komplikuje upravljanje sistemom što zahteva dodatne senzore temperature, međutim efikasnost solarnih kolektora može biti znatno veća na godišnjem nivou. (Bava et al., 2015)

U nekim postrojenjima se može koristiti voda čak i ako se postrojenje nalazi na lokaciji gde je česta pojava zamrzavanja zbog npr. zaštite površinskih voda. U slučajevima niske temperature, voda u kolektorima se mora lagano zagrejati sa povratom iz SDG kako ne bi došlo do oštećenja uzrokovanih zamrzavanjem. Primer ovakvog sistema je SDG sa solarnim kolektorima u Büsingenu u Nemačkoj.



Slika 7. Shema SDG-a sa solarnim kolektorima (Izvor: PlanEnergi)

Solarni kolektori se mogu postaviti na krovove objekata kao što su kuće ili višestambene zgrade, tj. mogu se postaviti kao individualni sistemi. Međutim, kolektori se takođe mogu postaviti i na zemlju pa tada mogu činiti znatno veći sistem. Većina velikih postrojenja solarnog grejanja 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 solarni kolektori mogu raditi čak i kada je spoljna temperatura izrazito niska. Takvi sistemi su i zaštićeni od pregrijavanja tokom vrućih, sunčanih dana. SDG koji sadrže solarne kolektore uglavnom moraju imati i druge proizvodne jedinice kako bi osigurali kontinuirano snabdevanje toplotom kada je solarno zračenje slabo.

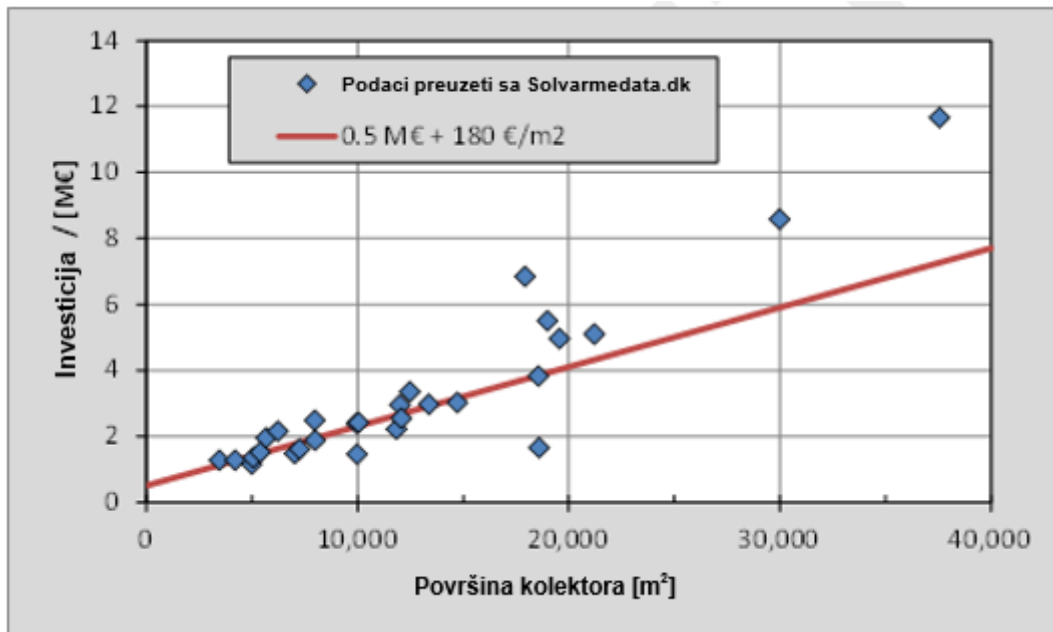
### 3.1.2 Tržište i iskustva od postojećih SDG sa solarnim kolektorima

Prikaz najvećih SDG sa solarnim kolektorima na svetu se može videti na: [www.solarthermalworld.org](http://www.solarthermalworld.org). Zbog većeg tržišnog udela i važnosti Danske u ovome sektoru, sledeći pasusi daju pregled rezultata iz Danske.

Razvoj postrojenja sa solarnim kolektorima i ukupnu površinu kolektora prikazuje Slika 9. Trend prikazuje da nova postrojenja imaju veću instaliranu snagu isadrže sezonske skladište toplote. Trenutno (decembar 2016. godine) u Danskoj postoji više od 1 000 000 m<sup>2</sup> solarnih kolektora koji imaju površinu više 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 SDG sa solarnim kolektorima u Danskoj se može naći na: [www.solvarmedata.dk](http://www.solvarmedata.dk). Karta je interaktivna sa detaljnim podacima o prikazanim postrojenjima. Karta prikazuje više od 125 postrojenja koji imaju površinu instaliranih kolektora više od 1 000 000 m<sup>2</sup>.

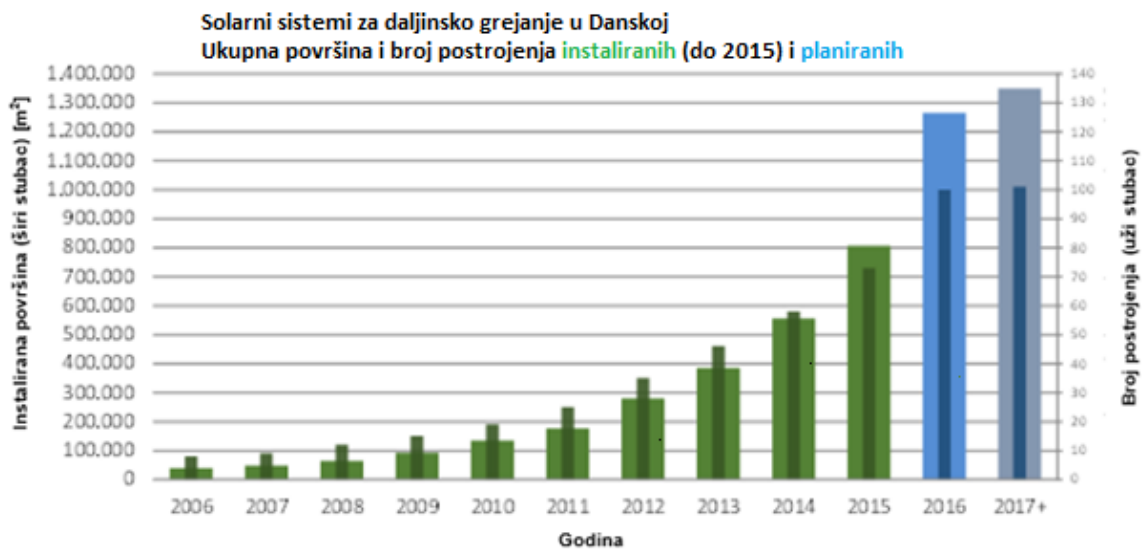
Investicione troškove za solarne kolektore u Danskoj prikazuje Slika 8. Postrojenje u gornjem desnom uglu dijagrama je "Dronninglund" u kojem je instalirano 37 573 m<sup>2</sup> solarnih kolektora i sezonsko skladište toplote. Investicija za skladište iznosila je 2 400 000 € (vidi poglavlje o sezonskim skladištima toplote) što je razlog devijacije od očekivane cene koja je dobijena linearnom regresijom (crvena linija).



Slika 8. Investicija za postrojenje sa solarnim kolektorima u Danskoj (Izvor: PlanEnergi)

Ovaj rast broja sistema sa solarnim kolektorima u Danskoj je doveo do razvoja u sledećim sektorima:

- **Veći broj dobavljača i proizvođača:** Uključeni su u projekte, razvijaju nove tehnologije pa na taj način raste konkurencija: npr. Arcon-Sunmark, Viessmann, KBB, Clipsol, Savo Solar, Greenonotech.
- **Hibridni sistemi:** Mali SDG često uključuju kombinaciju tehnologija. Naročito se koristi kombinacija solarnog grejanja i biomase (drvena sečka i slama). Prilikom planiranja hibridnih sistema u obzir se uzimaju i mere energetske efikasnosti.
- **Skladišta toplote:** U velikim sistemima sa solarnim kolektorima često se toplota sezonski skladišti. Ova skladišta toplote mogu uskladištiti količinu energije koja odgovara do 80 % godišnjih potreba za grejanjem.
- **Postrojenja sa solarnim kolektorima za velike gradove:** Trenutno se planiraju ili grade nova postrojenja sa solarnim kolektorima za velike gradove, npr. Graz u Austriji (265 000 stanovnika, 450 000 m<sup>2</sup> solarnih kolektora, 1 800 000 m<sup>3</sup> skladišta toplote spremnika), Beograd u Srbiji (trenutno u razmatranju).
- **Postrojenja sa solarnim kolektorima s visokim temperaturama:** Određeni broj postrojenja radi sa višim temperaturama kako bi snabdevali toplotom industrijska postrojenjima ili postojeće SDG. U nekim slučajevima proizvedena toplota koristi se za proizvodnju električne energije (npr. CSP i ORC)



Slika 9. SDG sa solarnim kolektorima u Danskoj - instalirani (do 2015.) i planirani (Izvor: PlanEnergi)

Razvoj postrojenja sa solarnim kolektorima pokazuje da je korišćenje solarnih kolektora u SDG dokazana tehnologija sa dugačkim životnim vekom. Ova tehnologija trenutno dostiže fazu konkurentnosti u primeni u velikim postrojenjima kada se kombinuje sa ostalim tehnologijama, uključujući sezonska skladišta toplote. Glavne **prednosti** SDG sa solarnim kolektorima su:

- Jednostavna, robusna i dokazana tehnologija; 100 SDG u Danskoj koriste solarne kolektore za proizvodnju toplote.
- Dugačak životni vek postrojenja od najmanje 25-30 godina. Nova postrojenja će imati čak i duži životni vek.
- Niski troškovi održavanja. Na osnovu podataka iz postojećih postrojenja, iznose oko 0,7 €/MWh proizvedene toplote.
- Niska potrošnja električne energije (3-4 kWh/MWh proizvedene toplote iz solarnih kolektora).
- Nije potrebno stalno prisustvo osoblja.
- Cena proizvedene toplote nije podložna riziku od promene cena goriva.
- Izvor energije ne uzrokuje emisije CO<sub>2</sub>.
- Visoka količina proizvedene energije u odnosu na potrebnu površinu (u poređenju sa biomasom).
- Nakon uklanjanja solarnih kolektora sa zemlje, ostaje nizak ili nikakav uticaj na zemlju pa je jednostavno promeniti namenu zemljištu.
- 98% postrojenja se može reciklirati.

Glavni **nedostaci** SDG sa solarnim kolektorima su:

- Proizvodnja toplote zavisi od količine solarnog zračenja i o vremenskim uslovima.
- Letnje opterećenje sistema određuje instaliranu snagu ukoliko je postavljeno samo dnevno skladište toplote.
- Proizvodi 80% toplote u periodu od aprila do septembra, kada je potreba za toplotom najniža. Ovaj problem se može rešiti korišćenjem sezonskog skladišta toplote.

- U poređenju sa ostalim tehnologijama za SDG poput kotlova ili toplotnih pumpi, solarni kolektori postavljeni na zemlju zahtevaju veliku površinu, otprilike 2,5 m<sup>2</sup> zemlje za 2 m<sup>2</sup> solarnih kolektora. Lokacija bi trebala biti blizu distributivne mreže SDG iako se ovaj problem može rešiti postavljanjem magistralnog cevovoda. Međutim, to zahteva dodatne troškove.
- Visoki početni investicioni troškovi po MW. Međutim, sa periodom amortizacije od 15-20 godina, cena proizvedene toplote konkurentna je ceni iz npr. SDG koji koriste biomasu.

Detaljne smernice za SDG sa solarnim kolektorima su razrađene u sklopu projekta IEA SHC Zadatak 45<sup>4</sup>. Dostupne su opšte informacije i tehnički podaci u kojima se opisuju zahtevi i smernice za solarne kolektore kao i podaci o sezonskim skladištima toplote.

### 3.2 Sistemi koji koriste biomasu

Biomasa je biorazgradivi deo proizvoda, otpada i ostataka u poljoprivredi (uključujući biljne i životinjske supstance), u šumarstvu i agro-prerađivačkoj i drvo-prerađivačkoj industriji, kao i biorazgradivi deo industrijskog i komunalnog otpada. Primarna organska materija proizvodi se fotosintezom biljaka koje uzimaju CO<sub>2</sub> iz atmosfere, vodu i energiju iz sunčeve svetlosti i koje stvaraju jedinjenja na bazi ugljenika (vidi Antrfile 3). Ta jedinjenja na bazi ugljenika čuvaju energiju sunca koja se može ponovo osloboditi sagorevanjem.

#### Antrfile 3: Zašto je biomasa obnovljiva? (Dimitriou & Rutz 2015)

Primarni gas sa efektom staklene bašte koji se stvara u procesu sagorevanja je **ugljen dioksid** (CO<sub>2</sub>), koji je glavni razlog za povišenu temperaturu na Zemlji. Ugljen dioksid se proizvodi tokom sagorevanja fosilnih goriva (npr. lignit, ugalj, nafta, prirodni gas), ali isto tako i biomase. Međutim, razlika je u tome što biomasa uzima **CO<sub>2</sub>** iz atmosfere tokom svog rasta (fotosinteza). Takođe, korišćenjem brzo rastućih zasada, biljke uklanjaju CO<sub>2</sub> iz atmosfere u periodu od 4-6 godina nakon čega se npr. spaljuju u kotlu na drvenu sečku. Zbog kratkog ciklusa kod ovih biljaka, biomasa iz spomenutih zasada je obnovljiva jer pomaže u očuvanju životne sredine. Međutim, biomasa nije u potpunosti **neutralna sa aspekta emisija CO<sub>2</sub>** s obzirom da je potrebno dodatno koristiti fosilna goriva za pripremu i korišćenje biomase (npr. za seču i transport).

Dakle, biomasa se može koristiti kao obnovljivi izvor energije koji se može skladištiti. Biomasa se može direktno spaliti ili se može prvo pretvoriti u sekundarne proizvode (biogas, etanol, biodizel, drveni ugalj, itd.) pa onda spaliti. Konverzija biomase u druge proizvode se može klasifikovati u sledeće kategorije:

- **Mehanička obrada:** usitnjavanje, presovanje, mlevenje, peletiranje, proizvodnja briketa
- **Termo-hemijska obrada:** gasifikacija, piroliza
- **Biohemijska obrada:** anaerobna digestija, fermentacija

Biomasa je vrlo pogodan i često korišćen izvor energije za male SDG. Glavna prednost je mogućnost skladištenja i korištenja po potrebi. Na primer, drvo može biti uskladišteno tokom dugog razdoblja sve do zime kada se javlja potreba za toplotom. Glavni nedostatak ovih sistema je potreba za kontinuiranim snabdevanjem sirovinom, koju treba prikupiti ili nabaviti, a zatim isporučiti u postrojenje i obraditi. To je glavna razlika u odnosu na varijabilne obnovljive izvore energije kao što su solarna energija i vetar, koji imaju niže potrebe za

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

održavanjem. S druge strane, varijabilne obnovljive izvore je teže uskladištiti. Dakle, kombinacija sistemana biomasa sasolarnim kolektorima ima značajan sinergetski potencijal.

### 3.2.1 Procesi sagorevanja

Čvrsta biomasa definiše se kao lignocelulozni materijal koji se može direktno koristiti za sagorevanje. Uglavnom se radi o drvetu, drvnoj sečki i peletima dobijenih iz raznih aktivnosti poput šumarstva, uređivanja prostora, drvnoprerađivačke industrije ili brzo rastućih zasada (eng. short rotation coppice – SRC). Međutim, u nekim slučajevima se za direktnosagorevanjemogu koristiti i poljoprivredni ostaci kao što su oklasak kukuruza ili slama.

Biljna biomasa se uglavnom sastoji od ugljenika (C), vodonika (H) i kiseonika (O). Udeo ugljenika određuje količinu energije koja se oslobađa tokom sagorevanja (oksidacije). Takođe, vodonik sadržan u čvrstoj biomasi oslobađa energiju tokom sagorevanja. Udeo ugljenika i vodonika u gorivu određuje ogrevnu vrednost suvog goriva. Kiseonik samo omogućava sagorevanje, ali nema uticaja na energetska sadržaj goriva. (Dimitriou & Rutz 2015)

Toplota sagorevanja ( $\Delta H^0$ ) (Jednačina 1) je energija koja se oslobađa u obliku toplote kada se određena materija (biogas, drvo, fosilno gorivo) podvrgne potpunom sagorevanju pod standardnim uslovima. Hemijska reakcija prikazuje reakciju biomase sa kiseonikom kako bi se stvorio ugljen dioksid, voda i toplota.



U primenjenim sistemima sagorevanja, goriva se često karakterišu donjom i gornjom toplotnom moći (Box 4). Ove vrednosti zavise od hemijskog sastava goriva.

#### Box 4: Koja je razlika između donje i gornje toplotne moći? (Dimitriou & Rutz 2015)

Toplotne moći daju važne informacije o svojstvima goriva.

**Donja toplotna moć** (eng. Lower heating value, net calorific value, lower calorific value) određuje količinu toplote koja se oslobađa potpunim sagorevanjem (oksidacijom) biomase. Ova vrednost ne uzima u obzir toplonu kondenzacije (toplotu isparavanja) vodene pare sadržane u dimnim gasovima. Stoga se donja ogrevna vrednost smanjuje sa većim sadržajem vlage u biomasi.

**Gornja toplotna moć** (eng. calorific value, gross energy heating value, upper heating value ( $H_o$ ), gross calorific value (GCV), higher calorific value (HCV)) određuje se hlađenjem svih produkata sagorevanja na temperaturu pre sagorevanja, naročito kondenzacijom proizvedene vodene pare. Za biomasa je vrednost gornje toplotne moći otprilike 6% (kora), 7% (drvo) ili 8% (poljoprivredni proizvodi) veća od donje toplotne moći (Tabela 1). Međutim, ovo važi samo za čvrsta goriva koja su u potpunosti suva. Za vlažnu biomasa, ova je razlika veća. Tabela 2 prikazuje ogrevne vrednosti raznih vrsta drveta.

Drvo ima visoki udeo ugljenika, koji iznosi od 47-50%. Udeo kiseonika u drvetu iznosi 40-45%, a udeo vodonika iznosi 5-7%. Pored ova tri elementa, drvo se sastoji i od drugih elemenata. Ti elementi mogu imati jak uticaj na emisije čestica u dimnim gasovima, uprkos njihovom relativno malom udelu. Sumpor, hlor i azot spadaju u elemente koji imaju najveći uticaj na emisiju štetnih čestica. Toplotna moć se najčešće izražava po jedinici mase (Tabela



1). Za drvenu sečku toplotna moć često se izražava po jedinici zapremine (po m<sup>3</sup> - Tabela 2). Zavisno od vrste drveta, veličine drvene sečke i udela vlage, nasipnoj gustini drvene sečke iznosi 200 – 300 kg/m<sup>3</sup> (Dimitriou & Rutz 2015).

### 3.2.2 Kvalitet čvrste biomase

Važan faktor koji utiče na proces sagorevanja je kvalitet goriva. Goriva dobrog kvaliteta se mogu koristiti u bilo kojem sistemu dok je goriva lošeg kvaliteta moguće koristiti samo u nekim sistemima. Uglavnom se radi o većim sistemima koji moraju imati posebnu opremu. Kvalitet čvrste biomase (peleta, briketa, drvene sečke, ogrevnog drveta, itd.) je klasifikovan prema International Organization for Standardization pod ISO 17225 (npr. "Solid biofuels -- Fuel specifications and classes -- Part 1: General requirements"<sup>5</sup>).

**Tabela 1. Karakteristike sagorevanja čvrstih goriva (Hiegl et al. 2011) (prosečne/standardne vrednosti; za suhu materiju (tj. sadržaj vode je 0%); stvarne vrednosti zavise od mnogobrojnih faktora!)**

Vrsta biomase	Donja toplotna moć [MJ/kg]	Gornja toplotna moć [MJ/kg]	Sadržaj pepela [%]	Temperatura omešavanja 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

<sup>5</sup> SRPS EN ISO 17225-1:2015 Čvrsta biogoriva — Specifikacije i klase goriva — Deo 1: Opšti zahtevi

Tabela 2. Prikaz toplotne moće drvene sečke u zavisnosti od sadržaja vode (prosečne/standardne vrednosti; stvarne vrednosti zavise od mnogobrojnih faktora!)

Sadržaj vode [%]		0	15	20	30	50
	<b>Referentna jedinica</b>	<b>Toplotna moć [kWh]</b>				
<b>Bukva</b> (gustine 558 kg suve materije/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>	1116	1090	1077	1052	964
<b>Smreka</b> (gustine 379 kg suve materije/neto m <sup>3</sup> )	kg	5,20	4,32	4,02	3,44	2,26
	Neto m <sup>3</sup>	1970	1930	1900	1860	1710
	Nasipni m <sup>3</sup>	788	770	762	745	685
<b>Topola</b> (gustine 353 kg suve materije/neto m <sup>3</sup> )	kg	5,00	4,15	3,86	3,30	2,16
	Neto m <sup>3</sup>	1765	1723	1705	1662	1525
	Nasipni m <sup>3</sup>	706	689	681	666	610
<b>Vrba</b> (gustine 420 kg suve materije/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 vrednost nasipnog m<sup>3</sup> je vezana uz G50, druga uz G30, ostali izvori)



Slika13. Matrica za pelet (levo) i visoko kvalitetni pelet (desno) (Izvor: RutzD.)



Slika14. Drvna sečka visokog (levo) i niskog kvaliteta (sredina i desno) (Izvor: RutzD.)

### 3.2.3 Postrojenja koja koriste biomasu

Čvrsta biomasa može se koristiti u sledećim postrojenjima:

- **Male peći** (na pelete ili cepanice) za individualno grejanje soba
- **Centralizovani kotlovi** (na pelet ili cepanice) za individualno grejanje domaćinstava
- **Mali kotlovi** (na pelet, cepanice ili drvnu sečku) za grejanje većih zgrada ili nekoliko domaćinstava
- **Kotlovi srednje snage** (na pelet, cepanice ili drvnu sečku) za mikro SDG koji obuhvataju nekoliko domaćinstava
- **Mala kogeneraciona postrojenja** (CHP) (na pelet ili drvnu sečku) koja koriste gasifikatore
- **CHP srednje snage** (na pelet, cepanice ili drvnu sečku) koja koristi organski Rankinov ciklus
- **CHP velike snage** (na pelet, cepanice ili drvnu sečku) koje koriste parne turbine
- **Kosagorevanje** drvne sečke i industrijskih peleta u velikim postrojenjima koja koriste fosilna goriva

Kotlovi na pelete se koriste za manje sisteme grejanja (na nivou jednog ili nekoliko domaćinstava), ali takođe mogu se koristiti i u sistemima srednjih snaga. Kotlovi na drvnu sečku (Slika 10, Slika 11) koriste se za sisteme koji imaju snage veće od 20 kW. Grejanje pomoću drvne sečke je uglavnom ekonomski isplativo za veća domaćinstva, farme, više domaćinstava ili čak mala naselja (mali SDG) (Dimitiou & Rutz 2015).

Tehnologija korišćena u sistemima na pelete i drvnu sečku je već dobro poznata pa postoji mnogo proizvođača u ovoj delatnosti. Tehnologija se sastoji od skladišta za biomasu, sistemaneprekidnog snabdevanja biomasom, kotlova na biomasu, dimnjaka i distributivnog sistema toplote (koji često uključuje skladište toplote). Investicioni trošak za kotao na pelet ili drvnu sečku često je viši nego za kotao na fosilna goriva, ali je trošak goriva uglavnom

znatno niži. Stoga je dugoročno kotao na drvnu sečku ili pelet ekonomski isplativiji od kotlova na fosilna goriva (Dimitiou & Rutz 2015).



Slika 10. Mali sistem grejanja koji koristi drvnu sečku (instalirana snaga 24-50 kW) sa kotlom (levo), sistemom za neprekidno snabdevanje biomasaom (sredina) i skladište drvne sečke (desno) u Frölingu (Izvor: Rutz D.)



Slika 11. Sistem grejanja srednje snage (instalirana snaga 3 000 kW) sa kotlom (desno) i skladištem toplote (levo) u Nemačkoj - Biomassehof Achental (Izvor: Rutz D.)

Za sagorevanje poljoprivrednih ostataka, kao što je npr. slama, potrebna je posebna oprema (Slika 17 i Slika 12) zbog posebnih karakteristika ovih travastih (nedrvenastih) biogoriva. Problemi koji se javljaju prilikom sagorevanja slame uglavnom se odnose na visoku koncentraciju hlora u biogorivu, što može dovesti do korozije nezaštićene opreme. Drugi problem je niska temperatura topljenja pepela, s obzirom da uklanjanje šljake (Slika 12) zahteva sofisticiraniju opremu nego kod pepela nastalog sagorevanjem drveta.



Slika 17. Sistem za neprekidno snabevanje balama slame (levo) i kotao na slamu snage 1,6 MW u Ballen-Brundby u, Danska (Izvor: RutzD.)



Slika 12. Šljaka koja ostaje nakon sagorevanja slame

### 3.2.4 Kogeneraciona postrojenja koja koriste čvrstu biomasu

Sistemi koji osim toplote proizvode i električnu energiju (**kogeneracioni sistemi** - CHP) se sve više koriste. S obzirom da ovi sistemi proizvode dve vrste energije, komplikovaniji su od sistema koji proizvode samo toplotu, a koji su opisani u prethodnim poglavljima. Optimalna integracija kogeneracionih postrojenja u male SDG zavisi od mnogih ograničenja. Sistem može biti više orijentisan na pokrivanje potreba za grejanjem ili potreba za električnom energijom.

CHP koji je više orijentisan na **pokrivanje potreba za grejanjem** proizvodi onoliko toplote koliko je zaista potrebno. Ukoliko je potrebno manje toplote, takođe se proizvodi i manje električne energije. Ovakav koncept se idealno koristi kada postoji konstantna potreba za toplotom i kada postrojenje radi pod punim opterećenjem teoretski 7 500 do 8 760 sati godišnje. Ukoliko se potreba za toplotom menja ili smanjuje u određenim periodima, CHP radi sa smanjenim opterećenjem. To znači da je znatno manji broj sati u kojima postrojenje radi pod punim opterećenjem (2 000 – 3 000 sati) u SDG na koji su spojena samo domaćinstva.

CHP koji je više orijentisan 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 radiostvarivanja što veće naknade u vidu mera podsticaja (feed-in tarifa) za prodaju električne energije. Stoga svi CHP koji su orijentisani na pokrivanje potreba za električnom energijom rade u punom pogonu maksimalni broj sati ili prate potrebu mreže. U nekim zemljama (npr. Nemačka) se daju podsticaji kako bi se udvostručio kapacitet tokom vršnog opterećenja (npr. tokom dana) a zaustavio rad tokom niskog opterećenja (npr. tokom noći). Stoga će CHP koji su orijentisani na pokrivanje potreba za električnom energijom imati značajnu ulogu u uklapanju proizvodnje sa potrošnjom u elektroenergetskim mrežama.

Ukoliko se primeni ovaj koncept, moguće je da snabdevanje toplotom neće odgovarati potrebama za grejanjem. U tom slučaju, često se višak toplote nepovratno gubi, kao što je opisano u Antrfile 5 kod biogasnih 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 donele regulative kojima se ograničava da se barem 40 – 50 % proizvedene toplote mora iskoristi ukoliko se postrojenje prijavljuje za feed-in tarife. Na ovaj način se ukupna iskoristivost CHP postrojenja na biomasu povećava na oko 70%. Dakle, izgradnja CHP postrojenja ima smisla samo kada se većina proizvedene toplote iskoristi.

Tehnologije za CHP na biomasu su u prošlosti odabirane zavisno od instalisane toplotne i električne snage. Tada je za male i srednje sisteme korišćen ORC, a za velike sisteme parna turbina. Oba procesa su termodinamički procesi zasnovani na Rankinovom ciklusu.

Razvoj visoko efikasnih **parnih turbina** je podstaknut razvojem velikih termoelektrana na uglj i nuklearnih termoelektrana s instaliranom snagom od više stotina MW. Ovi sistemi su zatim dimenzionisani kako bi se koristili u postrojenjima na biomasu sa instalisanom snagom 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 medijum. Voda, tj. vodena para se u ORC procesu zamenjuje organskim medijumom koji ima drugačiju temperaturu kondenzacije i isparavanja od vode. Koristeći ova svojstva, proces se može postaviti zavisno od potreba potrošača i izvora toplote. Zbog toga se ORC procesi najbolje koriste kod proizvodnje toplote niže temperature (85-95°C) korišćenjem izvora toplote temperature 250-350°C. U suštini, ORC proces ima malo veću iskoristivost od parnog procesa. Drugi razlog za izbor ove tehnologije su niske potrebe za održavanjem. Neki proizvođači za ORC proizvode standardizovane delove postrojenja sa dugoročnim ugovorima za održavanje. Na ovaj način je povećana pouzdanost pogona a takođe su ostvareni minimalni zahtevi za radnom snagom. Jedan od važnih parametara pri odabiru tehnologije je potreba za obučanim osobljem. U većini zemalja EU je potrebno posebnoobrazovanje osoblja za rad sa parnim kotlovima. Zbog nižih temperatura i pritisakakao i drugačijih uslova organskog radnog medijuma u ORC procesu, nije potrebna nikakvo posebnoobrazovanje osoblja za rad na ovim postrojenjima. Shodno tome, ORC postrojenje ostvaruje nešto bolji ekonomski učinak tokom radnog veka u poređenju sa parnim kotlovima. Danas su ORC postrojenja već rasprostranjena u celome svetu zbog spomenutih prednosti.

Slika 13 prikazuje standardno ORC postrojenje instalisane snage od 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 pa su danas ove dve tehnologije, ORC i parni ciklus slične u pogledu ekonomske isplativosti (Zweiler, 2008).



Slika19. Kogeneraciono postrojenje na drvnu sečku i parna turbina postrojenja Stadtwerke Augsburg Energie GmbH u Nemačkoj (kapacitet 80 000 t/god drvne sečke; 7,8 MW<sub>el</sub>; 15 MW<sub>th</sub>) (Izvor: RutzD.)



Slika 13. ORC sistem (1 520 kW<sub>el</sub>) u Grünfuttertrocknungsgenossenschaft Kirchdorf a.H. eG u Nemačkoj (Izvor: Rutz D.)

**Gasifikacija biomase** je tehnologija poznata više od 100 godina, međutim dostigla je nivo zrelosti za upotrebu tek nakon 2002. godine za srednje i velike sisteme, a nakon 2012. godine za male sisteme. Danas se tehnologija gasifikacije biomase koristi za razne primene, a naročito za sisteme malih snaga. Najčešća instalirana snaga za ove sisteme koji koriste drvnu sečku i pelete iznosi 10-100 kW<sub>el</sub> (Slika21).



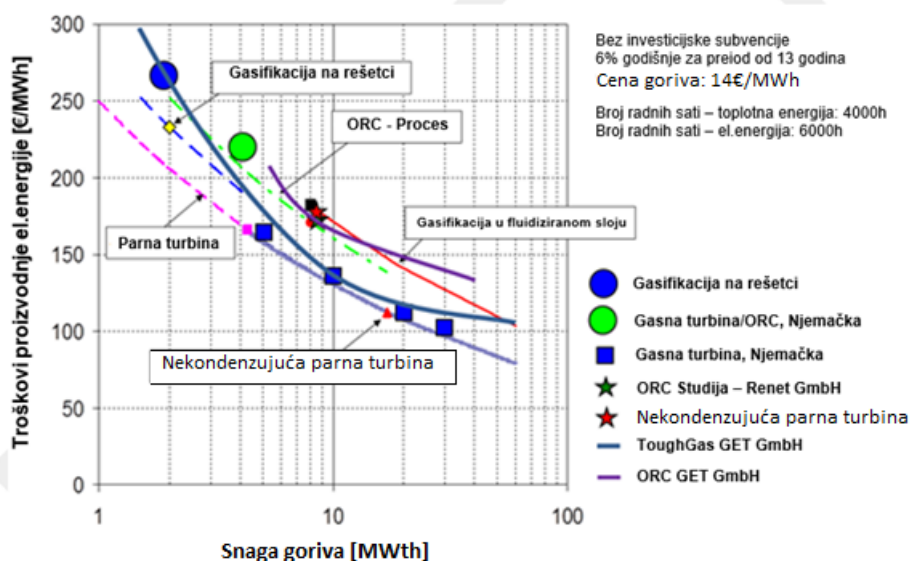


**Slika21. Gasifikacija biomase u postrojenju male snage tokom rada (levo) i tokom proizvodnje (desno) firme „SpannerRE<sup>24</sup>“ (Source: RutzD.)**

Gasifikacija je proces koji pretvara čvstu biomasu u gas, koji se uglavnom sastoji od vodonika, metana, ugljen monoksida i ugljen dioksida. Biomasa na visokim temperaturama ( $>600^{\circ}\text{C}$ ) reaguje sa kiseonikom ( $0 < \lambda < 1$ ) i proizvodi gas. Ovaj korak je sličan prvom koraku u procesu sagorevanjagde se biomasa pretvara u gasovito stanje. Međutim, kod gasifikacije proizvedeni gas ne sagoreva u samom postrojenju. Zbog toga do 80% hemijske energije biomase ostaje sadržano u proizvedenom gasu. Taj gas se zatim koristi u gasnom motoru sa unutrašnjim sagorevanjem kako bi se proizvela električna energija i toplota (ukoliko se koristi kogeneracija). Ako se za gasifikaciju koristi neki drugi agens, a ne vazduh, proizvodi se sintetički gas. Međutim za sagorevanje u gasnom motoru je dovoljno koristiti kiseonik kao agens za gasifikaciju.

Slika21 prikazuje standardno malo kogeneraciono postrojenje s jedinicom za gasifikaciju. Masovna proizvodnja ove tehnologije dovela je do smanjenja cene pa gasifikacija 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 podležu zakonu ekonomije obima, dok su razlike između spomenutih CHP procesa zanemarljive (Zweiler, 2013)



Slika 14. Poređenje CHP procesa u odnosu na instaliranu električnu snagu, zasnovano na rezultatima većeg broja analiza (Zweiler, 2013)

Izbor i realizacija CHP postrojenja zahteva dobro poznavanje važnih aspekata, međutim radi se o zreloj tehnologiji spremnoj za upotrebu koja ima visoku efikasnost. Važni aspekti za izbor CHP tehnologije su:

**Kvalitet goriva:** Ukoliko je gorivo nižeg kvaliteta, manje je pogodno za gasifikaciju na rešetci. Gasifikacija na rešetci trenutno zahteva visokokvalitetnu drvenu sečku (prema kategorizaciji iznad G50) ili standardizovano gorivo poput peleta. Gasikacija u fluidizovanom sloju, kao i kogeneracija je manje osjetljiva na kvalitet goriva. Ovi procesi mogu koristiti bilo koju vrstu goriva (kao i drvene ostatke i otpad), međutim potrebna su dalja istraživanja kako bi se otpad koristio kao gorivo za gasifikaciju u fluidiziranom sloju (Zweiler, 2013). Kotlovi su još manje osjetljivi na kvalitet goriva ukoliko koriste Rankinov ciklus za kogeneraciju. Oni mogu koristiti gotovo sve vrste goriva. Međutim, što je niži kvalitet goriva, to su komplikovanije tehnologije za pročišćavanje dimnih gasova.

**Sadržaj vode:** S obzirom na nisku cenu goriva s visokim sadržajem vode, može se učiniti da je korišćenje takvih goriva isplativo (sadržaj vode do 60%) za rad CHP postrojenja mada to nije dobro s tehničkog aspekta. Standardni kotlovi generalno mogu koristiti gorivo sa sadržajem vode 5-40% (ako su konstruisani za suvo gorivo) ili 20-60% (ako su konstruisani za vlažno gorivo). Veća fleksibilnost se može postići recirkulacijom dimnih gasova. Kao i kod kvaliteta goriva, gasifikacija u fluidiziranom sloju i kogeneracija je manje osjetljiva na veći sadržaj vode u gorivu. Kod gasifikacije u fluidiziranom sloju, maksimalni udeo vode u gorivu ne sme biti veći od 15%. Ukoliko se ne poštuje ovo pravilo, dolazi do proizvodnje otpadne vode što predstavlja problem za sam proces. Iz ovog razloga, gasifikacija u fluidiziranom sloju često sadrži i jedinicu za sušenje goriva.

**Temperaturna razlika:** Tehnologije koje se temelje na Rankinovom ciklusu su vrlo osjetljive na donju temperaturu procesa, koja ne sme biti previsoka. Taj nivo temperature određuje temperaturu medija za prenos toplote u SDG. Veći SDG na koje su spojena i industrijska postrojenja, često zahtevaju temperature iznad 120°C što ne odgovara parnim i ORC sistemima. U tim slučajevima, efikasnost se znatno smanjuje u odnosu na temperature medijuma od 85°C. Zavisno od instalisane snage, električna efikasnost može biti umanjena sa 18-20% na 15-17%. Gasifikacija u fluidizovanom sloju omogućava stabilnu električnu efikasnost na nivou 23-28% na temperaturama medijuma za prenos toplote u SDG od 180°C.

### 3.2.5 Biogasna postrojenja<sup>6</sup>

Biogas se proizvodi procesom **anaerobne digestije (AD)**. AD je biohemijski proces u kojem više vrsta anaerobnih mikroorganizama (bakterija) razlaže kompleksnu organsku materiju (biomasu) u druga jedinjenja u odsustvu kiseonika. AD je česta pojava u prirodi, npr. u sedimentima pod morem, u želucu preživara ili u močvarama. Takođe, u biogasnim postrojenjima se biomasa (organski materijal) procesom anaerobne digestije razlaže na dva glavna produkta: biogas i digestat. U većini biogasnih postrojenja koristi se više vrsta sirovina kako bi se stabilizovao proces i optimizovala proizvodnja biogasa. 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 razgradiva. To uključuje masti, ulja, šećere i skrob. Celuloza je takođe lako razgradiva, dok je lignin (jedan od glavnih jedinjenja u drvetu) teško razgraditi AD procesom. Karakteristične sirovine za biogasna postrojenja mogu biti biljnog i životinjskog porekla:

- Životinjske izlučevine (stajsko đubrivo, mulj itd.)
- Poljoprivredni ostaci i nusproizvodi
- Organski otpad od hrane i iz poljoprivredno-prerađivačke industrije
- Organski otpad iz industrije biomaterijala (npr. celuloze i papira, farmaceutske industrije)
- Organski deo komunalnog čvrstog otpada
- Otpad od hrane iz sektora kateringa
- Kanalizacijski mulj iz postrojenja za obradu otpadnih voda
- Energetski usevi (npr. kukuruz, šećerna repa, trava)

Vrsta sirovine utiče na AD proces i na konačni sastav proizvedenog biogasa. Biogas se uglavnom sastoji od metana ( $\text{CH}_4$ , 40-80%) i ugljen dioksida ( $\text{CO}_2$ , 15-45%) kao i manjih udela vodonik sulfata ( $\text{H}_2\text{S}$ ), amonijaka ( $\text{NH}_3$ ), azota ( $\text{N}_2$ ) i ostalih jedinjenja. Između ostalog, biogas je uglavnom zasićen vodenom parom ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Potencijal proizvodnje metana je jedna od najvažnijih karakteristika biomase koja se koristi u AD procesu. Uz vrstu biomase, ostali faktori poput sistema za digestiju, temperature digestije, vremena zadržavanja, itd., utiču na sastav biogasa.

Trenutno u Evropi postoji više hiljada biogasnih postrojenja. Države poput Nemačke, Austrije, Danske, Švedske, Češke, Italije i Holandije su predvodnice po broju instaliranih modernih biogasnih postrojenja. Instalirane električne snage biogasnih postrojenja se danas kreću od 50  $\text{kW}_{\text{el}}$  pa do 30  $\text{MW}_{\text{el}}$ . Instalirana električna snaga karakterističnih poljoprivrednih biogasnih postrojenja u Evropi koja koriste CHP, iznose oko 500  $\text{kW}_{\text{el}}$ , dok je toplotna snaga 550-600  $\text{kW}_{\text{th}}$ . Od toga, oko 500  $\text{kW}_{\text{th}}$  se može iskoristiti u mreži SDG. Oko 25% proizvedene toplote se mora iskoristiti za zagrevanje digestora usrednje evropskim klimatskim uslobima. Ako se pretpostavi broj radnih sati u godini od 8 000, ukupna proizvedena toplota biogasnog postrojenja snage 500  $\text{kW}_{\text{th}}$  bi iznosila 4,000  $\text{MWh}_{\text{th}}$ .

Biogas je medijum za prenos energije koji se može iskoristiti na više načina (Slika 15). Pre nekoliko godina kada su se intenzivno gradila biogasna postrojenja u Nemačkoj i Evropi, glavni cilj tokom izgradnje je bilo imati što veću instalisanu električnu snagu postrojenja. Glavni razlog tome bile su mere podsticaja (feed-in tarifa) za proizvodnju električne energije iz ovih postrojenja. Stoga je efikasno korišćenje proizvedene toplote često bilo zanemareno. U međuvremenu došlo je do promena jer su mnoge zemlje počele uvoditi razne mere kako bi se povećalo korišćenje proizvedene toplote. Primer toga su bonusi za CHP i regulative koje

<sup>6</sup> Za pripremu ovog poglavlja korišćen je priručnik BiogasHeat Handbook (Rutz et al. 2015). Neki delovi teksta preuzeti su iz ovog priručnika.

zahtevaju iskorišćenje određenog udela proizvedene toplote. Pregled načina korišćenja toplote iz biogasnih postrojenja dat je u Rutz et al. (2015).

Sledeće vrednosti mogu biti od koristi za proračune u vezi sa biogasnim postrojenjima:

- 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> biogasa: 0,45-0,75 Nm<sup>3</sup>
- Energija sadržana u 1 Nm<sup>3</sup> biogasa: 5-7,5 kWh
- Električna energija proizvedena sagorevanjem 1 Nm<sup>3</sup> biogasa: 1,5-3 kWh<sub>el</sub>
- Gustina biometana: 0,72 kg/Nm<sup>3</sup>
- 1 m<sup>3</sup> biogasa količinom energije odgovara 0,6 l lož ulja

Uzimajući u obzir da potrošnja energije za grejanje i pripremu PTV-a za jednu osobu iznosi 7 373 kWh/god, proizvodnja toplote u biogasnom postrojenju instalisane snage 500 kW<sub>th</sub> (4 000 MWh<sub>th</sub>/god) može pokriti godišnje potrebe PTV za 543 osoba. Ovo je, jasno, gruba pretpostavka zasnovana na prosečnim vrednostima. Ostali faktori, poput promenljivih sezonskih potreba za toplotom zbog različitih klimatskih uslova tokom leta i zime takođe se moraju uzeti u obzir. Ovaj faktor predstavlja glavni izazov za koncepte korišćenja otpadne toplote u domaćinstvima.



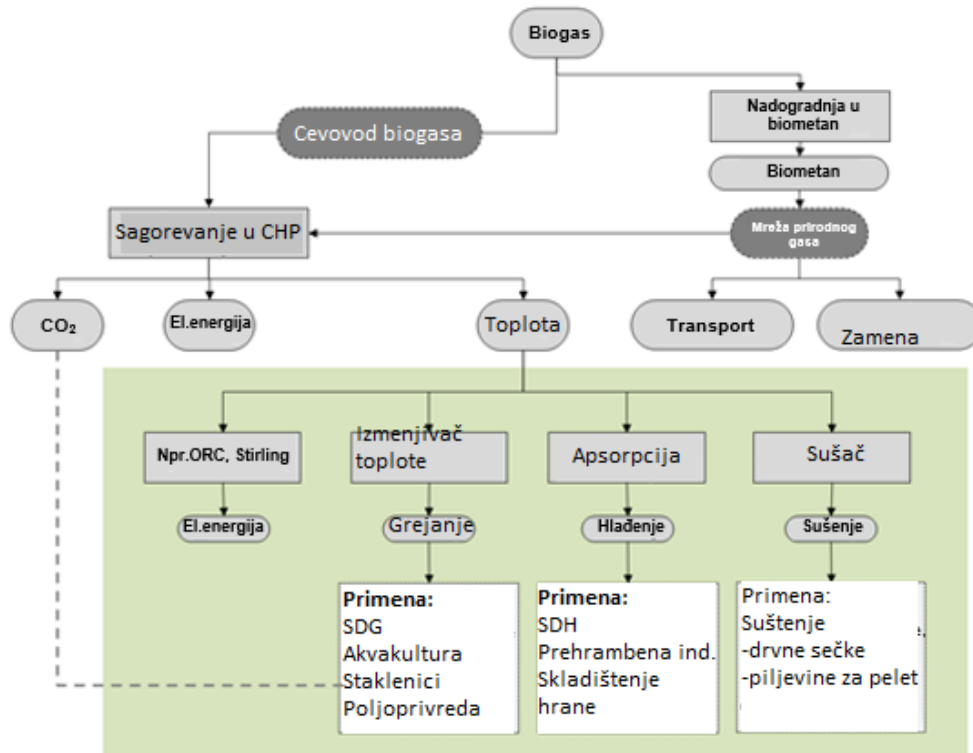
Slika23. Digestori (levo) i CHP jedinica (desno) biogasnog postrojenja (Izvor: RutzD.)

Korišćenje toplote iz biogasnih postrojenja u malim SDG sve više dobijaju na značaju. Razni koncepti trenutno se sprovode u ovoj oblasti. Imajući u vidu da su u prošlosti biogasna postrojenja planirana u zabačenim područjima, često je glavni problem bio udaljenost korisnika od izvora toplote. Kao alternativa izgradnji toplovoda od biogasnog postrojenja do korisnika, često se koristi koncept izgradnje gasovoda (za proizvedeni biogas) koji vodi do „satelitskog“ CHP postrojenja koje se nalazi bliže potrošačima toplote (Slika 16).

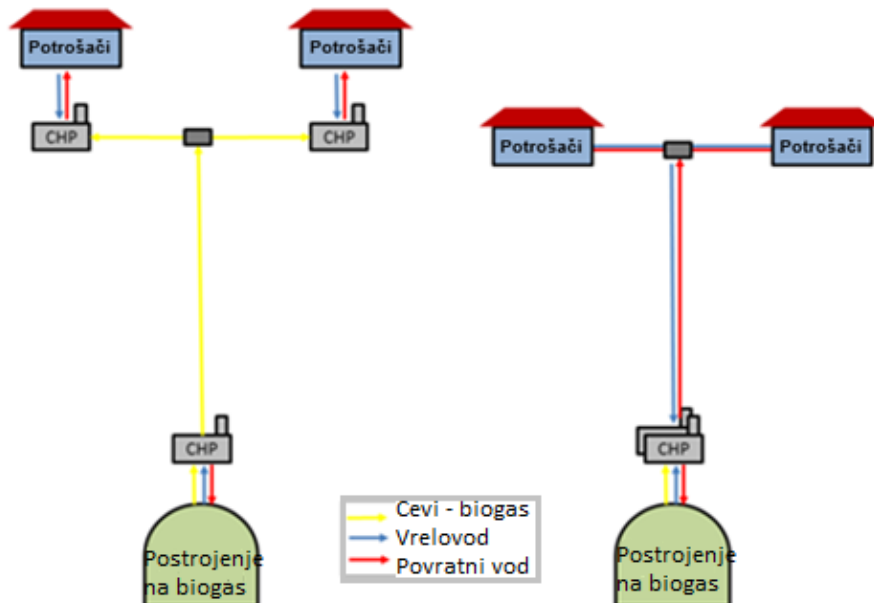
Sledeća alternativa je prečišćavanje biogasa kako bi se dobio **biometan** (gas koji ima kvalitet prirodnog gasa) pa je moguće njegovo ubacivanje u gasovodnu mrežu. Postoji više tehnologija za prečišćavanje biogasa poput: ispiranja aminima, ispiranja vodom, adsorpcije sa promenom pritiska, membranskog odvajanja i na kraju niskotemperaturnog odvajanja. Zbog relativno visokih troškova, postrojenja za prečišćavanje biogasa uglavnom se koriste za slučajevne instalirane električne snage >1 MW<sub>el</sub>. Ubacivanjem biometana u mrežu prirodnog gasa, omogućeno je njegovo korišćenje gde god postoji gasni priključak.

Tokom planiranja korišćenja toplote iz biogasnog postrojenja, potrebno je uzeti u obzir da se deo toplote mora iskoristiti za zagrevanje digestora kako bi se osigurao stabilan i efikasan proces digestije. Uobičajeno se temperature digestora za mezofilna biogasna postrojenja

kreću u rasponu od 38°C do 44°C, zavisno od sirovine i samog procesa. Digestori se mogu grejati na različite načine kao što su korišćenje cevi za grejanje na zidovima digestora ili pumpanje digestata kroz izmjenjivač toplote.

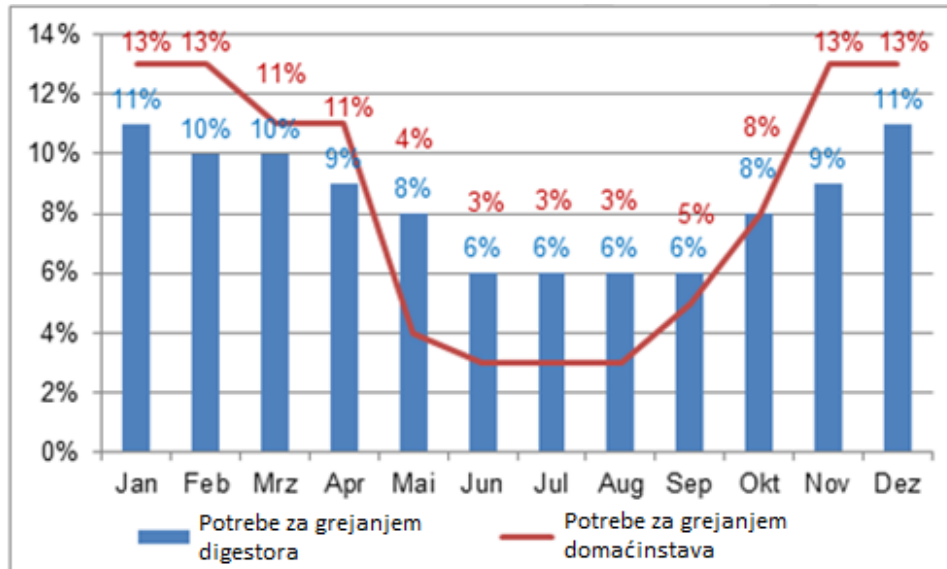


Slika 15. Pojednostavljeni dijagram toka za korišćenje biogasa (Izvor: Rutz et al. 2015)

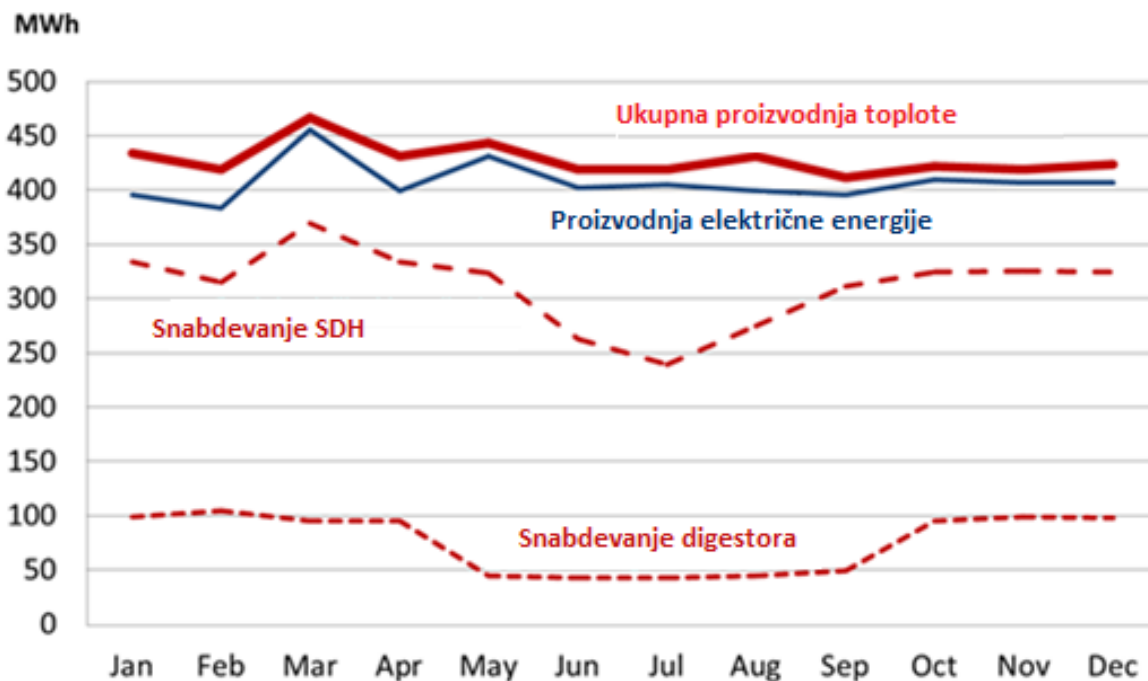


Slika 16. Gasovod koji vodi od biogasnog postrojenja do "satelitskih" CHP postrojenja (levo) i mikro SDG (desno) (Izvor: Rutz D.)

Potrebe za grejanjem digestora predstavljaju važan faktor jer određuju količinu toplote koja je dostupna za ostale potrebe. Potrebe za grejanjem digestora takođe su određene temperaturom ambijenta, tj. klimatskim uslovima. Dodatno, u postrojenjima za obradu otpada, toplota takođe može biti potrebna za sterilizaciju sirovine. Slika 17 i Slika 18 prikazuju primer potreba za grejanjem digestora.



Slika 17. Mesečna raspodela potreba za grejanjem digestora (pretpostavka) i domaćinstava (grejanje prostora i priprema PTV; mereni podaci) – analiza slučaja BiogasHeat u Nemačkoj (Izvor: Rutz et al. 2015)



Slika 18. Primer godišnje krive snabdevanja toplotom i proizvodnje toplote i električne energije biogasnog postrojenja snage 600 kW<sub>th</sub>u srednjoj Evropi (Izvor: Rutz et al. 2015)

### 3.2.6 Sistemi koji koriste biljna ulja

Biljna ulja dobivaju se presovanjem semenki određenih biljaka. Važne biljke za proizvodnju biljnih ulja u Evropi su uljana repica i suncokret. Pregled biljaka za proizvodnju biljnih ulja je dat u Rutz & Janssen (2008). Biljna ulja se mogu direktno koristiti kao gorivo za transport ili se mogu koristiti za proizvodnju biodizela (procesom transesterifikacije) i zatim koristiti kao zamena za fosilna goriva. Ukoliko se koriste u transportu, ova goriva se nazivaju biogorivima.

Biljna ulja takođe se mogu koristiti u kotlovima na uljeili CHP postrojenjima. U tom slučaju se nazivaju biotečnosti (eng. bioliquids – EC, RED Directive). Pre više godina su u Nemačkoj postojali visoke podsticajne mere (feed-in tarifa) za korišćenje biljnih ulja u CHP postrojenjima. Ove podsticajne mere ukinute su jer je diskutabilna održivost ovih goriva (tačnije rečeno neodrživost) pa se danas u Nemačkoj i ostalim državama retko koriste za proizvodnju toplote (u kotlovima ili CHP postrojenjima).

Međutim, ova goriva se i dalje mogu koristiti u nekim sistemima u kotlovima za pokrivanje vršnih opterećenja (vidi poglavlje 3.7). Sa obzirom da vršni kotlovi najčešće koriste fosilna goriva, moguće ih je zameniti sa kotlovima na biljna ulja.



Slika 19. CHP postrojenje koje koristi ulje od uljane repice (Izvor: Rutz D.)

### 3.3 Geotermalna energija

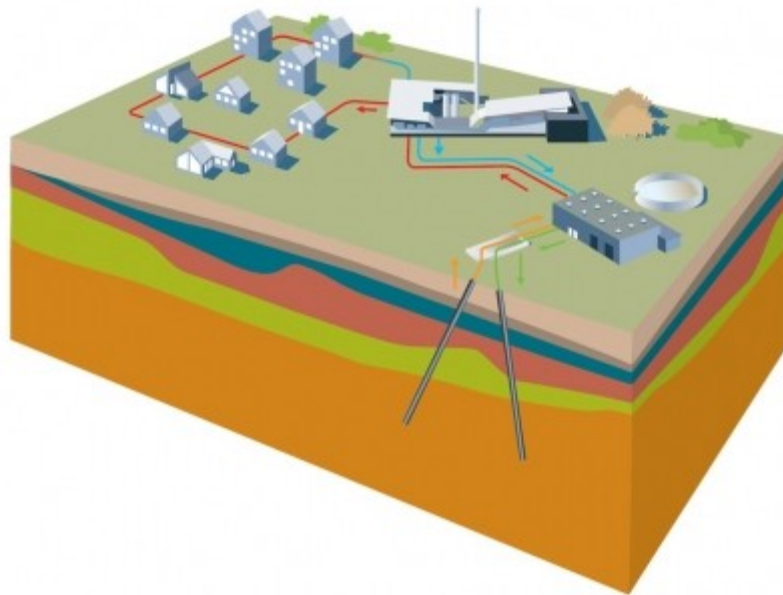
Geotermalna energija predstavlja toplotu koja postoji u zemlji. Izvor toplote je radioaktivni raspad materijala i sama zemljina struktura. Postoji temperaturna razlika između jezgra planete i njegove površine, koja se naziva geotermalni gradijent. Jezgro Zemlje ima izuzetno visoku temperaturu koja je dovoljna da se kamen koji se nalazi u njoj rastopi (lava). Temperature se menjaju zavisno od dubine zemljine kore. Na nekim mestima potrebno je ići vrlo duboko da bi se dostigle visoke temperature dok se na drugim mestima visoke temperature nalaze vrlo blizu zemljine površine.

Geotermalna energija se može koristiti na mnogo načina, od velikih i složenih elektrana pa do malih i relativno jednostavnih sistema. Korišćenje geotermalne energije zavisi od geotermalnog temperaturnog gradijenta, tj. od temperature zemlje na određenoj dubini. Proizvodnja električne energije je isplativa samo ukoliko je temperatura u blizini Zemljine

površine visoka. Ukoliko je temperatura niža, <math><100\text{ }^\circ\text{C}</math>, teško je koristiti toplotu za proizvodnju električne energije, međutim može se koristiti kao izvor energije za grejanje.

Zavisno od temperaturnog gradijenta, postoje različiti koncepti za korišćenje geotermalne toplote. Često korišćen koncept uključuje pumpanje geotermalne vode (proizvodna bušotina, eng. - production well) do izmjenjivača toplote ili toplotne pumpe, gde se ta toplota predaje sekundarnom medijumu. Zatim se geotermalna voda upumpava nazad u zemlju preko druge bušotine (ubrizgavajuća bušotina, eng. – injection well). Slika 20 prikazuje ovaj koncept.

Geotermalne bušotine su vrlo slične naftnim i gasnim bušotinama. Koriste se iste tehnologije i oprema, međutim geotermalne bušotine često imaju veće prečnike sa obzirom da se radi o velikim protocima geotermalne energije (Dansk Fjernvarme, 2016).



**Slika 20. Koncept korišćenja geotermalne energije (Izvor: Danish Geothermal District Heating, 2016)**

Glavne prednosti geotermalnog grejanja i hlađenja su snabdevanje lokalne i uvek dostupne obnovljive energije za pokrivanje baznog opterećenja, diversifikacija u snabdevanju energijom kao i smanjivanje uticaja promenljivih cena fosilnih goriva.

Oko 25% stanovništva EU živi u područjima koja su pogodna za direktnokorišćenje geotermalne energije u SDG. Trenutno u Evropi postoji oko 250 geotermalnih SDG (uključujući kogeneracije) čija ukupna instalirana snaga iznosi oko 4 400 MW<sub>th</sub>, a godišnja proizvodnja toplote oko 13 000 GWh/god (2013). U poslednjih nekoliko godina značajno je povećan broj projekata za geotermalne SDG, naročito u Francuskoj, Nemačkoj i Mađarskoj. Trenutno je u planu 200 projekata (uključujući i nadogradnju postojećih sistema) 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 koristi u mnogim državama Evrope pa postoje značajni potencijali za većim korišćenjem ovog obnovljivog izvora energije. Geotermalna toplota dostupna je u mnogim delovima Evrope (Slika30) pa je SDG ekonomski isplativ način distribucije te toplote do krajnjih korisnika.

Slika30 prikazuje postojeće geotermalne SDG u Evropi te potencijale za korišćenje geotermalne toplote u SDGu jugoistočnoj Evropi. Ove interaktivne karte nalaze se na internetu i sadrže različite slojeve koji se mogu po želji prikazati: potrebe za grejanjem, gustinu toka toplote, rezervoare i temperature.





Slika30. Karta koja pokazuje postojeće geotermalne (crvene tačke) SDG (levo) i potencijali korišćenja geotermalne energije (desno); Legenda: temperatura >50 °C na 1 000m dubine (plavo), temperatura >90 °C na 2 000m dubine (crveno), preklapanje ovih dvaju područja (ljubičasto) (Izvor: [http://map.mfqi.hu/geo\\_DH/](http://map.mfqi.hu/geo_DH/))

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

Zavisno od temperature izvora, često je potrebno koristiti toplotne pumpe kako bi se ostvarile više temperature za snabdevanje krajnjih korisnika. Za ove potrebe se mogu koristiti električne ili apsorpcijske toplotne pumpe, koje se mogu napajati iz drugih obnovljivih izvora kao što je biomasa. Stoga korišćenje geotermalne energije često zahteva dodatne izvore energije kao što su električna energija ili biomasa. Ovo takođe utiče na troškove napajanja koji su relativno niski za geotermalno postrojenje (troškovi napajanja pumpi), ali takođe uključuju i trošak električne energije i/ili biomase u slučaju korišćenja toplotnih pumpi.

Trošak napajanja pumpi raste sa dubinom bušotine. Stoga je ekonomski isplativije koristiti toplotne pumpe u kombinaciji sa toplotom iz manjih dubina (1 000 – 3 000 m) sa temperaturama 30 – 90 °C. Ovaj geotermalni gradijent (30 °C svakih 1 000 m dubine) predstavlja uobičajeno pravilo (Frederiksen & Werner, 2013).

Tokom planiranja geotermalnih postrojenja, godišnja proizvodnja energije mora biti relativno visoka kako bi se mogli otplatiti investicioni troškovi za bušotinu i ostatak postrojenja. Prema podacima iz Danske energetske agencije, godišnja prodaja toplote u SDG mora iznositi minimalno 400-500 TJ kako bi postrojenje bilo isplativo (iskustvo iz Danske). Ovo zavisi od države u kojoj se postrojenje nalazi, tj. od geotermalnog potencijal lokacije.

Potencijal za geotermalnu energiju na velikim dubinama je značajan. Međutim, SDG koji koriste geotermalnu energiju trenutno se retko koriste. Radi podsticaja šire primene ovih postrojenja potrebno je:

- Unaprediti energetske strategije u pravcu dosledne dekarbonizacije sektora proizvodnje toplotne energije.
- Otkloniti regulatorne i tržišne prepreke i pojednostaviti procedure za operatore i donosiocima odluka

- Razviti inovativne finansijske modele za geotermalne SDG koji imaju visoke investicione troškove
- Podučiti tehničare, državne službenike i donosiocima odluka na regionalnom i lokalnom nivou vlasti kako bi dobili potrebno znanje za odobravanje i davanje podrške projektima

Postoji nekoliko projekata čiji je cilj podrška realizaciji geotermalnih SDG, kao što su:

- U periodu 2012. – 2014. sproveden je EU projekat GeoDH<sup>7</sup>. Glavni fokus ovog projekta bile su netehničke prepreke za realizaciju geotermalnih SDG u 14 evropskih država. Projekt je rezultirao raznim uputstvima i filmom koji opisuje koncept korišćenja geotermalne energije.
- Opšti prikaz tehnologije korišćenja geotermalne energije je dat u dokumentu o proizvodnji toplote i električne energije iz geotermalnih izvora iz 2011. godine<sup>8</sup>

### 3.4 Otpadna toplota

Otpadna toplota (eng. - excess heat, waste heat, surplus heat) iz industrije ili drugih izvora (npr. proizvodnja biogasa) predstavlja važan izvor toplote koji može imati vrlo nisku cenu. Pre implementacije ovog koncepta, potrebno je analizirati energetske tokove u industriji. To uključuje određivanje temperatura procesa kao i potencijal za primenu tehničkih mera energetske efikasnosti.

Isplativost korišćenja otpadne toplote uvek zavisi od lokacije industrijskog postrojenja i od količine toplote koja se može iskoristiti, tj. od viškatoplate koji se ne može iskoristiti u industrijskom procesu. Korišćenje otpadne toplote ne sme uticati na procese u industriji pa se mora voditi računa da ukoliko dođe do prekida proizvodnje u industriji, takođe dolazi do prekida proizvodnje otpadne toplote. Dakle, potrebno je uzeti u obzir specifičnosti industrijskog procesa čija se otpadna toplota koristi.

Jedan od glavnih rizika je investiranje u opremu za korišćenje otpadne toplote iz postrojenja koje može prestati sa radom u budućnosti. Zbog toga je u ugovoru potrebno tačno odrediti kako se investicioni rizik deli na strane uključene u projekat. Rukovodioci industrijskih postrojenja uglavnom žele amortizaciju investicije u kraćem periodu (npr. 5 godina), što predstavlja vrlo kratko razdoblje za pravno lice koje rukovodi SDG.

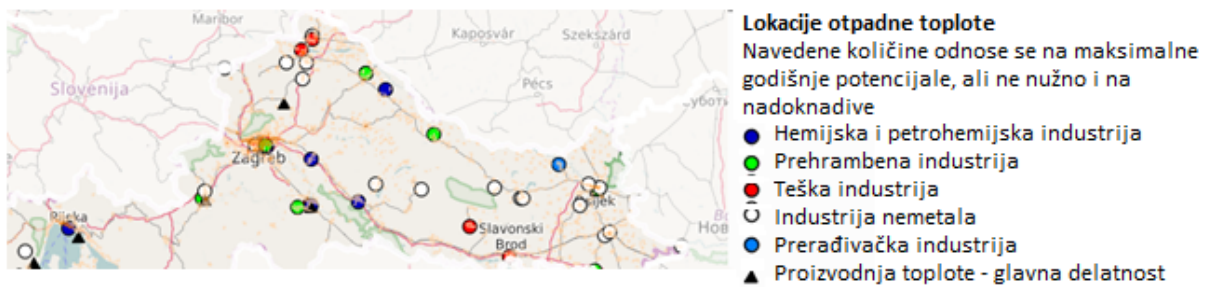
Ovaj problem postaje posebno značajan u slučajevima kada otpadna toplota čini visoki udeo proizvedene toplote u SDG. Primer iz Danske (Skjern Papirfabrik koji prodaje toplotu pravnom licu koje upravlja SDG u Skjernu)<sup>9</sup> prikazuje slučaj kada više od 50 % toplote u SDG dolazi iz industrijskog postrojenja. Međutim, ova je pojava retka pa su uglavnom ovi udeli niski.

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

<sup>7</sup> [www.geodh.eu](http://www.geodh.eu)

<sup>8</sup> [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Geothermal\\_roadmap.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Geothermal_roadmap.pdf)

<sup>9</sup> <http://www.skjernpaper.com/sustainability/production-of-district-heating>



Slika 21. Primer potencijala za otpadnu toplotu u Hrvatskoj<sup>10</sup>

U narednom koraku potrebno je pristupiti lokalnim industrijskim postrojenjima kako bi se započeo dijalog o mogućnostima iskorišćenja otpadne toplote. Industrijska postrojenja se često zanimaju za opcije koje im omogućavaju zaradu u njihovoj neprimarnoj delatnosti (nusproizvodima), međutim, iz istog razloga retko žele uložiti puno truda u ovakve projekte. Ova činjenica pokazuje da pravno lice koje upravlja SDG najčešće mora preuzeti inicijativu za ovakve projekte.

U sistemima koji koriste otpadnu toplotu često se koriste toplotne pumpe u svrhu podizanja temperatura na odgovarajuću nivo potreban za SDG.

Otpadna toplota može se koristiti i iz ostalih izvora, kao što su npr. biogasna postrojenja. Razlozi za neefikasno korišćenje toplote u biogasnim postrojenjima su prikazani u Antrfile 5. Prednost korišćenja toplote iz biogasnih postrojenja je neprekidnost u snabdevanju tokom godine i relativno niski troškovi, zavisno od karakteristika procesa. Problem predstavlja činjenica da se većina biogasnih postrojenja nalazi u ruralnim područjima, tj. daleko od potencijalnih potrošača toplote. Stoga je već u procesu planiranja potrebno uzeti u obzir mogućnost korišćenja otpadne toplote pa time i opredeliti lokaciju postrojenja. Biogasna postrojenja su sa više detalja opisana u poglavlju 3.2.5.

#### Antrfile 5: Zašto neka biogasna postrojenja proizvode otpadnu toplotu?

U Evropi i svetu kontinuirano raste broj biogasnih postrojenja zbog sve većih potreba za obnovljivom energijom kao zamenom za fosilna goriva. Većina poljoprivrednih i industrijskih biogasnih postrojenja koristi biogas za proizvodnju električne energije u procesu kogeneracije. Međutim, u puno slučajeva se toplota iz kogeneracionog postrojenja ne koristi već se gubi. Jedan od razloga tome su mere podsticaja za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora, koje zanemaruju efikasno korišćenje toplote. Ova činjenica trenutno predstavlja veliki problem za proizvodnju biogasa i uzrokuje mikroekonomske i makroekonomske gubitke u kontekstu sve veće konkurencije za korišćenje zemljišta. Više informacija o korišćenju otpadne toplote iz biogasnih postrojenja dostupno je u priručniku: "Sustainable Heat Use of Biogas Plants - A Handbook" (Rutz et al. 2015).

### 3.5 Električni bojleri: konverzija električne energije u toplotu

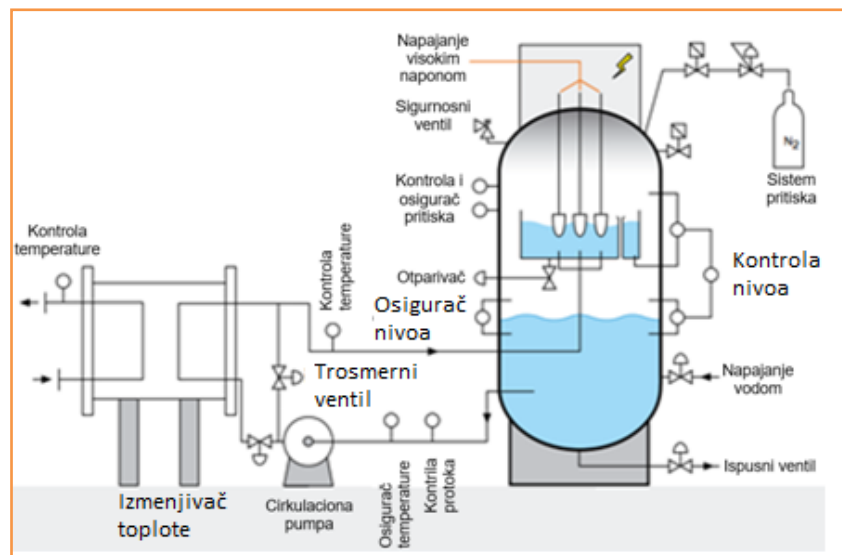
Efikasnost konverzije električne energije u toplotu iznosi gotovo 100%. Međutim, često postoje veliki energetske gubici na strani proizvodnje električne energije. Zbog toga ukupna efikasnost celog procesa značajno zavisi od izvora električne energije. Nadalje, efikasnost električne energije je veća nego za toplotnu energiju pa se stoga korišćenje električne energije za proizvodnju toplotne uglavnom ne preporučuje.

<sup>10</sup><http://maps.heatroadmap.eu/maps/30662?preview=true#>

Glavni razlog za korišćenje električnih bojlera u SDG nije potreba za toplotom nego potreba za pomoćnim uslugama na tržištu električne energije. Zbog toga korišćenje električnih bojlera ima veću važnost u pogledu zarade na tržištu električne energije, čime se smanjuje cena toplote. Korišćenje električnih bojlera ima svoju primenu u korišćenju viškova električne energije iz vetroelektrana i u omogućavanju efikasnog korišćenja drugih izvora toplote.

Električni bojleri su uređaji snage do nekoliko MW koji koriste električnu energiju za proizvodnju tople vode koja se koristi u SDG ili industrijskim postrojenjima. Najčešće se koriste kao vršni bojleri (slično kao gasni kotlovi ili kotlovi na lož ulje). U suštini, govorimo o dve vrste električnih bojlera:

- Grejači koji koriste princip **električnog otpora**: zasnovani na istom principu kao i električni grejači vode u domaćinstvima (bojleri). Instalirana snaga ovih uređaja iznosi 1-2 MW. Ovi grejači spojeni su na niski napon.
- Grejači koji koriste **elektrode** (Slika 22): Instalirana snaga ovih uređaja je veća (više od nekoliko MW) i spojeni su na visokonaponsku mrežu.



Slika 22. Shematski prikaz električnog grejača tople vode koji koristi elektrode. Toplota se proizvodi u gornjem delu uređaja zbog omskog otpora između elektroda u atmosferi inertnog gasa, npr. azota pod pritiskom (Izvor: PARAT Halvorsen AS<sup>11</sup>)

<sup>11</sup><http://parat.no/en/products/industry/parat-ieh-high-voltage-electrode-boiler/>



**Slika33. Električni grejač tople vode instalisane snage 10 MW, kapaciteta 14,4m<sup>3</sup> koji se nalazi u gradu Gram (Danska) koji je priključen na SDG (Izvor: Rutz D.)**

Zbog vrlo jednostavne konstrukcije ovih uređaja, električni bojleri su izuzetno pouzdani i jednostavni za održavanje. Bojleri ne sadrže nikakve složene komponente koje bi mogle otežavati rad i održavanje uređaja. Bojleri se mogu brzo pokrenuti i njima se može jednostavno upravljati. Ne zahtevaju sistem za snabdevanjem gorivom kao ni dimnjak.

Korišćenje električnih bojlera u SDG praksa je u Danskoj. Ukupno je postavljeno 45 bojlera s instalisanom snagom 490 MW. Najveći uređaji imaju 80 i 93 MW (izgrađeni 2015. i 2002. godine). Interaktivna karta koja prikazuje projekte koji uključuju električne bojlere može se videti na: [www.smartvarme.dk](http://www.smartvarme.dk).

### 3.6 Toplotne pumpe

Toplotne pumpe se retko koriste kao primarni izvor energije za SDG, već se koriste u svrhu optimizacije i unapređenja sistema koji su zasnovani na obnovljivim izvorima energije, kao što su sistemi sa solarnim kolektorima. Upotrebom toplotnih pumpi omogućava se primena toplotnih izvora koji inače imaju preniske temperature za direktno korišćenje u mreži SDG.

Dizalice toplote se mogu koristiti u modularnim SDG i hlađenja (SDGH) kao **centralizovani** uređaji u jedinici za proizvodnju toplote. U tom slučaju koristi se samo jedna ili nekoliko toplotnih pumpi. Takođe, ovi uređaji mogu biti i **decentralizovani**, pri čemu se nalaze u toplotnim podstanicama potrošača. U tom slučaju, svaki priključak se sastoji od toplotne pumpe male snage i izmjenjivača toplote u toplotnoj podstani. Ovaj koncept se koristi kada je temperatura distribucije u SDG niska (zbog povećanja efikasnosti), a potrebno je i obezbediti PTV. Primeri toplotnih pumpi u modularnim SDGH (kao centralizovani i decentralizovani uređaji) mogu se videti u izveštaju o primerima najbolje prakse (Laurberg Jensen et al. 2016).

Toplotne pumpe koriste istu tehnologiju kao i električni hladnjaci (vidi poglavlje 7.2), sa razlikom što prenose toplotu sa područja niže temperature na područje više temperature, korišćenjem rashladnog sredstva (radnog fluida). Toplotne pumpe „uzimaju“ toplotu iz okoline (izvor toplote) i podižu joj temperaturu u zatvorenom procesu. Taj proces, prema prvom zakonu termodinamike, zahteva dodatnu energiju (u vidu toplote ili električne energije), s obzirom da toplota ne može sama od sebe prelaziti sa područja niže temperature na područje više temperature. Shemu rada toplotne pumpe (levokružni ciklus) prikazuje Slika 24.

Glavna prednost toplotne pumpe je mogućnost korišćenja energije iz okoline ili otpadne toplote, koja bi se u konvencionalnim procesima proizvodnje toplote izgubila. Izvor toplote mora biti dostupan i zadovoljavati određene parametre. Na primjer, idealno je da temperatura izvora toplote bude konstantna jer će njena promena uticati na efikasnost toplotne pumpe.

Izvori toplote mogu biti vazduh, voda (jezera, mora, reke) ili podzemna voda, zemlja ili otpadna toplota iz industrije. Standardne prosečne temperature vazduha u severnoj Evropi iznose oko 8°C, dok su u južnoj Evropi iznad 10 °C. Ove temperature slične su temperaturama tla ili podzemnih voda. Otpadna toplota iz industrijskih procesa ima znatno višu temperaturu, koja može biti dovoljno visoka da nije potrebno koristiti toplotne pumpe. U nekim slučajevima, toplota se u toplotnu pumpu dovodi putem sekundarnog kruga vode ili glikola, međutim za optimalni učinak toplotne pumpe, izvor toplote treba biti direktno spojen na isparivač.

Toplotne pumpe kategorišu se zavisno od konstrukcije ili načina rada, na:

- **Kompresione toplotne pumpe:** Izvor energije za kompresor je električna energija ili prirodni gas
- **Sorpcione toplotne pumpe:** Izvor energije je prirodni gas ili toplota: apsorpcijske i adsorpcijske toplotne pumpe

Obe kategorije toplotnih pumpa zahtevaju izvor toplote (u sektoru domaćinstva je to najčešće niskotemperaturni izvor poput vazduha ili tla) kao i potrebnu energiju za odvijanje procesa. Energija za odvijanje procesa je električna energija ili motor, tj. gorivo (kod kompresionih toplotnih pumpi) i toplota – npr. para, topla voda ili dimni gasovi (apsorpcione toplotne pumpe). Apsorpcione toplotne pumpe takođe troše i male količine električne energije za pogon cirkulacione pumpe.

Toplotne pumpe takođe se razlikuju zavisno od izvora toplote i prema načinu distribucije toplote u zgradi.

- **Toplotne pumpe vazduh-vazduh** koriste toplotu iz spoljnog vazduha koju predaju korisniku preko izmjenjivača toplote unutrašnjem (ambijentalnom) vazduhu.
- **Toplotne pumpe vazduh-voda** koriste toplotu iz spoljnog vazduha koju predaju korisniku preko hidrauličkog distribucijskog sistema (radijator, konvektor, podno grejanje).
- **Toplotne pumpe zemlja-voda** uglavnom koriste toplotu zemlje koju predaju korisniku preko hidrauličkog sistema (radijator, podno grejanje, itd.)



Slika 23. Toplotna pumpa koja koristi podzemne vode kao izvor toplote (instalirana snaga 440 kW) u malom SDG sa solarnim kolektorima u Dollnsteinu, Nemačka (Izvor: Rutz D.)

Efikasnost toplote pumpe izražava se **faktorom učinka** (eng. "**Coefficient of Performance**" – COP), koji prikazuje odnos dobijene toplote i utrošene pogonske energije (gorivo u sorpcionim toplotnim pumpama a električna energija u kompresorskim toplotnim pumpama). Kada je faktor učinka 3, toplotna pumpa daje 3 puta više toplote nego što je potrošila pogonske energije, a dve trećine toplote je preuzeto na spoljnom izmjenjivaču toplote.

Zavisno od instalirane snage, izvora toplote, potrebama za grejanjem, temperaturama i ostalim važnim parametrima, mogu se koristiti različite vrste toplotnih pumpi. Važna tehnička karakteristika toplotne pumpe je **rashladno sredstvo**. Fizička svojstva rashladnog sredstva su uglavnom određena temperaturom ključanja rashladnog sredstva, imajući u vidu da je promena agregatnog stanja iz tečnog u gasovito ključno svojstvo procesa. Postoje razne vrste rashladnih sredstava, poput fluoro-ugljovodonika (HFC) i hloro-fluoro-ugljikovodonika (HCFC). Ostala rashladna sredstva opisana su u sledećim pasusima.

Toplotne pumpe koje koriste **CO<sub>2</sub>** zahtevaju takozvane transkriticne radne parametre s izuzetno visokim pritiskom pri kondenzaciji, što znači da radni fluid isparava na konstantnoj temperaturi, a kondenzuje se uz pojavu klizanja temperature. Samim tim je CO<sub>2</sub> naročito prikladan za korišćenje toplote iz niskotemperaturnog izvora pri čemu se izvor hladi za samo nekoliko stepeni. Maksimalna izlazna temperatura sistema koji koriste CO<sub>2</sub> iznosi oko 90°C. Kako bi se ostvarile visoke vrednosti faktora učinka u ovim sistemima, ulazna temperatura grejanog medijuma ne bi smela biti veća od oko 40°C. Na primer, deo SDG u Marstalu u Danskoj je toplotna pumpa snage 1,5 MW, koja koristi CO<sub>2</sub> kao radni fluid. Maksimalna temperatura je 75°C.

**Amonijak** je često korišćena radni fluidu industriji, a naročito u najvećim postrojenjima gde se postižu visoke temperature radno gfluida (oko 95°C). Iz tog razloga je potrebno koristiti posebne komponente zbog visokih pritisaka. Amonijak se takođe može koristiti za postizanje nižih temperatura pri čemu se smanjuju investicijski troškovi (korišćenje standardizovanih delova) i povećava faktor učinka. Primeri postrojenja koja koriste toplotne pumpe sa amonijakom su SDG u Drammenu, Norveška (15 MW – maksimalna temperatura 90°C), postrojenje za proizvodnju papira u Skjernu, Danska (4 MW – maksimalna temperatura 90°C) i SDG Bjerringbrou, Danska (3,7 MW – maksimalna temperatura 70°C).

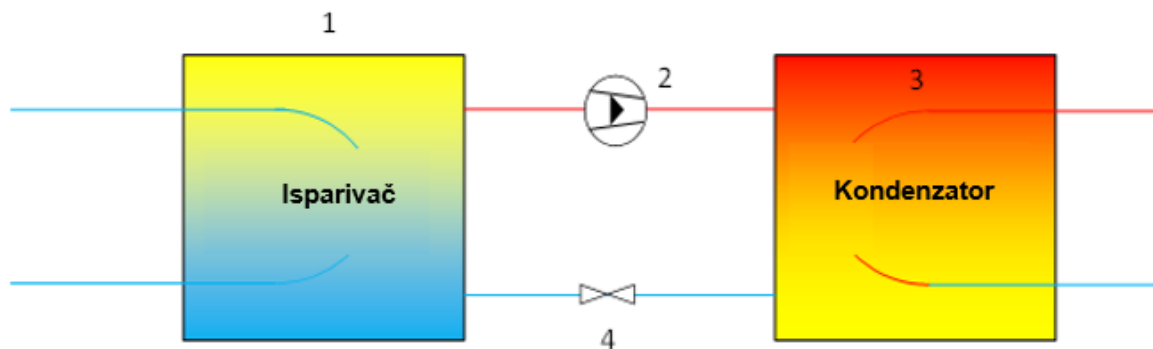
**Litijum bromid(LiBr)/Voda** koriste se u apsorpcionim toplotnim pumpama, dok se kombinacija amonijak/voda koristi u apsorpcionim rashladnim uređajima. Voda se koristi kao radni fluid što znači da je radni pritisak negativan. Najniža temperatura na strani toplotnog izvora je oko 6°C, dok temperatura toplotnog ponora može biti oko 85°C. Temperature sumedusobno povezane, što znači da niska temperatura izvora može ograničiti maksimalnu

temperaturu ponora. Za sisteme u kojima je nužno značajno povisiti temperaturu, mogu se koristiti toplotne pumpe sa više kompresionih stepena. Primeri postrojenja koja koriste toplotne pumpe sa rastvorom litijum bromid/voda su SDG u Bjerringbrou (0,9 MW (hlađenje) – maksimalna temperatura 70°C) i u Vestforbraendingu, Danska (13 MW (hlađenje) – maksimalna temperatura 80°C).

Efikasnost toplotnih pumpi može se povećati ukoliko se u isto vreme koriste i za grejanje i za hlađenje, kako bi se smanjili toplotni gubici. Kako bi se smanjile razlike pritiska, a samim tim i potreban mehanički rad, mogu se koristiti rashlađivači ulja ili drugi rashlađivači. Takođe mogu se koristiti i visokoeffikasni motori hlađeni vodom ili radnim fluidom.

### 3.6.1 Kompresionetoplotne pumpe

Osnovni princip kompresione toplotne pumpe prikazuje Slika 24. Toplotne pumpe uključuju deo sa niskim i visokim pritiskom, što odgovara pritisku radnog fluida koji cirkulše u toplotnoj pumpi. U delu sa niskim pritiskom preuzima setoplota iz toplotnog izvora. U ovom delu dolazi do isparavanja radnog fluida (1. korak - Slika 24). To znači da se toplotni izvor hladi. U kompresorskim toplotnim pumpama se pritisak radnog fluida, a samim tim i temperatura, podiže pomoću kompresora (2. korak). Voda iz sistema grejanja zatim se koristi za hlađenje radnog fluida (3. korak) čime raste temperatura vode (u sistemima sa vazduhom za ovaj korak koristi se vazduh). Pritisak u delu sa visokim pritiskom reguliše se ekspanzionim ventilom (4. korak) pa se na taj način omogućava kontinuirani tok radnog fluida u procesu.



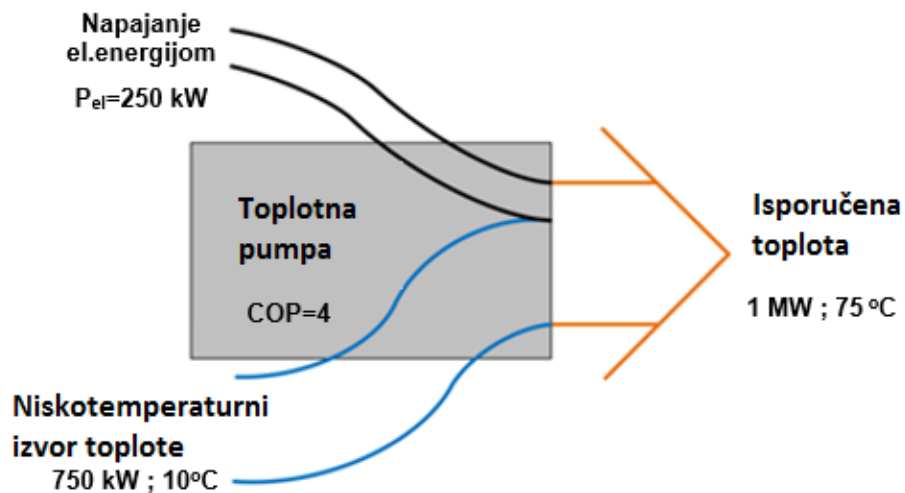
1: Isparivač, 2: kompresor, 3: kondenzator, 4: prigušni ventil

**Slika 24. Prikaz rada kompresorske toplotne pumpe. Toplotna pumpa pokretana motorom radi na sličan način, s obzirom da kompresor može biti pokretan motorom ili električnom energijom. Glavna razlika u odnosu na apsorpcione toplotne pumpe je način regeneracije radnog fluida (Izvor: Danish Energy Agency & Energinet.dk, 2015)**

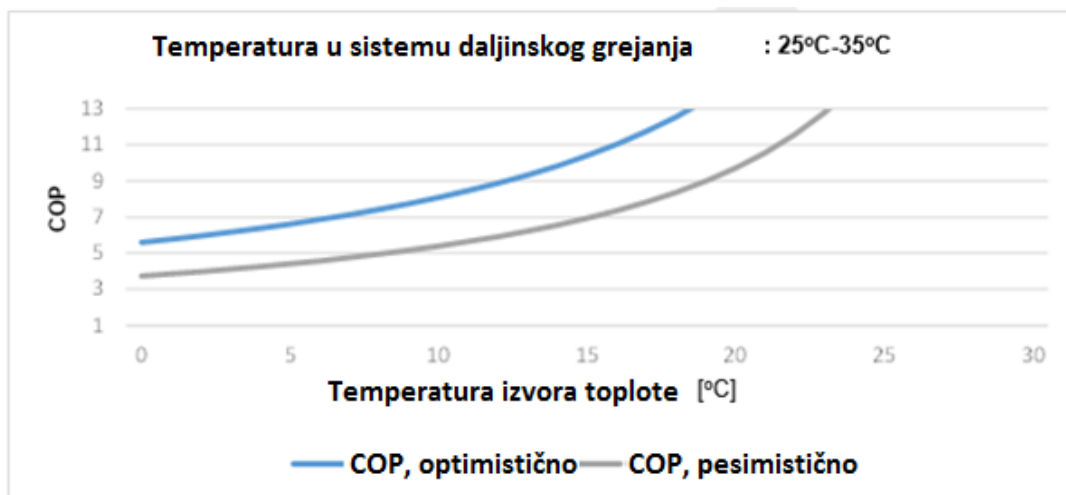
Za kompresione toplotne pumpe, faktor učinka iznosi najčešće 3-5. Ovaj faktor zavisi od efikasnosti svake pojedinačne toplotne pumpe, temperature toplotnog izvora i ponora kao i od temperaturne razlike između toplotnog izvora i ponora. Energetski tok ovih sistema prikazuje Slika 25 (Sankijev dijagram).

U SDG temperatura toplotnog izvora u stvari je temperatura okoline, dok je temperatura ponora temperatura vode u SDG. Zbog toga je očigledno da efikasnost toplotne pumpe zavisi od lokalnih uslova. Upravo se zato za izračunavanje efikasnosti ovih sistema koristi sezonski faktor učinka (eng. Seasonal Coefficient Of Performance – SCOP). U sledećim dijagramima faktor učinka kompresione toplotne pumpe prikazuje se kao funkcija temperature toplotnog izvora.

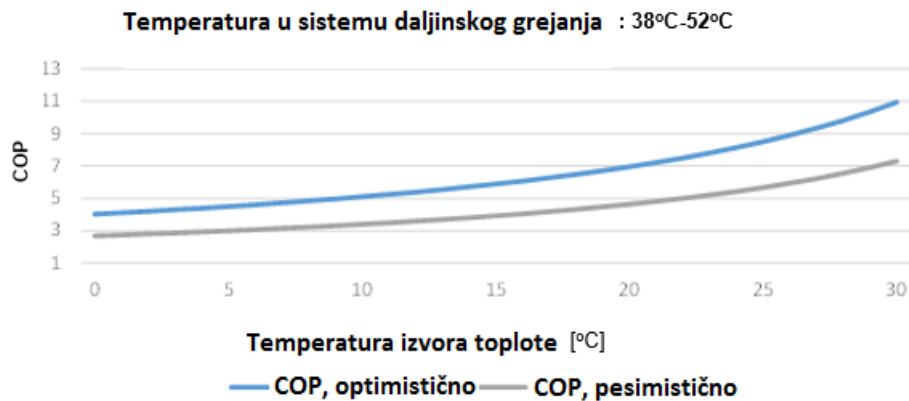




Slika 25. Sankijev dijagram za toplotnu pumpu snage 1 MW; instalirana električna snaga od 250 kW omogućava iskorišćavanje 750 kW toplote iz niskotemperaturnog izvora (10 °C) i predaje 1 MW toplote na 75°C (COP=4) (Izvor: Danish Energy Agency & Energinet.dk, 2015)



Slika 26. Faktor učinka toplotne pumpe kao funkcija temperature toplotnog izvora. Temperature SDG: 25-35°C (povrat-polaz), u svim radnim tačkama je hlađenje toplotnog izvora 5°C. Donja Lorencova efikasnost =40%, Gornja Lorencova efikasnost =60% (Izvor: Danish Energy Agency & Energinet.dk, 2016)



**Slika 27.** Faktor učinka toplotne pumpe kao funkcija temperature toplotnog izvora. Temperature SDG: 38-52°C (povrat-polaz), u svim radnim tačkama je hlađenje toplotnog izvora 5°C. Donja Lorencova efikasnost =40%, Gornja Lorencova efikasnost =60%(Izvor: Danish Energy Agency & Energinet.dk, 2016)

Slika 26 i Slika 27 prikazuju da temperature u mreži SDG (i razlika između polazne i povratne temperature) imaju presudan uticaj na faktor učinka toplotne pumpe. Temperaturni raspon toplotnog izvora je odabran zavisno od pretpostavljenih radnih tačaka. Potrebno je imati u vidu da polazna i povratna temperatura mreže SDG zavisi od lokalnih uslova, kao što su materijali korišćeni za izgradnju zgrada, postojeće regulative vezane za zgradarstvo, temperaturu kojom se postiže komfor grejanja, itd. Ove karakteristike se razlikuju od države do države. Temperature prikazane na slikama (Slika 26 i Slika 27) odabrane su kako bi se ilustrovale razlike između standardnih temperatura u zgradi sa podnim grejanjem (25-35°C) i modernim radijatorskim sistemom (38-52°C).

Ukoliko se koriste toplotne pumpe velikih snaga u SDG, primenjuju se ista pravila vezana za temperature. Što je niža polazna temperatura, viši je faktor učinka pa je samim tim niža cena toplote. Promenljiva polazna temperatura omogućava optimizaciju troškova povezanih sa snabdevanjem toplotom.

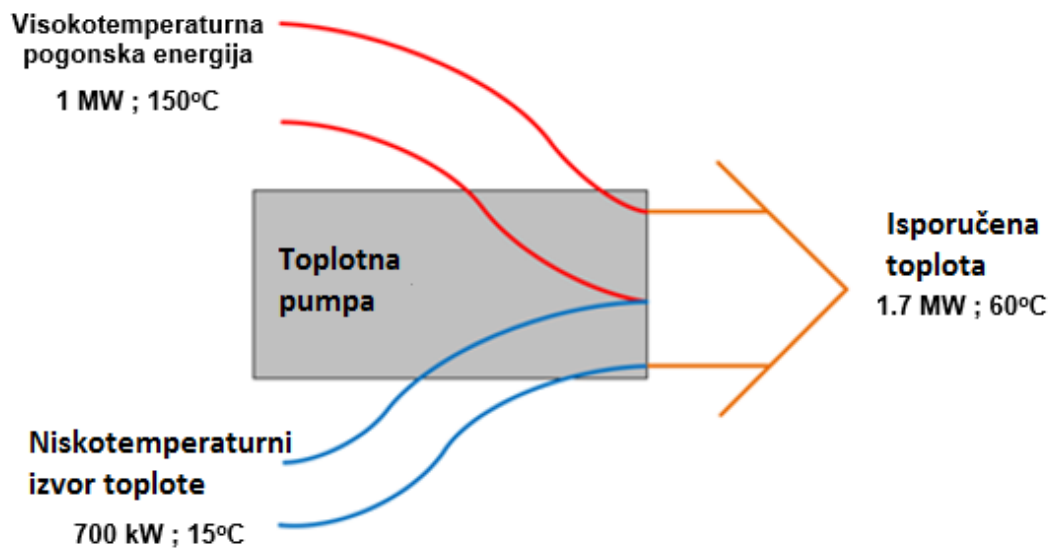
Kompresorske toplotne pumpe pokretane električnom energijom ne ispuštaju emisije s obzirom da ne sagorevaju gorivo. To znači da se ovi sistemi mogu postaviti u područjima gde postoje ograničenja u pogledu emisija. Međutim, stvarni faktor primarne energije zavisi od načina proizvodnje električne energije (tj. da li se koriste fosilna goriva, nuklearna energija, obnovljivi izvori, itd.) što se menja od države do države, a takođe i tokom vremena.

U energetskim sistemima u kojima električna energija igra važnu ulogu, kompresorske toplotne pumpe mogu integrisati sisteme snabdevanja električnom energijom toplotom na vrlo efikasan način. U sistemima koji koriste električnu energiju za grejanje, toplotne pumpe smanjuju potrošnju električne energije i opterećenje električne mreže.

### 3.6.2 Sorpcione toplotne pumpe

**Apsorpcione toplotne pumpe** ne koriste električnu energiju za pokretanje procesa nego izvor toplote koji predstavlja procesnu toplotu. Ta toplota regeneriše radni fluid koji isparava na niskim temperaturama i na taj način iskorišćava niskotemperaturnu toplotu. Temperatura dobijene energije ne može biti viša od temperature pogonske toplote niti niža od temperature niskotemperaturnog toplotnog izvora. U teoriji, 1 kJ toplote može regenerisati 1 kJ radnog fluida, što znači da maksimalni faktor učinka apsorpcione toplotne pumpe oko 2. Zbog gubitaka u sistemu, stvarni faktor učinka iznosi oko 1,7. Faktor učinka apsorpcionih toplotnih pumpi ne zavisi od temperature. Potrebno je osigurati određenu temperaturnu razliku za pokretanje procesa, međutim kada se ti uslovi postignu, faktor učinka će iznositi oko 1,7 i

neće zavisiti od promeni temperature energije korišćene za pokretanje procesa. Energetski tok apsorpcione toplotne pumpe dat je Sankejevim dijagramom, Slika 28.



Slika 28. Sankijev dijagram apsorpcione toplotne pumpe snage 1,7 MW. Visokotemperaturna energija za pokretanje procesa (1 MW) omogućava iskorišćavanje 700 kW toplote iz niskotemperaturnog toplotnog izvora (15°C). Ukupna proizvodnja toplote je 1,7 MW na 60°C (faktor učinka je 1,7) (Izvor: Danish Energy Agency & Energinet.dk, 2015)

Princip rada **adsorpcionih toplotnih pumpi** sličan je principu rada apsorpcionih toplotnih pumpi. Međutim, glavna razlika je da se kod adsorpcionih toplotnih pumpi koristi sorpcija u čvrstoj materiji dok se kod apsorpcionih toplotnih pumpi koristi sorpcija u fluidima. Najčešće kombinacije materijala u adsorpcionim toplotnim pumpama su:

- Zeolit – voda
- Silikatni gel – voda
- Aktivni ugalj – metanol
- Aktivni ugalj/so - amonijak

### 3.6.3 Poređenje toplotnih pumpi

Ekonomske karakteristike kompresorskih i sorpcionih toplotnih pumpi, uvek se moraju porediti uzimajući u obzir sve ekonomske parametre, tj. investicione troškove i operativne troškove svih komponenti u predloženim alternativama. Razlog tome su potencijalne razlike u dimenzionisanju izvora toplote, kao što je prikazano u sledećoj tabeli. Toplotni izvori za sorpcionu toplotnu pumpu mogu biti manjeg kapaciteta nego za kompresionu toplotnu pumpu, sa obzirom da energija za pokretanje u sorpcionim toplotnim pumpama obezbeđuje veću količinu ukupne energije na ulazu.

Tabela 1. Prednosti i nedostaci različitih vrsta toplotnih pumpi (Izvor: PlanEnergi)

Toplotna pumpa	Prednosti	Nedostaci
<b>Električna/vazduh-vazduh</b>	<p>Može se koristiti u zgradama koje nemaju centralni radijatorski sistem grejanja</p> <p>Jednostavna ugradnja, nisu potrebni nikakvi radovi na zemlji</p> <p>Niski investicioni troškovi</p> <p>Inverterske toplotne pumpe vazduh-vazduh mogu pokriti potrebe za grejanjem i za hlađenjem</p>	<p>Generalno je teško istovremeno zadovoljiti postojanje optimalnih uslova rada i visokih toplotnih potreba</p> <p>Svaka soba mora imati svoj uređaj</p> <p>U periodima visoke vlage u vazduhu i niske temperature, moguće je stvaranje leda na spoljnoj jedinici čime se smanjuje efikasnost</p> <p>Jeftiniji proizvodi mogu biti vrlo bučni</p>
<b>Električna/vazduh-voda</b>	<p>Veći faktor učinka u sezoni grejanja nego kod toplotnih pumpi vazduh-vazduh</p> <p>Jednostavnija ugradnja nego za npr. toplotne pumpe koje koriste zemlju kao izvor toplote</p>	<p>Jeftiniji proizvodi mogu biti vrlo bučni</p> <p>Efikasnost zavisi od temperature okoline i polazne temperature u sistemu grejanja. Dakle sistem ima najmanju efikasnost za vreme niskih temperatura okoline, kada je potreba za grejanjem najveća.</p> <p>Većina uređaja ima maksimalnu izlaznu temperaturu 55-60°C, pa je zbog toga potreban kontinuirani tok vode za postizanje viših temperatura ili pokrivanje vršnih opterećenja</p> <p>Za postizanje visokog sezonskog faktora učinka, potrebno je napraviti izmene na postojećem sistemu (tj. potrebne su dodatne investicije)</p>
<b>Električna/zemlja-voda</b>	<p>Veći faktor učinka u sezoni grejanja nego kod toplotnih pumpi vazduh-vazduh i vazduh-voda</p> <p>Manje promene faktora učinka tokom godine</p> <p>Jedan uređaj može pokriti potrebe za grejanjem i pripremom PTV</p> <p>Nema problema sa glasnom spoljnom jedinicom</p>	<p>Najskuplja električna toplotna pumpa</p> <p>Potrebna je dodatna investicija za bušotinu</p> <p>Za postizanje visokog sezonskog faktora učinka potrebno je napraviti izmene na postojećem sistemu (tj. potrebne su dodatne investicije)</p>
<b>Električna/podzemna voda</b>	<p>Toplotni izvor ima gotovo konstantnu temperaturu cele godine pa faktor učinka praktični ne zavisi od izvora toplotne</p> <p>Ostale prednosti su iste kao i za toplotnu pumpu zemlja-voda</p>	<p>Visoki investicioni troškovi</p> <p>Korišćenje podzemnih voda za energetske potrebe može biti ograničeno u nekim državama</p> <p>Najbliži rezervoar podzemne vode može se nalaziti pređuboko za izradu jednostavne bušotine</p> <p>Moraju se preduzeti mere predostrožnosti kako bi se sprečilo zagađenje podzemnih voda</p>

<b>Električna/ventilacija, vazduh</b>	Omogućuje smanjenje potrošnje goriva jer se deo otpadne toplote, koji bi inače biopredat u okolinu, regeneriše.	Zahteva ventilacioni sistem koji može biti skup ili prezahtevan za izvođenje u postojećim zgradama  Toplotni kapacitet je ograničen količinom otpadne toplote iz zgrade, a nemoguće je sprečiti sve gubitke energije
<b>Sorpciona, apsorpcija</b>	Poznata tehnologija za npr. zamenu postojećih gasnih kotlova  Manja potrošnja prirodnog gasa nego kod npr. kotlova	Vrlo ograničen broj proizvoda na tržištu
<b>Sorpciona, adsorpcija</b>	Jednostavno je koristiti kao zamenu za gasne kotlove  GWP indeks (potencijal globalnog zagrevanja) zeolita (radnog fluida) iznosi 0. Većina ostalih radnih elemenata ima pozitivan GWP indeks	Donja granica ulazne temperature je oko 2°C, tj. potrebno je koristiti solarne kolektore ili zemlju kako bi se osigurala dovoljno visoka ulazna temperatura  Malo veća potrošnja goriva nego kod npr. apsorpcionih toplotnih pumpi  Vrlo ograničen broj proizvoda na tržištu i manjak iskustva u radu ovih sistema
<b>Kompresor pokretan gasnim motorom</b>	Poznata tehnologija korišćena u komercijalne svrhe  Visoki sezonski faktor učinka u poređenju sa ostalim sorpcionim toplotnim pumpama. Zbog toga je ovo dobra tehnologija kada je potrebno i hlađenje	Trenutno je razvoj ove tehnologije fokusiran na komercijalnu primjenu  Motor može biti bučan

### 3.7 Vršni i zamenski kotlovi

Ovaj priručnik se koncentriše na obnovljive izvore energije u malim SDG. Međutim, kako bi se projekti finansijski isplatili, ponekad je potrebno uz obnovljive izvore koristiti i kotlove na fosilna goriva kako bi pokrivali vršna opterećenja u sistemu.

**Vršni kotlovi** su kotlovi koji se pale samo ako sve ostale komponente sustava ne mogu zadovoljiti vršno opterećenje u sistemu. 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 celokupni projekt postaje isplativ. Ovi kotlovi takođe mogu koristiti biometan kao zamenu za prirodni gas (vidi poglavlje 3.2.5) ili biljna ulja kao zamenu za lož ulje (vidi poglavlje 3.2.6).

U slučaju da ostale komponente SDG zakažu, mogu se koristiti **zamenski kotlovi** kako bi se osiguralo snabdevanje toplotom. Ovi kotlovi mogu koristiti lož ulje ili prirodni gas kao gorivo. Zavisno od dizajnasistema poslovnog modela koji se koristi, zamenski kotlovi mogu biti ugrađeni na samoj lokaciji postrojenja ili na lokaciji drugog snadevača toplotom koji ih pokreće u slučaju nužde.

U nekim malim SDG, naročito ako se koristi otpadna toplota iz biogasnog postrojenja, operator distributivne mreže garantujesamo pokrivanje baznog opterećenja, a ne celokupnog opterećenja. Korišćenjem ovog poslovnog modela, korisnici imaju nižu cenu toplote jer im se ne garantuje snabdevanje toplotom. Iz tog razloga korisnici moraju imati i određenu vrstu

zamenskog ili vršnog kotla u vlastitim zgradama. Ovaj specifični slučaj opisan je u Rutz et al. (2015).



**Slika40. Vršni kotao na lož ulje u sklopu biogasnog postrojenja u Nemačkoj (levo) i gasni kotlovi (desno) u sklopu postrojenja na biomasu u Češkoj (Izvor: RutzD.)**

## 4 Tehnologije za skladištenje toplote

Tehnologije za skladištenje energije omogućavaju razdvajanje međusobno povezane proizvodnje i potrošnje i balansiranje varijabilnosti u proizvodnji energije. Povećavaju fleksibilnost sistema sa većim udelima varijabilnih (obnovljivih) izvora energije. Takođe poseduju mogućnost skladištenja relativno jeftine električne energije koja se pretvara u toplotu. Skladišta energije takođe povećavaju i efikasnost proizvodnih postrojenja omogućavajući kotlovima na biomasu i kogeneracijskim postrojenjima duži period rada u optimalnoj radnoj tački.

Glavna svrha skladištenja je omogućavanje proizvodnje u optimalnim ili što povoljnijim uslovima kao što je to proizvodnja toplote putem solarnih kolektora ili električne energije u vreme kada je otkupna cena viša od cene proizvodnje. Veličina skladišta takođe najviše zavisi od zahtevanog trajanja uskladištenja i kapaciteta.

Zavisno od trenutka kada uskladištena energija mora biti raspoloživa, skladišta toplote dele se na skladišta za **kratkoročno** i **sezonsko** skladištenje toplote. Skladišta za kratkoročno skladištenje energije balansiraju proizvodnju i potrošnju od nekoliko sati do nekoliko dana. Takvaskladišta još su poznata i pod nazivom skladišta za balansiranje ili „eng. buffer“ skladišta. Sezonska skladišta imaju znatno veće kapacitete paimaju mogućnost međusezonskog balansiranja proizvodnje i potrošnje. Pretežno se primenjuju za skladištenje toplote iz solarnih kolektora.

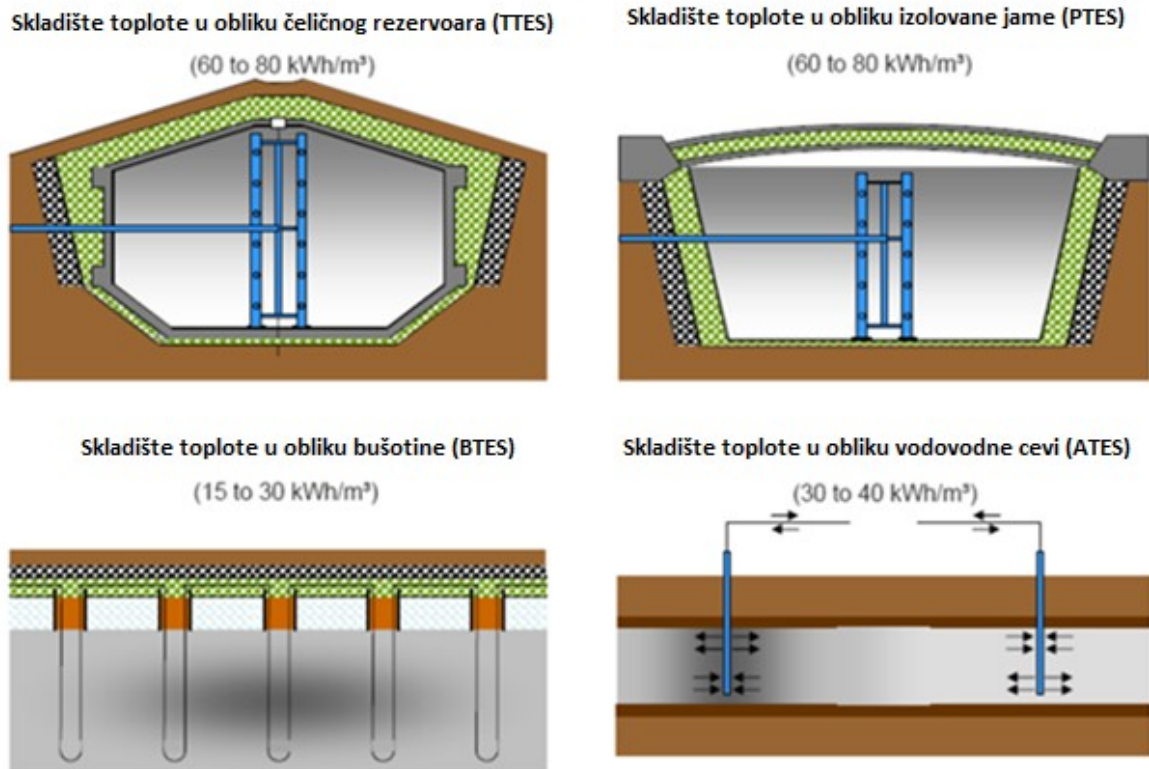
Tipovi tehnologija za skladištenje energije:

- **Skladištenje toplote:** iskorišćava toplotni kapacitet medijuma za skladištenje. Najčešće je to voda koja ima izrazito visok specifični toplotni kapacitet, nije toksična i relativno je jeftina s obzirom na ostale medije.
- **Skladištenje latentne toplote:** koristi latentnu toplotu medijuma koja se oslobađa prilikom fazne promene na određenoj temperaturi. Najčešće se koriste fazno promjenljivi materijali.
- **Termohemijsko skladištenje toplote:** iskorišćava toplotu uskladištenu u reverzibilnim hemijskim reakcijama.
- **Sorpciono skladištenje toplote:** koristi toplotu ad- ili apsorpcije kombinacije materijala poput zeolita i vode (adsorpcija) ili vode i litijum-bromida (apsorpcija).

Kod **skladišta toplote**, temperatura materijala raste sa dovođenjem toplote. Toplota se skladišti u radnom medijumu a svojstva skladišta zavise od materijala, toplotnog kapaciteta i toplotnoj izolaciji sistema. U većini slučajeva kao radni medijum koristi se voda. Ova tehnologija poznata je široj javnosti iz primene skladišta za toplu vodu u domaćinstvima. To je ujedno i najkorišćeniji sistem za skladištenje koji je detaljnije opisan u poglavljima 4.1 i 4.2.

Najkorišćenije tehnologije za skladištenje (osetne) toplote su (Slika 29):

- **Skladište toplote u obliku čeličnog rezervoara** (TTES, eng. Tank thermal energy storage), uglavnom za dnevne potrebe skladištenja
- **Skladište toplote u obliku izolovane jame** (PTES, eng. Pit thermal energy storage), za dnevne ili sezonske potrebe skladištenja
- **Skladište toplote u obliku bušotine** (BTES, eng. Borehole thermal energy storage) za dnevne ili sezonske potrebe skladištenja
- **Skladište toplote u obliku vodovodne cevi** (ATES, eng. Aquifer thermal energy storage): za dnevne ili sezonske potrebe skladištenja



Slika 29. Postojeći koncepti za skladištenje toplote (Izvor: Steinbeis Forschungsinstitut Solites)

**Skladišta latentne toplote** koriste **fazno promenljive materijale** koji usled dovođenja toplote prelaze u drugu fazu. Kod promene faze (što je u praksi najčešće slučaj) toplota se skladišti u promenjenoj fazi (npr. voda – led). Oslobođanje toplote odvija se inverznom transformacijom. Svojstva takvog skladišta zavise od latentne toplote i toplotne izolacije.

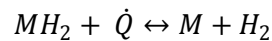
Specijalna primena skladišta toplote korišćenjem PCM (eng. Phase change material) materijala su mobilni kontejneri (Slika 30). Njihova primena opravdana je u situacijama gde je pristup SDG ograničen, zbog prevelike udaljenosti od magistralnog voda ili u potpunosti onemogućen zbog zakonskog ili nekog drugog specifičnog okvira. Važno je napomenuti da ova tehnologija nije u široj primeni pa svega nekoliko kompanija širom sveta nudi uslugu skladištenjatoplate u kontejnerima.

Visokotemperaturna (eng. High Temperature) skladišta latentne toplote (HT-LHS) kod kojih se skladištenje odvija na temperaturi višoj od 300°C i niskotemperaturna (eng. Low Temperature) skladišta latentne toplote (LT-LHS) kod kojih se skladištenje odvija na temperaturi ispod 0°C zajedno sa tradicionalnim skladištima PCM kod kojih se skladištenje odvija u temperaturnom rasponu od 0 do 300°C uobičajeni su primeri ove vrste skladišta.

Kod termohemijskih skladišta toplote odvija se inverzni hemijski proces koji za skladištenje toplote koristi promenu entalpije sistema. Primer iz prakse su metal-hidridi a inverzna hemijska reakciju prikazuje Jednačina 1.

Kapacitet termohemijskih skladišta zavisi od promene entalpije a gubici se vremenom svedu na nulu ukoliko se odvijanje inverznog procesa spreči mehaničkom izolacijom novonastalog gasa zatvaranjem ventila. Regeneracija toplote postiže se otvaranjem ventila čime se omogućava odvijanje inverzne reakcije.





Jednačina 2

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

$M$  Metal

$H_2$  Vodonik



Slika 30. Kontejner za skladištenje toplote u spalionici otpada (Augsburg, Nemačka) (Source: Rutz D.)

**Sorpciono skladište toplote** koristi toplotu ad- ili apsorpcije kombinacije materijala poput zeolita i vode (adsorpcija) ili voda litijum bromid (apsorpcija). Privukli su mnogo pažnje zbog visoke gustine energije i sposobnosti dugotrajnog skladištenja toplote.

#### 4.1 **Kratkoročno skladištenje toplote**

Postoji niz tehnologija za kratkoročnoskladištenje toplote koji zavisno od primene optimizuju proizvodnju toplote za potrebe grejanja i hlađenja. Najkorišćeniji su i dalje **skladišta toplote u obliku čeličnog rezervoara**.

Skladišta toplote u obliku rezervoara najčešće su od nerđajućeg čelika, betona ili plastike ojačane staklenim vlaknima. Pretežno su ispunjena vodom a veličina im zavisi od ukupne veličine sistema. Manja skladišta od nekoliko stotina litara većinom se primenjuju u domaćinstvima dok se velikaskladišta od nekoliko stotina metara kubnih primenjuju u sklopu SDG. Debljina i vrsta izolacije zavise od klimatskih uslova, temperaturnog režima i namene. Većina takvih skladišta koja se koriste u sklopu Danskih SDG izolovano je mineralnom vunom debljine između 30 – 45 cm, prvenstveno za smanjenje toplotnih gubitaka kako prikazuje Slika 31.



Slika 31. Izgradnja dva nova skladišta toplote u obliku čeličnog rezervoara u SDG Hjallerup (levo) i izgradnja iste vrste skladišta toplot povezanog sa solarnim kolektorima i kotlom na slamu. Više o SDG u Hjallerupu može se saznati u izveštaju o primerima najbolje prakse Laurberg Jensen et al.(2016) (Izvor: <http://www.hjallerupfjernvarme.dk>)

Temperaturni režim uskladištima toplote zavisi od namene obuhvata široki raspon. U SDG gornja granica temperature jednaka je polaznoj temperaturi mreže SDG, dok je u SDH (Sistem Daljinskog Hlađenja) situacija obrnuta i gde je donja granica jednaka polaznoj temperaturi mreže SDH.

Kapacitet skladišta zavisi od temperaturnog režima samog skladišta. Kapacitet skladištenja toplote daje Jednačina3 odakle je vidljivo da je za konstantnu masu radnog medijuma kapacitet skladištenja toplote proporcionalan temperaturnoj razlici.

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad \text{Jednačina3}$$

$Q$  uskladištena toplota

$m$  masa radnog medijuma

$c_p$  specifični toplotni kapacitet radnog medijuma

$\Delta T$  temperaturna razlika minimalne i maksimalne temperature radnog medijuma u skladištu.

Voda je najrasprostranjeniji radni medijum za skladištenje toplote pri temperaturama nižim od 100 °C. Vodu pod pritiskom moguće je koristiti i za temperature iznad 100°C. Voda je većinom prvi izbor zbog velikog broja prednosti. Glavne prednosti su netoksičnost, dobra fizička svojstva, visoki specifični toplotni kapacitet i relativno niska cena u odnosu na ostale radne medijume. Specifični toplotni kapacitet vode iznosi 4,18 kJ/(kgK) što je znatno više od ostalih veoma dostupnih materijala poput peska, gvožđa i betona.

Dolazna temperatura radnog medijuma u skladište toplote uglavnom je jednaka polaznoj temperaturi proizvodnih postrojenja u SDG. U većini slučajevaskladište toplote ima mogućnost isporuke toplote prema zadatim parametrima polaznog voda mreže SDG. Temperaturni gradijent unutar spremnika održava se pomoću sistema cevi koji omogućava efikasno skladištenje.

Vertikalna distribucija u temperaturne slojeve omogućava izvlačenje najtoplije vode sa vrha skladišta. Ta pojava poznata je još i pod nazivom **temperaturna stratifikacija**. Neka skladišta toplote imaju nekoliko priključaka, od kojih se većina koristi za napajanje potrošača sa različitim temperaturnim režimima. Upotreba takvih skladišta toplote omogućava izvlačenje toplotena nižoj temperaturi iz srednjih temperaturnih slojeva uz istovremeno održavanje visoke temperature na vrhu skladišta. To je izuzetno korisno kod vrlo velikih skladišta toplote kod kojih je vrlo važno održavanje konstantne temperaturne stratifikacije. Povoljnu temperaturnu stratifikaciju obeležava velika temperaturna razlika po visini spremnika. Time se izbegava situacija u kojoj se unutar skladišta nalazi veliki volumen preniske temperature radnog medijuma.

Skladište toplote u obliku čeličnih rezervoara naj rasprostranjenija su tehnologija koja se koristi u okviru gotovo 300 Danskih SDG. Najčešće su cilindričnog oblika smešteni na nadzemnoj platformi, ali postoje i podzemne varijante gde je skladište toplote ukopano u zemlju. Primer takvih podzemnih skladišta toplote je Nemačka gde se koriste u sklopu manjih solarnih SDG. U slučaju ugradnje nadzemnih skladišta toplote zauzeta je velika površina koja je u slučaju ugradnje podzemnih slobodna za drugu namenu.

Cilindrična čelična skladišta toplote prvobitno su korišćena u Danskoj u sklopu kogeneracionih postrojenja za maksimiziranje profita u vreme povišene cene električne energije. Prosečno skladište ima zapreminu od 3 000 m<sup>3</sup> a ukupni kapacitet svih takvih skladišta u Danskoj je oko 50 GWh. Zbog sve veće proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora poput sunca i vetra, broj sati rada kogeneracionih postrojenja je u padu. Danas se ovakva skladišta koriste za skladištenje solarne energije i često uz nadogradnju sa dodatnim kapacitetima za skladištenje toplote. Skladišta toplote takođe pomažu pri optimizaciji rada ostalih proizvodnih postrojenja poput kotlova na biomasu.

#### **4.2 Sezonsko skladištenje toplote**

Sezonsko skladište toplote omogućava među sezonsku interakciju proizvodnje i potrošnje. Pretežno se koriste za skladištenje toplote iz solarnih kolektora za vreme toplih, letnjih meseci, koja se koristi za grejanje i pripremu PTV zimi. Sezonsko skladište omogućava zadovoljavanje potrošnje sa većim udelom solarne energije, ali specifični investicioni troškovi su im znatno viši u odnosu na konvencionalne tehnologije. Ključno je dimenzionisati ih prema očekivanoj potražnji zbog izuzetno ograničene modularnosti.

Osim uz solarne kolektore, sezonsko skladište toplote moguće je integrisati i satoplotnim pumpama i izvorima otpadne toplote kao npr. industrijska postrojenja i termoelektrane. Dobar primer takvog sistema je SDG u Gramu, Danska (vidi izveštaj o primerima najbolje prakse Laurberg Jensen et al. 2016).

Primeri tehnologija za sezonsko skladištenje toplote: (Slika 29):

- Skladište toploteu obliku izolovane jame (PTES, eng. Pit thermal energy storage): Dronninglund, Marstal, Gram (Denmark)
- Skladište toplote u obliku bušotine (BTES eng. Borehole thermal energy storage): Brædstrup (Denmark)
- Skladište toplote u obliku vodovodne cevi (ATES,eng. Aquifer thermal energy storage)



Slika 32. Skladište toplote u obliku izolovane jame, Marstal, Danska (Izvor: PlanEnergi)



Slika 33. Uvećani prikaz ivičnog dela skladišta toplote u obliku izolovane jame u sklopu solarnog SDG u Gramu, Danska (Izvor: Rutz D.)



Slika 34. Skladište toplote u obliku bušotine u sklopu solarnog SDG u Brødstrup, Danska (Izvor: PlanEnergi)

**Skladište toplote u obliku izolovane jame** relativno je jeftina tehnologija razvijena u sklopu solarnih SDG. Danas je u pogonu mali broj PTES uprkos velikom razvojnom potencijalu ove tehnologije. Jedna od glavnih prepreka je temperatura radnog medijuma. Visoka temperatura ( $< 90^{\circ}\text{C}$ ) značajno skraćuje životni vek izolacionog pokrova. Istovremeni razvoj visokotemperaturnog ( $> 90^{\circ}\text{C}$ ) i niskotemperaturnog PTES omogućava integraciju ne samo solarnih kolektora već i otpadne toplote iz industrijskih postrojenja. Primer takvog SDG nalazi se u Gramu, Danska, gde se otpadna toplota iz obližnje industrije skladištiza potrebe toplote u kasnijem periodu. Kako ova vrsta skladišta toplote zauzima veliki prostor njen uticaj na lokalnu sredinu je značajan pa je njegova izgradnja ograničena lokalnim prostorno-planskim uslovima.

**Skladište toplote u obliku bušotina** relativno je nova tehnologija. Do sada je izgrađeno jedno takvo postrojenje u Brødstrupu, Danska. BTES može potencijalno zameniti sezonske PTES posebno u gusto naseljenim sredinama sa ograničenim lokalnim prostorno-planskim uslovima. BTES tehnologija još uvek je u ranim fazama razvoja.

**Skladište toplote u obliku vodovodne cevisluži** za skladištenje u niskotemperaturnom režimu do  $20^{\circ}\text{C}$ , što značajno ograničava njegovu primenu. U Danskoj se nalazi samo nekoliko primera SDG sa ATES skladištem. Većinom se primenjuje u kombinaciji sa ostalim postrojenjima čija je namena pokrivanje toplotne potrošnje jedne usamljene zgrade. Potencijalno mogućnost skladištenja toplote u dubinskim rezervoarima (ispod  $250\text{m}$ ) što zavisi od konfiguracije terena i podzemnih uslova.

## 5 Modularni sistemi daljinskog grejanja

### 5.1 Veličina sistema

SDG može obuhvatiti veća područja (npr. SDG koji pokriva šire područje Kopenhagena), a isto tako i manja područja, poput sela koja imaju samo nekoliko kuća. Instalirana snaga SDG takođe varira, zavisno od veličine područja koje obuhvata. U velikim sistemima, mreža SDG se može sastojati od magistralne mreže (koja prenosi toplotu na velike udaljenosti, pri visokim temperaturama/pritiscima) i od distributivne mreže (koja prenosi toplotu na lokalnom nivou, pri nižim temperaturama/pritiscima) (Danish Energy Agency & Energinet.dk, 2015).

**Mali sistemi daljinskog grejanja** predstavljaju lokalne koncepte za snabdevanje toplotom iz obnovljivih izvora domaćinstava i malih i srednjih preduzeća. U nekim slučajevima, ovi sistemi mogu biti povezani sa velikim SDG, međutim, opšta ideja je da ovi sistemi imaju individualnu distributivnu mrežu na koju je povezan relativno mali broj potrošača. Ovi koncepti se često realizuju u selima ili malim gradovima. U tu svrhu mogu se koristiti razni toplotni izvori, poput solarnih kolektora, biomase i otpadne toplote (npr. toplota iz industrijskih procesa ili biogasnih postrojenja, koja se trenutno ne koristi). Kotlovi na fosilna goriva mogu se ugraditi za pokrivanje vršnih opterećenja ili kao zamenski kotlovi kako bi se povećala ukupna isplativost projekta. Malim SDG uglavnom upravljaju pravna lica pa su ovi sistemi veći od mikro SDG.

**Mikro SDG** uglavnom snabdevaju mali broj potrošača, npr. 2 do 10. Prednost ovih sistema je da se mogu znatno brže i jednostavnije izgraditi, zbog malog broja potrošača i jednostavnijih procedura. Potrošači određuju način naplaćivanja potrošene toplote kao i ko upravlja sistemom.

Nezavisno od veličine mreže, važno je da se tokom planiranja sistema mreža ne predimenzioniše. Veće dimenzije mreže uzrokuju veće toplotne gubitke i veće investicione troškove.

Važan faktor prilikom planiranja ovih sistema je gustina potreba za grejanjem (vidi poglavlje 6.2.2), koja se određuje kao odnos isporučene toplote na godišnjem nivou (MWh/god) i dužine mreže (u metrima). Opšte pravilo je da bi ovaj faktor trebao iznositi iznad 900 kWh/m/god. Cilj je da se proda što više toplote na što manjem području. U slučaju da je gustina potreba za grejanjem potencijalnog SDG nedovoljno visoka, individualni sistemi grejanja biće isplativiji.

### 5.2 Temperature u sistemu

#### 5.2.1 Izbor odgovarajućih temperatura u sistemu

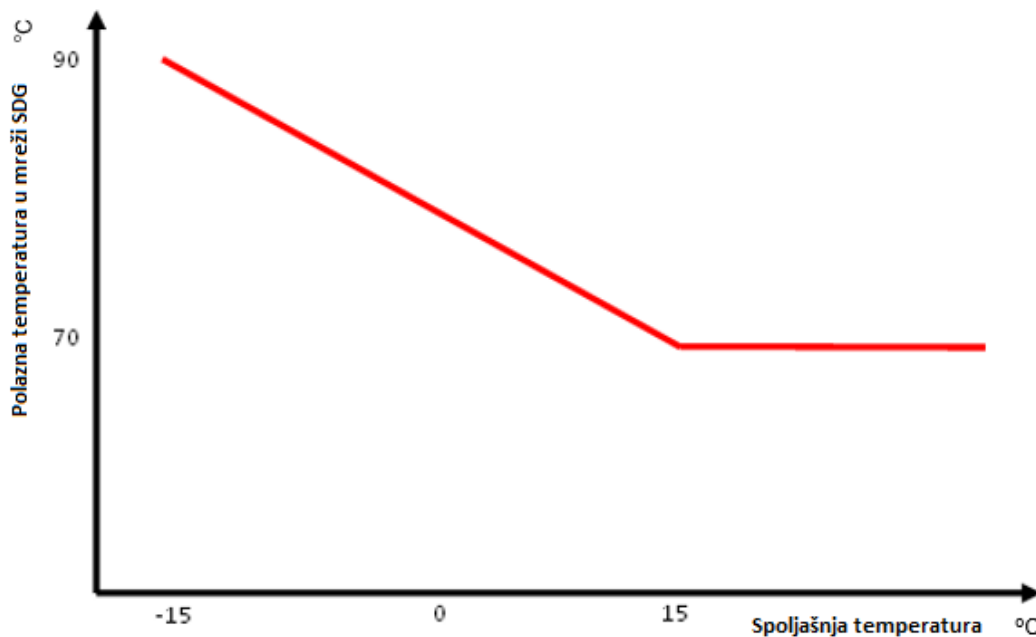
Što je veća razlika između polazne i povratne temperature to će biti manji protok i manji toplotni gubici. Takođe, u tom slučaju smanjuje se i potrošnja električne energije za pogon pumpi. Dakle, iz ugla pravnog lica koje upravlja (operatora) SDG, cilj je postići što veću temperaturnu razliku u sistemu.

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

- Temperature u malim SDG zavise od temperatura koje zahtevaju potrošači. Ukoliko je zahtevana temperatura određenih potrošača previsoka, za njih je potrebno razmotriti korišćenje individualnih sistema za grejanje, tj. da se ne spajaju na mrežu.
- Važna karakteristika SDG su gubici toplote koji se javljaju u distributivnoj mreži. Što je veća temperatura u sistemu, to su veći gubici toplote.

- Potrebno je minimizirati dnevne varijacije polazne temperature kako bi se smanjilo naprezanje cevi, a samim tim i produžio njihov životni vek.
- Razlika između polazne i povratne temperature malih SDG trebala bi da iznosi minimalno 30°C kako bi se smanjili protok medijuma, dimenzije cevi i troškovi za pokretanje pumpi.

Polazna temperatura može se menjati zavisno od spoljašnje temperature (Slika 35). Tokom zime, kada su spoljašnje temperature najniže, polazne temperature su najviše. Tokom leta, potrebno je osigurati dovoljno visoku temperaturu za pripremu PTV.



Slika 35. Primer polazne temperature mreže SDG, zavisno od spoljašnje temperature (Izvor:Güssing Energy Technologies)

### 5.2.2 Visokotemperaturni sistemi

Visokotemperaturni sistemi koriste se u slučajevima kada je potrebno pokriti visokotemperaturne toplotne potrebe (npr. u industrijskim postrojenjima). Visokotemperaturni sistem koristi vodu temperature iznad 90°C kao medijum za prenos toplote. Visoke temperature u mreži uzrokuju veće toplotne gubitke i niži životni vek distributivne mreže.

Postrojenje za proizvodnju toplote mora biti locirano u blizini industrije koja zaheva toplotu visoke temperature. Ostatak mreže SDG (npr. za grejanje domaćinstava) onda se može napajati toplotom nižih temperatura.

Industrijska postrojenja često uzrokuju porast povratne temperature. Cilj je snižavanje povratne temperature kako bi se smanjili protok i gubici toplote. Potrebno je uzeti u obzir da određene tehnologije za proizvodnju toplote (npr. gasni motori sa unutrašnjim sagorevanjem) zahtevaju niske povratne temperature kako bi se osigurali optimalni radni uslovi.

### 5.2.3 Srednje-temperaturni sistemi

Srednje-temperaturni sistemi su najčešće korišćeni SDG. Polazna temperatura se u ovim sistemima kreće u rasponu 65°C do 90°C. Najčešće se koriste za grejanje zgrada (npr. kuće, stambene zgrade, poslovne zgrade) i pripremu PTV. Postojeće stare zgrade često zahtevaju temperature iznad 80°C ili čak i više. Nove zgrade mogu koristiti toplotu sa temperaturom 50

do 70°C, zavisno od kvaliteta izolacije na zgradi i sistemu grejanja koji se koristi (npr. radijatorsko ili podno grejanje).

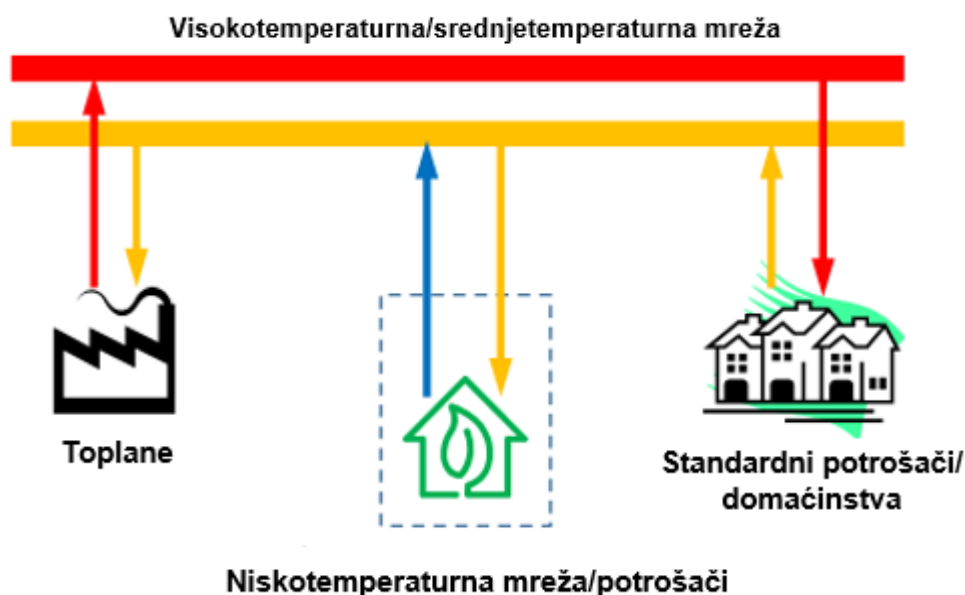
Kako bi se pripremila PTV (koja se skladišti u kućnim bojlerima), polazna temperatura mreže SDG moratokom cele godine biti barem 65 do 70°C, kako bi se sprečili problemi sa legionela bakterijom.

#### 5.2.4 Niskotemperaturni sistemi

Niskotemperaturni sistemi (eng. low-temperature district heating - LTDH), koji imaju polazne temperature ispod 65°C, postaju sve značajniji u obezbeđivanju potreba za grejanjem za slučaj potrošača sa malom potrošnjom. Prednost ovih sistema je smanjivanje toplotnih gubitaka i mogućnost korištenja polimernih cevi. Takođe, ovi sistemi mogu u sebi imati realizovane i druge niskotemperaturne izvore poput toplotnih pumpi i otpadne toplote iz industrije. Na ovim temperaturama, glavni problem predstavlja legionela bakterija. Iz tog razloga je potrebno koristiti drugačije metode za pripremu PTV.

Niskotemperaturni sistemi takođe se mogu koristiti kao deo srednje-temperaturnih i visokotemperaturnih sistema, što se naziva kaskadnirani sistem (Slika 36). Povrat iz srednje ili visokotemperaturne mreže se tada može koristiti kao polaz za niskotemperaturni sistem.

Prednosti niskotemperaturnog SDG su smanjeni toplotni gubici mreže, čime se ostvaruju uštede energije i niži troškovi goriva. U principu, mogu se koristiti razni izvori toplote, uključujući obnovljive izvore energije i otpadnu toplotu iz industrijskih procesa. Konačno, izgradnja niskotemperaturnog SDG nije skuplja alternativa izgradnji konvencionalnog SDG.



Slika 36. Korišćenje povratnog cevovoda za snabdevanje toplotom potrošača koji koriste niskotemperaturnu toplotu (Izvor: Güssing Energy Technologies)

Na primer, u Austriji postoje niskotemperaturni SDG koji imaju konstantnu temperaturu polaza 55°C tokom cele godine. PTV se priprema korišćenjem izmjenjivača toplote na nivou pojedinačnog domaćinstva. Potrošači su direktno povezani na mrežu SDG. Tokom zime, SDG se snabdeva toplotom putem kotla na pelet, a tokom leta putem toplotne pumpe vazduha. Na mrežu su povezane samo niskoenergetske zgrade (sistem grejanja - podno grejanje ili niskotemperaturni radijatori), koje se nalaze u gusto naseljenom području. Iz ovog razloga je celokupna dužina mreže mala.



Sledeći primer je Dollnstein u Nemačkoj (vidi CoolHeating izveštaj o primerima najbolje prakse, Laurberg Jensen et al. 2016), gde je tokom leta polazna temperatura u mreži na nivou 20-30°C. Sa obzirom da se radi o malom gradu, ne postoje potrebe za visokim temperaturama tokom leta. Visoke temperature bi uzrokovale visoke toplotne gubitke pa je iz tog razloga temperatura spuštена na navedeni nivo u razdoblju između maja i oktobra. Ova činjenica omogućava pokrivanje toplotnih potreba tokom leta isključivo obnovljivim izvorima energije, tj. solarnim kolektorima.

Više informacija o niskotemperaturnim sistemima i primeri najboljih praksi prikazani su u Köfing et al (2015).

### 5.2.5 Značaj niske povratne temperature u mreži SDG

Količina toplote iz SDG koja se na kraju predaje potrošačima najviše zavisi od konstrukcije i postavki sistema grejanja zgrade, ali takođe i od efikasnosti toplotne podstanice i stanja u kojem se ona nalazi. Niska povratna temperatura u mreži SDG (što znači da je veća količina toplote predata potrošaču) kao i dobar učinak toplotnih podstanica su od interesa kako za potrošača, tako i za operatora SDG. Stoga upravljanje i nadzor povratne temperature u mreži SDG predstavlja važan faktor (Euroheat&Power, 2008).

Cilj sistema je smanjiti povratnu temperaturu u sekundarnom krugu (dakle u samoj zgradi) čime se smanjuje i povratna temperatura u celoj mreži. Rezultat toga su niži protok medijuma za prenos toplote, manji troškovi pokretanja pumpi i veće maksimalno toplotno opterećenje mreže. Iz tih razloga bi operator SDG trebao proveriti shemu sistema grejanja potrošača i da podstakne potrošače na adaptaciju vlastitog sistema grejanja kako bi smanjili povratnu temperaturu.

### 5.2.6 Nadzor temperature

Nadzor temperature omogućava snižavanje polazne i povratne temperature a u isto vreme održavanje velike temperaturne razlike u sistemu. Kako bi se minimizirali gubici toplote u mreži SDG, optimizovala proizvodnja toplote, smanjila potrošnja goriva i smanjile emisije CO<sub>2</sub>, mnoga postrojenja koriste softver za optimizaciju temperature. Softveri za optimizaciju se mogu spregnuti sa programima za proračun mreže i SCADA sistemima (eng. Supervisory Control and Data Acquisition – SCADA).

Softver za optimizaciju prikuplja važne podatke o spoljnim uslovima rezultate merenja iz same mreže SDG, npr. merenu polaznu temperaturu. Merna mesta najčešće se nalaze na „problematičnim“ delovima mreže. Prikupljeni podaci mogu sadržati vremenske prognoze, potrebe za grejanjem izmerene temperature u mreži. Podaci se obrađuju u realnom vremenu pa se na taj način mnogi parametri upravljanja mogu izračunavati na satnom nivou (ili u kraćim vremenskim intervalima). Tako se osigurava da se sistemom upravlja na najefikasniji mogući način.

Uobičajeno je da softverski programi koriste sledeće parametre kako bi izračunali polaznu temperaturu:

- Vremenske uslove
- Protok
- Povratnu temperaturu
- Navike potrošnje toplote za pripremu PTV
- Dan u nedelji – Radni dan / vikend / praznik

Posledica optimizacije polazne temperature je:

- Niža prosečna polazna i povratna temperatura

- Manjitoplotni gubici u mreži SDG
- Optimalniji radni režimi pumpi

### 5.3 Cevi

Mreža SDG sastoji se od spojenih cevi za transport "tople" vode iz postrojenja za proizvodnju toplotne energije (**polaz**) i cevi za povrat "hladne" vode nazad do postrojenja (**povrat**). Cevi moraju biti pažljivo odabrane i dimenzionisane kako bi se povećala ukupna efikasnost sistema i minimizirali gubici. Prečnici korišćeni materijali glavne su karakteristike koje se moraju uzeti u obzir.

#### 5.3.1 Tip i prečnik cevi

Tip i prečnik cevi zavise od udaljenosti, pritiska i količine toplote koja se mora transportovati do potrošača. Prečnika time i kapacitet cevi za SDG može varirati od svega 16 mm pa sve do preko 600 mm.

Po pravilu se za magistralne, primarne i sekundarne cevovode koriste pred-izolovane cevi. One su izvedene kao sendvič konstrukcije sa tri sloja, medijumska cev, izolacija i zaštitna cev (Slika 37). Medijumska cev prenosi radni medijum, najčešće vodu, sloj izolacije služi za smanjenje gubitaka toplote dok zaštitna cev štiti izolaciju od spoljnih (mehaničkih) oštećenja.

Fleksibilne cevi koriste se u slučaju cevi manjih prečnika dok se za veće koriste krute čelične cevi.

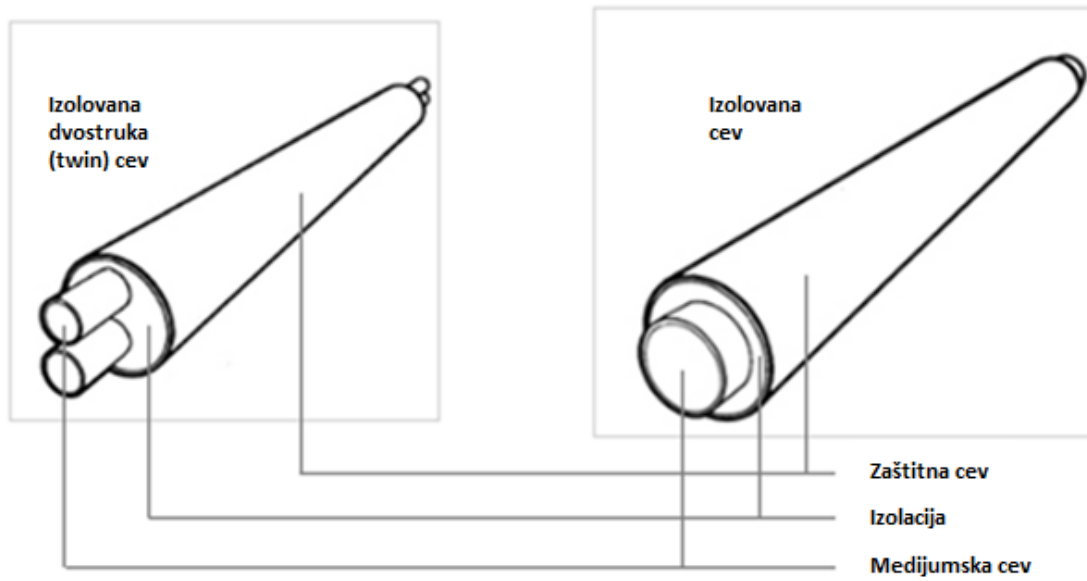
Sistemi sa dve cevi posebno su pogodni kod malih prečnika. U tim se slučajevima polaz i povrat nalaze u istoj cevi, za razliku od sistema sa jednom cevi u kojima su polaz i povrat zasebne cevi. Tako se smanjuju gubici u odnosunasteme sa jednom cevi, kao i investicioni troškovi. Sistemi sa dve cevi nisu primenljivi ukoliko su potrebni veliki prečnici (> Ø219 mm) kao na primer u slučajevima magistralnih i primarnih toplovoda.

Medijumske cevi u sekundarnim cevovodima najčešće su izrađene od polimera, alu-PLEX-a, bakra ili čelika, dok se za veće cevi pod višim pritiscima prednost daje čeliku koji je izdržljiviji i time pogodniji za veće pritiske i protoke. Kod manjih prečnika najčešće se koriste polimeri jer su takve cevi fleksibilnije pa ih je lakše postavljati.

Zaštitne cevi se kod sekundarnih cevovoda obično izrađuju od glatkih ili talasastih polimera poput polietilena niske (*eng. Low-density polyethylene – PEL*) ili visoke gustine (*eng. high-density polyethylene PEH*). Izolacija je obično poliuretanska pena (PUR pena) ili mineralna vuna.

I fleksibilne i čelične cevi bi trebale biti izrađene sa difuzijskom pregradom između izolacije i spoljne obloge od polietilena (PE) kako bi se toplotna provodnost smanjila i održavala konstantnom tokom vremena.

U modernim cevovodima često se primenjuje sistem **upozorenja na curenje** zato što curenje cevovoda slabi izolaciju i uzrokuje povećanje gubitaka toplote i vode. Osnovi delovi ovog sistema su kablovi (dve žice, Slika 38) koji su postavljene u izolaciju cevi i koji prenose indicaciju o alarmu do upravljačke jedinice sistema za upozorenje na curenje.



Slika 37. Presek cevi za SDG (Izvor: Slika dobijena od Isoterma)



Slika50. Izgled cevi sa jednom i dve medijumske čelične cevi (levo) i polimernih sa dve medijumske cevi (desno) (Izvor: RutzD.)



Slika 38. Čelična cev sa dve žice za sistem upozorenja na curenje (Izvor: Rutz D.)

### 5.3.2 Izbor cevi za SDG

Prilikom projektovanja SDG, mnogi faktori se moraju uzeti u obzir pa se iz tog razloga preporučuje primena specijalizovanih kompjuterskih alata. Proizvođači takođe često objavljuju tabele sa detaljnim podacima za cevi koje nude poput materijala, izolacije, gubitaka toplote, prečnika itd., gde je upravo prečnik ključna informacija pošto on određuje maksimalni kapacitet prenesene toplotne energije. Dimenzije cevi tipično su date u zavisnosti od pada pritiska i kapaciteta koji se baziraju na formuli Colerbruk-Vajt (eng. Colebrook–White equation) za temperature vode od 80°C.

Preporučuju se konsultacije proizvođača cevi i eksperata pre i za vreme izgradnje.

### 5.3.3 Polaganje cevi

Cevi se generalno mogu polagati iznad i ispod zemlje. **Nadzemne cevovodi** uobičajeni su samo u slučajevima prelaska velikih cevovoda preko mostova.

Svi ostali magistralni, primarni i sekundarni cevododi uobičajeno se polažu **podzemno**. To zahteva određene mere pažnje za vreme postavljanja kako bi se izbegla oštećenja cevi. Kao što je napomenuto u poglavlju 5.3.1, najčešće se koriste pred-izolovane „sendvič“ cevi koje se ponašaju kao jedna kompaktna struktura što utiče na temperaturne dilatacije pojedinih materijala koji je sačinjavaju, usled fluktuacija temperatura medijuma koji teku kroz njih. Fluktuacije temperature generalno izazivaju naprezanja u materijalu koje cev mora izdržati.



Slika 39 Polaganje cevi za SDG na selu (Izvor: Thermaflex Isolierprodukte GmbH)



Slika 40 Uređaj za usmereno bušenje (Izvor: Rutz D.)

Naprezanja koja se akumuliraju u polazu određena su mogućnošću cevi da se neometano širi kao reakcija na temperaturne fluktuacije, pritiskom u cevi, njenom težinom i radnim medijumom (Isoplus, 2016).

“**Granica elastičnosti**” ili “tačka elastičnosti” je svojstvo definisano kao naprezanje pri kojem se materijal počinje deformisati plastično. Pre te tačke, materijal se deformiša elastično pa se, nakon što naprezanje prestane, vraća u svoje početno stanje, a nakon nje deo deformacija ostaje trajno i nepovratno. U prošlosti je granica elastičnosti predstavljala ograničavajući faktor za projektovanje SDG baziranih na polimernim cevima (Isoplus, 2016), ali u današnje vreme, uz razvoj tehnologija, prelazjenje te granice moguće je tolerisati kod modernih cevi.

Različite metode ugradnje mogu se primenjivati kod drugačijih cevi kako bi se garantovala dugovečnost celokupnog sistema. Tabela 2 prikazuje primere metoda polaganja cevi uključujući ekspanziono savijanje (zahteva dodatnu opremu poput L, Z i U kolena), toplotno pred-naprezanje (zagrevanje cevi pre nego se zatrpa), pred-naprezanjem elemenata i hladno polaganje cevi.

Tabela 2. Metode polaganja cevovoda (Izvor: Isoplus, <http://en.isoplus.dk/laying-rules-163>)

Metoda polaganja	Prednosti	Nedostaci
<b>Ekspanziono savijanje</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Smanjuje naprezanja u sistemu</li> <li>- Manje strogi zahevi za paralelno iskopavanje</li> <li>- Relativno brza metoda polaganja pošto se kanali mogu zatrpavati čim se cev položi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potreba za ekspanzionim kolenima</li> <li>- Povećani padovi pritiska</li> <li>- Dodatne komponente</li> <li>- Dodatne potreba za prostorom</li> </ul>
<b>Toplotno prednaprezanje</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Smanjuje naprezanja u sistemu</li> <li>- Manje strogi zahevi za paralelno iskopavanje</li> <li>- Jednostavan sistem bez potrebe za dodatnim komponentama</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kanal mora ostati otvoren dok se sistem ne zagreje</li> <li>- Potreba za izvorom toplote za vreme predgrejavanja</li> </ul>
<b>Prednaprezanje elemenata</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Smanjuje naprezanja u sistemu</li> <li>- Manje strogi zahevi za paralelno iskopavanje</li> <li>- Relativno brza metoda polaganja pošto se kanali mogu zatrpavati čim se cev položi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potreba za elementima za prednaprezanje, jednokratno korišćenje komponenta</li> </ul>
<b>Hladno polaganje</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jednostavna metoda koja za sobom bez dodatnih troškova komponenta za ekspanziju ili predgrejavanje</li> <li>- Relativno brza metoda polaganja pošto se kanali mogu zatrpavati čim se cev položi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Paralelni iskopi zahtevaju visoke mere opreza zbog visokih aksijalnih naprezanja</li> <li>- Značajne dilatacije cevovoda. Neprikladno za velike prečnike i visoke temperature</li> <li>- U nekim slučajevima zahteva ojačane komponente</li> </ul>

Prilikom gradnje cevovoda primenjuju se različiti nacionalni standardi, neki od evropskih kojih bi se trebalo pridržavati su sledeći:

- EN 253: 2009 + A1: 2013 Pred-izolovane cevi
- EN 448: 2009 Povezivanje, SDG
- EN 488: 2011 Čelični ventili za SDG
- EN 489: 2009 Povezivanje medijumskih cevi, čelik
- EN 13941: 2009 + A1: 2010 Projektovanje i polaganje
- EN 14419: 2009 Sistemi za praćenje i nadzor
- EN 15698: 2009 Pred-izolovane dvostruke cevi

Cevi se mogu ukopavati pomoću bagera (Slika 39) ili sa uređajima za horizontalno usmereno bušenje (Slika 40). Usmereno bušenje je metoda instalacija podzemnih cevi, kablova i vodova na maloj dubini duž željenog unapred definisanog pravca pomoću uređaja koji se nalazi na površini, bez iskopavanja kanala. Ova metoda ima minimalne efekte na okolinu pa se koristi kada je kopanje kanala nemoguće ili nepraktično kao na primer u slučajevima kada

instalacije prelaze puteve, uređene površine, plitke reke i slično. U praksi ovom su semetodom izvodila polaganja u dužini do 2,000 metara. Cevi mogu biti izrađene od raznih materijala poput PVC, polietilena, polipropilena, livenog gvožđa i čelika ako se cevi mogu provlačiti kroz izbušenu zemlju. Usmereno bušenje daje najbolje rezultate za kamen i sedimentnu zemlju a nije praktično ukoliko u bušenom materijalu postoje šupljine i šljunak. Koriste se razni tipovi bušilica koje zavise od materijala koji se buši (Wikipedia, 2014, Rutz et al. 2015).

Usmereno bušenje posebno je pogodno za slučajeve kada se cevovod provodi ispod popločanih ulica jer se tako minimizira ometanje svakodnevnih aktivnosti zajednice i povećava se prihvatljivost SDG (Rutz et al. 2015).

#### 5.3.4 Gubici toplote

**Gubici u mreži** (vidi poglavlje 6.2.3) zavise od dužine mreže i značajno variraju od sistema do sistema. Tipični gubici u mreži SDG kreću se u opsegu od 15-20%. Gubici se mogu smanjiti do približno 7% u veoma velikim sistemima kao što je na primer Greater Copenhagen, Danska. Oni, takođe, mogu da dostignu i do 50% u sistemima sa veoma lošim uslovima rada (podatak dobijen od Danish Energy Agency & Energinet.dk, 2015). Ali u nekim transportnim cevovodima toplotni gubici mogu biti veoma niski, čak na nivou 2% isporučene energije. **Gubici toplote u cevovodima** dati su od strane proizvođača za standardne uslove rada u W/m, na primer " $\Phi = 11 \text{ W/m}$ ". Gubici toplote zavise od hidrauličkih uslova, temperature radnog medijuma i zemlje, izolacije, materijala i debljine izolacije.

Proizvođači gubitke toplote ponekad iskazuju procentualno ali ipak preporučljivo je korišćenje apsolutnih vrednosti jer se na taj način mogu u obzir uzeti i gubici pri različitim radnim režimima.

#### 5.3.5 Troškovi

Teško je dati detaljne podatke o investicionim troškovima u cevnu mrežu pošto oni zavisi od njene dužine, izolacije, prečnika i terena na koji se postavlja. Same cevi po pravilu predstavljaju otprilike jednu trećinu ukupnih troškova u mrežu SDG dok najveći deo odlazi na građevinske radove (iskop zemlje i ukopavanje cevi). Do tih se zaključaka došlo na bazi iskustva u Danskoj, pa je moguće da bi u drugim državama trošak rada bioničište bi uticalo na ukupne troškove kao i na njihovu raspodelu.

### 5.4 Medijumi za prenos toplote

Medijum za prenos toplote je tečnost koja kroz cevovode prenosi toplotu od proizvodnog postrojenja do potrošača. U SDG se za ovu svrhu najčešće koristi voda. Kvalitet vode ima visoki uticaj na efikasnost sistema i pojavu potencijalnih komplikacija. Iz tog razloga je visoki kvalitet vode izuzetno bitan aspekt sistema, kako bi se sprečila korozija u sistemu. U sledećim poglavljima prikazani su glavni aspekti kvalitete vode.

#### 5.4.1 Gasovi u vodi<sup>12</sup>

Najvažniji gasovi koji imaju uticaj na kvalitet vode u SDG su kiseonik ( $O_2$ ) i azot ( $N_2$ ).

U nelegiranim i niskolegiranim čeličnim cevima uzrok korozije je kiseonik u vodi, naročito ako je voda slana. Kako bi se izbegle velike količine kiseonika u vodi, sistem mora biti zaptiven, čime se sprečava prodor kiseonika u cevovod, a samim tim i u vodu.

<sup>12</sup> Ovo poglavlje zasnovano je na publikaciji Euroheat&Power, 2008

Azot u vodi je inerten, ali može uzrokovati probleme kada mu je koncentracija toliko visoka da se stvaraju mehurići čistog azota. Ovo se može dogoditi kada u isto vreme dođe do povećanja temperature i snižavanjapritiska, što rezultira smanjenjem rastvorljivostiazota u vodi.

Posledica toga je pojava buke, erozijske korozije iporemećaja u cirkulaciji medijuma. U toplotnim podstanicama, kiseonik i ostali gasovi mogu prodreti u medijum za prenos toplote putem otvorenih ekspanzionih posuda. Kiseonik (i male količine azota) mogle prodreti u medijum difuzijom kroz propusnu membranu ili plastične cevi. Nadalje, niski pritisci u zatvorenim sistemima omogućavaju prodiranje vazduha kroz zaptivke i automatske nepovratne ventile (Euroheat&Power, 2008).

#### 5.4.2 Ostale materije u vodi<sup>13</sup>

U toploj vodi, rastvorivi **alkali** reaguju sa hidrogen-karbonatima čime nastaju kalcijum-karbonati, tj. kamenac. Porast količine kamenca ometa rad izmjenjivača toplote i smanjuje njegov kapacitet. U nekim slučajevima javljasepregrevanje, a kao posledica toga može doći do oštećenja izmjenjivača toplote. Da bi zaštitili sistemod stvaranja kamenca, voda koja cirkulišesistemom, kao i ona kojom se vrši dopuna sistema mora biti omekšana.

U prisustvu kiseonika, **anioni** iz materija koje su rastvorljive u vodi (naročito hloridi i sulfati) uzrokuju lokalnu koroziju (npr. pukotinsku koroziju) u nelegiranim čeličnim materijalima. Koncentracija hlorida do 50 mg/l uglavnom ne uzrokuje probleme sa korozijom. Međutim, pod određenim kritičnim uslovima (npr. u slučaju povišene koncentracije u porama materijala, itd.) prisutnost jona hlora u nerđajućim čelicima može dovesti do rupičaste korozije ili korozije zbog naslaga. Sa obzirom da opasnost od korozije zavisi od više faktora (npr. materijala, medijuma, radnih uslova), ne može se odrediti određena granična koncentracija hlora u vodi. Takođe, hlor uzrokuje koroziju u dodiru sa aluminijumom pa se iz tog razloga ta kombinacija ne preporučuje.

Nerastvorljive i rastvorljive **organske materije** mogu narušiti proces obrade vode, kao i mikro biološke reakcije u vodi. Iz tog razloga potrebno ih je izbegavati u SDG.

Kako bi se privremeno sprečila korozija stare opreme, cevi ili zagrevnih površina, koriste se materijali na bazi **ulja ili masti**. Ulja deluju kao presvlaka na materijalima (tanki film). Međutim, ulja ometaju rad sigurnosne opreme i opreme za upravljanje. Ulja i masti mogu čak uzrokovati mikrobiološku koroziju jer deluju kao hranjive materije za mikroorganizme. Iz tog razloga ne preporučuje se korišćenje ulja i masti u SDG.

#### 5.4.3 Pogonski parametri vode<sup>14</sup>

SDGbi trebao biti zaštićen od prodora vazduha i hladne vode kako bi se sprečila korozija. Iz tog razloga potrebno je održavati određenu visinupritiska u sistemu. Magnetit, koji nastaje kao produkt korozije, stvara homogeni površinski sloj kiseonika koji ima visoku otpornost na koroziju. Ovaj zaštitni sloj stvara se samo na temperaturama iznad 100°C pa se iz tog razloga ovaj način zaštite ne može koristiti u sistemima pripreme PTV.

Uzimajući u obzir standardne vrednosti parametara kvaliteta vode (Tabela 3), u SDG se mogu koristiti materijali od gvožđa, nerđajućeg čelika i bakra, zasebno ili u kombinaciji. Aluminijum i legure aluminijuma se ne bi smele koristiti u direktnom kontaktu sa vodom jer mogu uzrokovati koroziju materijala.

Ukoliko u vodi postoje čestice gvožđa ili bakra, može doći do taloženja tih čestica, a samim tim i do problema u područjima sa nižim protokom. Iskustveno dozvoljene koncentracije ovih materija u vodi su  $\leq 0.10$  mg/l za gvožđe i  $\leq 0.01$  mg/l za bakar.

<sup>13</sup> Ovo poglavlje zasnovano je na publikaciji Euroheat&Power, 2008

<sup>14</sup> Ovo poglavlje zasnovano je na publikaciji Euroheat&Power, 2008



Euroheat & Power predlaže da se aluminijum uopšte ne koristi u SDG, uključujući i sekundarni krug potrošača.

U SDG, postoje radni režim sa visokim udelom soli i radni režim sa niskim udelom soli. Radi osiguranja ekonomski efikasne i sigurne cirkulacije medijuma, potrebno je ispuniti uslove koje prikazuje Tabela 3. U vanrednim situacijama (npr. pokretanje postrojenja, pojava oštećenja) moguće je na kratko odstupati od ovih vrednosti.

Tabela 3. Standardne vrednosti za kvalitet vode u mreži SDG (Izvor: Euroheat&Power, 2008)

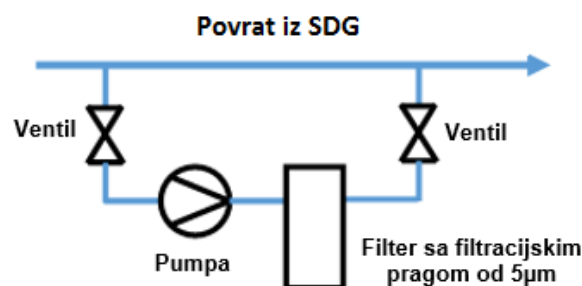
Parametar	Jedinica	Iznos
Električna provodljivost	$\mu\text{S/cm}$	100-1 500
pH vrednost	n.a.	9,5-10
Kiseonik	Mg/L	<0,02
Alkali	Mmol/L	<0,02

#### 5.4.4 Iskustva iz prakse<sup>15</sup>

Oprema potrebna da bi se osigurao zahtevani kvalitet vode sastoji se od postrojenja za omekšavanje vode, filtera i potrebnih hemikalija. Reverzna osmoza najčešće nije potrebna jer predstavlja skupu tehnologiju pripreme vode, a takođe i uzrokuje više problema tokom rada.

Plastične cevi (npr. za podno grejanje) mogu uzrokovati aeraciju vode i stvaranje mulja. To može dovesti do oštećenja u mreži SDG. Iz tog razloga potrebno je koristiti izmjenjivač toplote u indirektnim sistemima, kako bi se razdvojio primarni (mreža SDG) od sekundarnog kruga (potrošači). Mreže SDG u kojima su gubici vode niski, uglavnom nemaju problema sa aeracijom vode (tj. pojavljivanjem rđe).

U „bypass“ liniji (šantu) povrata mreže SDG, potrebno je ugraditi filter sa filtracionim pragom od  $5\mu\text{m}$  i pumpu male snage, kako prikazuje Slika 41.



Slika 41. Pumpa i filter u „bypass“ liniji povrata mreže SDG (Izvor: Güssing Energy Technologies)

Iz razloga uklanjanja magnetita iz vode, u filter se može ugraditi magnet. Na taj način mogu se sprečiti potencijalni problemi, sa obzirom da magnetit može proizrokovati nepopravljiva oštećenja pumpi.

<sup>15</sup> Ovo poglavlje zasnovano je na Kotlan (2016)

Dodatkom hemikalija (npr. IWO VAP 25 FW) mogu se vezati ugljenične kiseline i kiseonik iz vode. Na taj način stvara se zaštitni sloj koji pokriva cevi. Dodatkom hemikalija takođe dolazi do vezivanja mulja koji se zatim uklanja na filteru.

Održavanje se uobičajeno sprovodi jednom godišnje angažovanjem specijalizovanih kompanija. Tokom održavanja proverava se kvalitet vode, postrojenje za omekšavanje vode, postrojenje za doziranje hemikalija i filter.

## 5.5 Priklučenje potrošača

Distribuciona mreža SDG prenosi zagrejani medijum za prenos toplote do potrošača a zatim ohlađeni medijum nazad do proizvodnog postrojenja. Iz razloga prenošenja toplote, potrošači moraju biti direktno ili indirektno (preko izmenjivača toplote) povezani na sistem. Mesto priključka potrebno je razmotriti sa tehničkog i pravnog aspekta. Uobičajeno je da je sistem grejanja zgrade u vlasništvu njenog vlasnika, a mreža sistema daljinskog grejanja i primarni deo podstanice u vlasništvu opštine. Vlasnik sekundarnog dela toplotne podstanice može biti ili vlasnik zgrade ili vlasnik mreže, zavisno od korišćenog poslovnog modela i postojećih ugovora.

### 5.5.1 Toplotne podstanice

Toplotna podstanica služi za prenos toplote iz mreže SDG potrošačima. Uobičajeno je da se kuće spajaju na mrežu SDG preko izmenjivača toplote (indirektan sistem) kako voda iz SDG ne bi prolazila kroz kućne instalacije. Opremu u toplotnoj podstanici prikazuje Slika55. U Danskoj čestose koriste sistemi bez izmenjivača toplote, tj. direktni sistemi.



**Slika55. Toplotna podstanica sa izmenjivačem toplote, regulacionim uređajem, ventilima i kalorimetrom (levo) (Izvor:Güssing Energy Technologies) i toplotna podstanica (uključujući izmenjivač toplote) krajnjeg potrošača u Achentalu, Nemačka (Izvor: Rutz D.)**

Toplotne podstanice uglavnom se sastoje od izmenjivača toplote (indirektan sistem), upravljačke jedinice reguliše polaznu temperaturu u kući, ventila sa aktuatorom i kalorimetra. Preporučuje se ugradnja ventila sa regulatorom diferencijalnog pritiska u cilju smanjenja fluktuacija pritiska i u cilju zadavanja maksimalnog protoka kroz toplotnu podstanicu kada je ventil u potpunosti otvoren. Na ovaj način moguće je ograničiti protok (toplotni tok) u toplotnoj podstanici na nivo garantovan ugovorom.

Zavisno od zakonske regulative, potrebno je postaviti kalibrisane kalorimetre u toplotnu podstanicu. Kalibraciju je potrebno provoditi periodično. Uobičajeno je da se troškovi grejanja sastoje od troškova za preuzetu toplotu (€/kWh), zakupljenog vršnog opterećenja (€/kW na mesečnom nivou) i troška merenja (€/god).

Sistemi za nadzor temperature, otvaranje ventila i merenje potrošnje toplote već se uobičajeno koriste u SDG. Prikupljeni podaci se šalju do lokalne upravljačke jedinice u toplotnoj podstanici. Podaci iz svih toplotnih podstanica se šalju u centralnu upravljačku jedinicu koja se najčešće nalazi u proizvodnom postrojenju. Sistem za nadzor takođe se može koristiti za regulaciju diferencijalnog pritiska glavnih pumpi u SDG (upravljanje mrežnim pumpama i aktuatorima ventila). Sistem za nadzor takođe omogućava identifikovanje korisnika koji vraćaju visoke temperature vode u povratni cevovod, kako bi se nad njima primenile dalje mere.

Prednost indirektnog sistema je da su voda iz SDG i voda iz sistema grejanja potrošača odvojene. Na taj način aeracija vode (zbog plastičnih cevi potrošača) ne može oštetiti mrežu SDG.

### 5.5.2 Sistem grejanja zgrade

Sistem grejanja zgrade mora biti usklađen sa mrežom SDG kako bi se povećala ukupna efikasnost sistema. Smernice za toplotne podstanice u SDG date su u dokumentu Euroheat&Power (2008).

Sistem grejanja zgrade mora osigurati niske povratne temperature u mreži SDG. Ukoliko su povratne temperature previsoke, treba savetovati potrošače da promene određene delove sistema grejanja. Ova stavka se takođe treba uključiti u ugovor.

Potrošači uglavnom koriste radijatore, podno grejanje, zidno ili plafonsko grejanje. Radijatori zahtevaju više temperature od ostalih panelnih sistema. Iz tog razloga, podno, zidno i plafonsko grejanje uzrokuju niže povratne temperature u mreži SDGi niže troškove pumpanja vode.

Ukoliko se za grejanje koriste plastične cevi, potrebno je koristiti indirektni sistem(tj. izmenjivač toplote) kako bi se sprečila aeracija i akumulacija mulja u mreži.

### 5.5.3 Priprema potrošne tople vode

Uz grejanje prostora, toplota iz SDG često se koristi i za pripremu PTV. U većini SDG u Nemačkoj ili Danskoj toplotase koristi za obe svrhe. U nekim drugim državama, naročito u južnoj Europi, postojeći SDGrade samo tokom zime pa se iz tog razloga ne koriste za pripremu PTV. U tim slučajevima, potrebna je dodatna oprema za tu svrhu.

Priprema i snabdevanje PTV mora se sprovesti na način da se izbegnu zdravstveni rizici. Patogeni poput raznih bakterija a naročito legionele (Antrfile 6) mogu uzrokovati zdravstvene probleme pa ih je potrebno izbeći. Pojava ovih bakterija nije specifično vezana uz SDG jer se mogu pojaviti u svim sistemima sa toplom vodom. Rast legionela bakterije odvija se u sistemu proizvodnje i distribucije PTV, tj. cevima za pitku vodu, cirkulacionom sistemu i skladištu vode. Vlasnik uređaja za pripremu PTV odgovoran je za sprečavanje zdravstvenih problema.

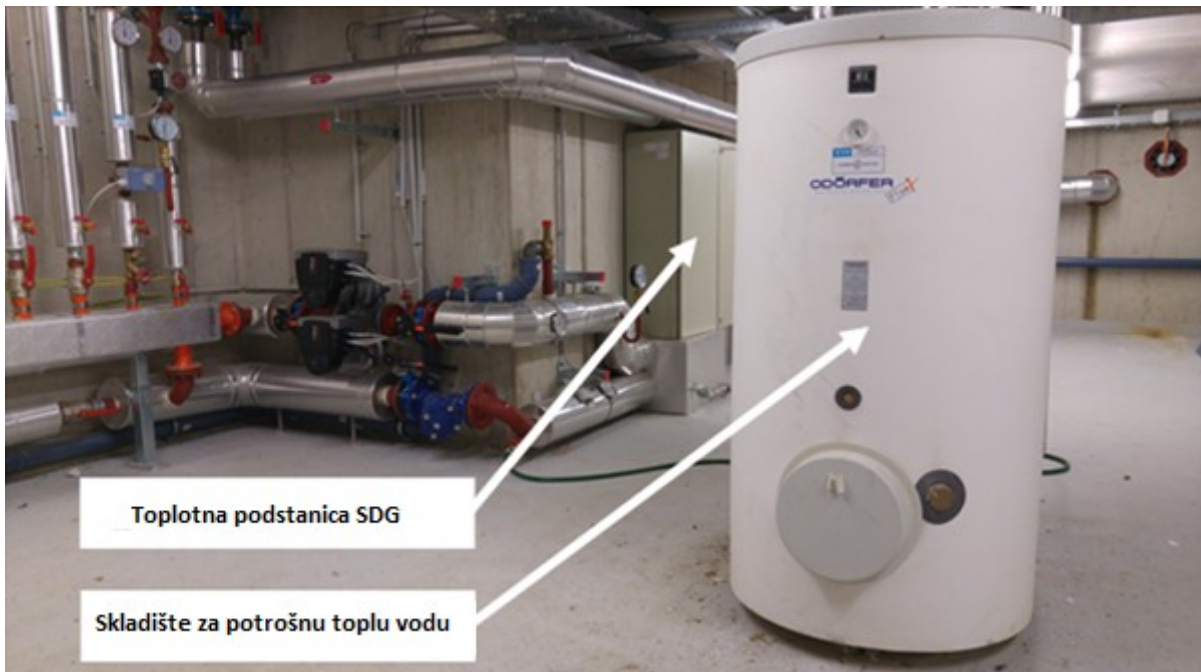
**Antrfile 6: Šta je legionela bakterija?**

Legionela je patogena grupa Gram-negativnih bakterija koja uključuju vrstu *L pneumophila* koja uzrokuju Legionelu, bolest uzrokovanu bakterijom legionele. Ona uključuje i bolest sličnu upali pluća koja se naziva Legionarskom bolešću i blagu bolest sličnu gripu koja se naziva Pontiakova groznica. Bakterija se ne prenosi sa osobe na osobu i mnogi ljudi koju se zaraze nikad ne obole. Legionela se može pojaviti u sistemima za proizvodnju potrošne tople vode u malim koncentracijama. Ukoliko koncentracija naraste, može predstaviti rizik za zdravlje. Legionela se širi u raspršenom vazduhu tako da u ljudski organizam ne ulazi kroz vodu za piće nego na primer tuširanjem.

Svetska organizacija za zdravlje (*engl. World Health Organization, WHO, 2007*) navodi uticaje temperature vode na legionelu:

- Iznad 70°C Legionela umire gotovo trenutno
- 60° 90% umire za 2 minuta
- 50°C 90% umire za 80–124 minuta, zavisno od vrste virusa
- 48 do 50°C može preživeti ali se ne može razmnožavati
- 32 do 42°C idealna temperatura za rast
- 25 do 45°C temperatura za rast
- Ispod 20°C može preživeti, čak ispod tačke zamrzavanja ali ostaje latentna

U sistemima za potrošnu tople vode temperature se moraju držati dovoljno visoko da se izbegne razmnožavanje, postoje razne tehnike za postizanje takvih uslova.



Toplotna podstanica SDG

Skladište za potrošnu toplu vodu

**Slika 42. Primer skladišta za potrošnu toplu vodu (izvor:Güssing Energy Technologies)**

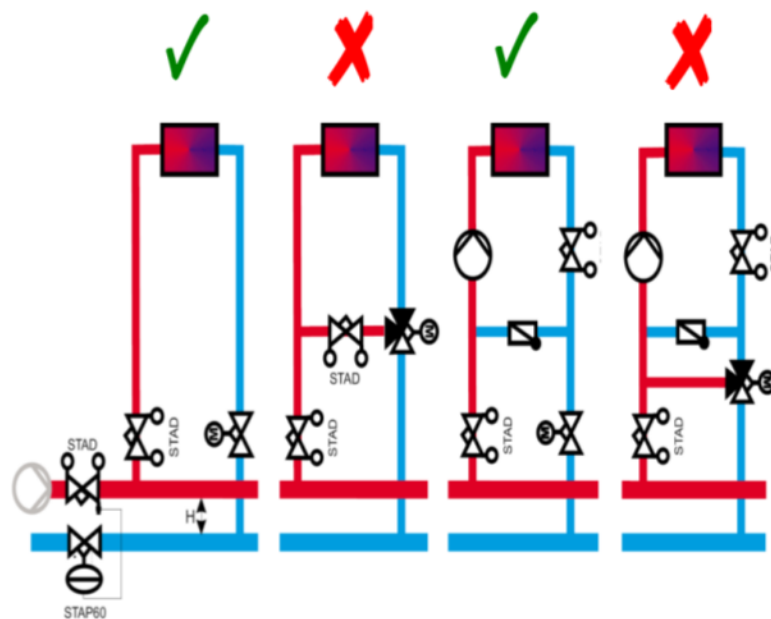
#### 5.5.4 Povezivanje potrošača na SDG

Sistem grejanja potrošača (domaćinstva) mora biti spojen na mrežu SDG na efikasan način, tj. prilagođen za rad na SDG. Povratna temperatura ne bi smela da previše poraste nakon povezivanja pojedinog potrošača, tj. polaz SDG ne sme se direktno mešati sa povratom.

Slika 43 predstavlja primer dobrih i loših konfiguracija distributivnog sistema zgrada. Praktično iskustvo pokazuje da je treća konfiguracija najčešće korišćena i da funkcioniše bez hidrauličkih problema. Pri povezivanju sistema grejanja potrošača na SDG, potrebno je pridržavati se dobre prakse koju prikazuje Slika 43. Ukoliko sistem trenutno nije odgovarajući, potrebno ga je zameniti. Takođe, potrebno je voditi računa da se sistem (tj. izmenjivač toplote, cevi, ventili, itd.) ne predimenzioše.

Slika 44 prikazuje primer distributivnog sistema poslovne zgrade koja je povezana na mrežu SDG.

Često u procesu planiranja izgradnje SDG potrošači već imaju postavljene solarne kolektore na krovovima. Integracija kolektora zavisi od raznih aspekata, poput vrste, snage i starosti. Ukoliko već postoje solarni kolektori na zgradi, preporuka je da se koriste uglavnom za proizvodnju PTV. Ako je u planu priključiti kolektore na sistem grejanja, potrebno je izgraditi skladište toplote. Toplota iz kolektora tada puni skladište toplote, a kada temperatura postane preniska, koristi se toplota iz SDG.



Slika 43. Varijante distributivnog sistema potrošača (unutar domaćinstva) povezanih na SDG  
(Izvor: Güssing Energy Technologies, zasnovano na Tour & Andersson Ges.m.b.H., 2005)



Slika 44. Distributivni sistem poslovne zgrade koja je povezana na SDG (Izvor:Güssing Energy Technologies)

## 6 Planiranje malih sistema daljinskog grejanja i hlađenja

Planiranje malih SDG vrlo je važno jer od toga zavisi ukupna efikasnost i ekonomska isplativost toplotne mreže. Pri tome mora se uzeti u obzir trenutna potrošnja toplotne energije, ali i buduća, koja u slučaju dodatnog povezivanja potrošača može biti uvećana ili ako se veliki deo zgrada obnovi, umanjena. Takođe, mreža mora biti modularna kako bi postojala mogućnost naknadno povezivanja potrošača koji nisu iskoristili početnu priliku.

Kod malih sistema, planiranje mreže može sprovesti i konsultant zadužen za idejno rešenje projekta, čak i ako njegovo zanimanje nije povezano sa tehničkom strukom. Proces planiranja može se sprovoditi u saradnji sa proizvođačima opreme za grejanje koji često pružaju osnovne alate i znanja za planiranje takvih sistema. Primeri iz struke pokazuju kako ovako planirani sistemi mogu vrlo dobro funkcionisati, npr. u Nemačkoj. Međutim, predlaže se planiranje u saradnji za to obučeni stručnjaci ako u timu za pisanje idejnog projekta ne postoji osoba koja poseduje tehnička znanja. To se posebno odnosi na komplikovane sisteme koji uključuju nekoliko izvora toplote.

### 6.1 Procena potreba za toplotom

Vrlo važan preduslov za planiranje sistema za daljinsko grejanje i hlađenje je kvalitet prikupljenih podataka o potrebama za grejanjem i hlađenjem potrošača koji planiraju povezivanje na toplotnu mrežu. Osim trenutne, potrebno je uzeti u obzir i buduće potrebe za energijom. Tačnost podataka može imati veliki uticaj na ekonomsku isplativost projekta. Za prikupljanje informacija o potrošnji toplote, mogu se koristiti sledeći izvori podataka:

- Regionalni meteorološki podaci
- Energetski pasoš sa upisanim podacima o kvalitetu izolacije zgrada
- Energetski planovi lokalnih samouprave (Program energetske efikasnosti)
- Ankete o potrošnji toplote potencijalnih korisnika
- Izmerene vrednosti

Ako je određena lokacija budućih korisnika SDG, može se krenuti sa detaljnijim planiranjem. U idealnim uslovima moguće je definisati i potencijalnu lokaciju budućeg izvora toplote. Radi sprovođenja prve faza detaljnijeg planiranja, potrebne su **karte**. Ako su potencijalni korisnici uneti u kartu, moguće je napraviti početnu verziju toplovoda i izračunati ukupnu dužinu cevi. Podaci o lokaciji potrošača mogu biti povezani sa detaljnijim informacijama o tipu zgrade, specifičnoj potrošnji toplote i starosti zgrade. Na taj način može se izraditi vrlo korisna baza podataka.

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

- Adresu korisnika, označenu na karti
- Tip postojećeg sistema grejanja (npr. grejanje na gas, lož ulje, kotao na biomasu, šporet na biomasu, električno grejanje)
- Dodatne potrošače toplote: grejna tela i grejalice
- Ukupna grejana površina objekta, izražena u m<sup>2</sup>
- Informacije o energetskom sertifikatu, ako postoji
- Izolacija, npr. 10 cm termalne izolacije
- Planirana obnova zgrade

- Godišnja potrošnja primarne energije (npr. 10 m<sup>3</sup> drva, 1000 l lož ulja, 10 000 kWh električne energije itd.)
- Način proizvodnje toplote za grejanje PTV (potrošne tople vode), npr. električni grejač itd.
- Broj ljudi koji koriste PTV u zgradi
- Vrsta grejnih tela: panelni grejači, radijatori itd.
- Način grejanja tokom dana/noći
- Minimalna polazna temperatura sistema grejanja

Drugi način prikupljanja podataka o potrošnji toplote je pomoću računa za grejanje u određenoj sezoni. Preporučuje se provera računa kroz nekoliko proteklih godina. Ova se metoda pokazala vrlo delotvornom kod malog broja potrošača sa relativno niskom potrebom za toplotom (Rutz et al. 2015.).

### 6.1.1 Potrošnja toplote u zgradama

Nakon što su prikupljeni podaci o potencijalnim potrošačima, može se izračunati ukupna potreba za toplotom. Na taj način određena je teoretska potrošnja toplote za SDG na koji su povezani svi potencijalni potrošači. Ovakav proračun može dati uvid u isplativost projekta u slučaju:

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

Proračun potrošnje toplote celog sistema određuje se dodavanjem potrošnje toplote svih potencijalnih korisnika. Potrebno je izračunati specifičnu potrošnju toplote i ukupnu efikasnost sistema. Tabela 6 prikazuje primere prikupljenih podataka o potrošnji toplote.

Pri određivanju ukupne efikasnosti sistema potrebno je biti konzervativan. Vrlo visoka efikasnost može dati pogrešnu sliku o ukupnim potrebama za grejanjem.

Tabela 6 . Primeri prikupljenih podataka o potrošnji toplote za tri različita potrošača

Potrošač Broj.	Godišnja potrošnja	Specifična potrošnja	Efikasnost sistema, izračunata na godišnjem nivou	Ukupna potrošnja toplote za SDG
1	14 m <sup>3</sup> drva	946 kWh/m <sup>3</sup> udeo 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 gasa	10 kWh/m <sup>3</sup>	80%	21 600 kWh

### 6.1.2 Vršno toplotno opterećenje u zgradama

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

Za grejanje, uključujući i proizvodnju PTV, u Austriji potrebno je oko 1 600 sati rada na maksimalnom opterećenju. Ako se posmatra samo proizvodnja energije za grejanje prostorija tada se broj sati rada na maksimalnom opterećenju smanjuje na 1 400. Vrednost



broja sati zavisi od klimatskih uslova, efikasnosti sistema i stepena toplotne izolacije zgrada. Iz tog razloga ona varira zavisno oddržave i konkretne lokacije.

Drugi korišćeni pojam, vezan za vršno opterećenje, je faktor opterećenja. On predstavlja udeo godine tokom koga postrojenje radi na maksimalnom opterećenju. Drugim rečima to je odnos proizvedene energije i potencijalno maksimalno proizvedene energije na godišnjem nivou.

Uzimajući u obzir prethodno prikazane podatke (Tabela6), mogu se izračunati vršna opterećenja. Tabela7 prikazuje rezultate.

**Tabela7. Primeri izračunavanja vršnog toplotnog opterećenja za SDG**

Potrošač	Godišnja potreba za toplotom	Proizvodnja toplote za PTV	Procenjen broj sati rada postrojenja na max. opterećenju	Potrebna vršna snaga SDG
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 toplote može se koristiti EN ISO 13790:2008-09 standard (Algoritam za proračun potrebne energije za grejanje i hlađenje prostora zgrade prema EN ISO 13790). On prikazuje metodu za određivanje potrošnje toplote za grejanje i hlađenje na godišnjem nivou u zgradama ili u njihovim pojedinim delovima.

Ponekad postoji razlika između izračunatog vršnog opterećenja i instalirane toplotne snage u pojedinoj zgradi. To je jedan od pokazatelja da je toplotni sistem u zgradi predimenzionisan.

Za izračunavanje vršnog opterećenja SDG, potrebno je uzeti u obzir faktor jednovremenosti koji određuje koji procenat korisnika istovremeno koristi sistem. Uz to, veliki uticaj ima informacija o korišćenju skladišta toplote, koje smanjuju vršno opterećenje kotla. Moguće je koristiti SDG i tokom noći, tada se smanjuju vršna opterećenja, ali se povećava ukupna potrošnja toplote. Na taj način smanjuje se investicija povezana sa vršnom instalisanom snagom postrojenja, ali i povećava komfor korisnika.

### 6.1.3 Potrošnja toplote u industriji

Potrošnja toplote u industriji zavisi od više faktora, uključujući veličinu i vrstu njenog proizvoda. Ne postoje standardizovane procenjene vrednosti potrošnje toplote u industriji kao što postoje u zgradarstvu. Međutim, neka postrojenja imaju ugrađene sisteme za praćenje potrošnje toplote i mogu se iskoristiti za potrebe proračuna njihovih potreba za grejanjem u SDG. Ako podaci ne postoje, potrebno ih je proceniti.

Potrebno je znati ukupnu potrošnju toplote, vršno opterećenje i dnevnu/sezonsku krivu toplotnog opterećenja. Osim toga, potrebno je znati i korišćene polazne temperature u sistemu proizvodnje. Potrošači kojima toplotno opterećenje jako varira predstavljaju izazov za kotao (npr. kotao na biomasu) i regulaciju protoka vode u toplotnoj mreži. Hidraulička shema mora biti detaljno izrađena kako bi se izbegle visoke povratne temperature. Optimalno bi bilo uspostaviti dogovor sa potrošačima o maksimalnoj povratnoj temperaturi.

Kako bi se izbegli navedeni problemi, potrebno je obezbediti detaljne podatke o industrijskim potrošačima.



## 6.2.2 Udeo povezanih potrošača (stepen povezanosti) i gustina toplote

Količina potrebne toplote direktno je povezana sa brojem povezanih korisnika. Iz tog razloga je udeo povezanih potrošača ključni parametar koji utiče na gustinu toplote. Udeo povezanih potrošača, stepen povezanosti, je broj povezanih korisnika u odnosu na sve potencijalne. On nije pokazatelj apsolutne potrošnje toplote, npr. gustina toplote je puno bolji indikator.

Gustina toplote (videti poglavlje 5.1) važna je karakteristika toplote i može biti korišćena kao indikator ekonomske isplativosti projekta. Generalno, što je veća gustina toplote, veća je ekonomska isplativost sistema. Gustina toplote može se izraziti preko površine naselja ili pomoću dužine toplovoda (linearna gustina toplote).

**Gustina toplote po površini naselja** jednaka je odnosu godišnje toplote isporučene u mrežu i ukupne površine naselja.

$$\text{Gustina toplote} = \frac{\text{Godišnja potrošnja toplote [MWh/god]}}{\text{Ukupna površina naselja [ha]}} \quad \text{Jednačina 4}$$

Površina naselja opisanaje sa gustom zgrada i njihovim stanjem energetske efikasnosti. Gustina zgrada u naselju definisanaje kao odnos površine zgrada i površine životnog prostora. Taj iznos u Nemačkoj iznosi npr. 0,2 za zgrade sa jednim domaćinstvom u selu do 1,5 za višestambenu zgradu u središtu grada. Gustina toplote varira od 60 MWh/ha/god za standardne pasivne kuće u ruralnom području do 3 600 MWh/ha/god za loše izolovane zgrade u centru grada. Sistemi daljinskog grejanja generalno su isplativi pri gustom naselju toplote u rasponu od 150 do 300 MWh/ha/god (Von Hertle et al. 2015).

**Gustina toplotne mreže**, još se naziva i linearna gustina toplote, je odnos toplote distribuirane u toplotnu mrežu tokom godine i ukupne dužine toplovoda. Dužina toplovoda jednaka je dužini trase toplovoda.

$$\text{Linearna gustina toplote} = \frac{\text{Godišnja potrošnja toplote [MWh/god]}}{\text{Dužina trase toplovoda [m]}} \quad \text{Jednačina 5}$$

Sledeći primer pogodan je za ilustruju: ukupna potrošnja toplote SDG iznosi 638 000 kWh/a, a prema prvom projektnom rešenju, ukupna dužina toplovoda iznosi 570 m cevi (dužina trase je 570 m: dužina povratnog voda je 570 m, dužina polaznog voda je takođe 570 m). Prema gornjoj jednačini, linearna gustina toplote iznosi 1 119 kWh/m po godini.

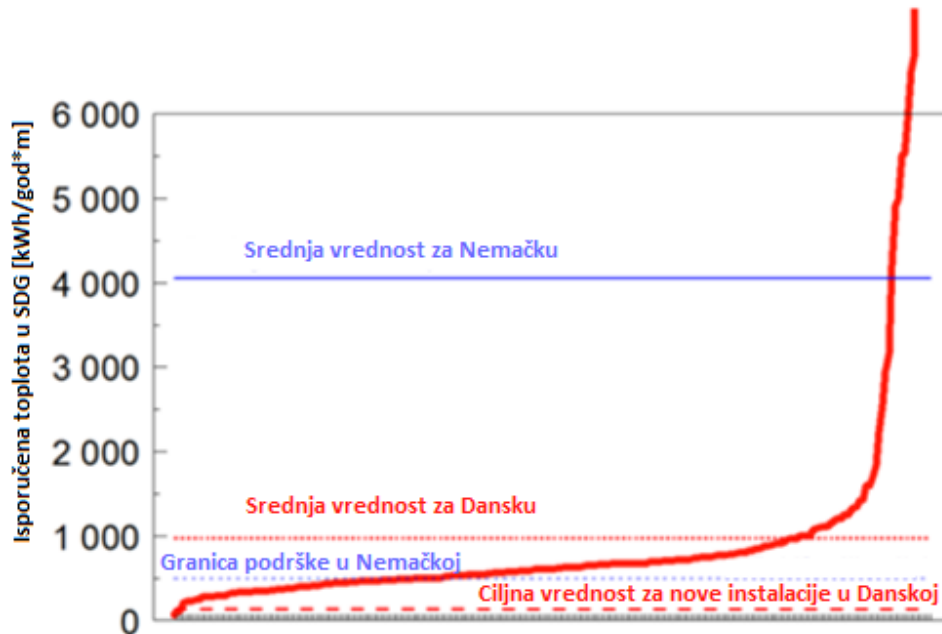
Gustina toplotne mreže važan je faktor za određivanje ekonomske isplativosti projekta. Cilj bi trebao da bude da se dostavi što više toplote u što manju toplotnu mrežu. Međutim izvodljivost projekta zavisi o raznim graničnim uslovima. Takođe zavisi od: cene toplote, temperaturnog režima, gubitaka u mreži i drugih faktora. Prema tome, različita pravila važe za minimalnu linearnu gustinu toplote pri kojoj se projekt ekonomski isplati. Osim toga, isplativost zavisi i od lokacije odnosno države gde se planira gradnja SDG.

Na primer, u Austriji predložena granična vrednost od 900 kWh/m/a kako bi projekt bio ekonomski isplativ. Ako je gustina manja od 900 kWh/m/god, postoji mogućnost da potencijalni korisnici sa vrlo niskim potrebama zatoplotom ili korisnici koji su previše udaljeni od izvora toplotene budu povezani na SDG.

U Nemačkoj, radi dobijanja podsticaja za projekte izgradnje malih SDG iz programa nemačkog KfW, neophodno je zadovoljiti minimalnu linearnu gustinu toplote od 500 kWh/m po godini. Srednja linearna gustina toplote u Nemačkoj iznosi 4 000 kWh/m/god (Nast et al. 2009.) Ova vrednost ne uključuje samo male SDG, već i one velike. Ovaj iznos baziranje na podacima iz 2009. godine i moguće je da jedo sada izmenjen nakon izgradnje mnogo novih malih SDG.

U Danskoj, srednja gustina toplotne mreže iznosi 1 000 kWh/m/god. Postoje velike razlike u gustini, a postoje, takođe, i SDG čija je linearna gustina manja od 500 kWh/m/god.

Ekonomski isplativim projekatomSDG u Danskoj smatra se onaj čija je linearna gustina toplote jednaka 200 kWh/m/god. Taj iznos mnogo je manji nego u Nemačkoj. Ova razlika između Danske i Nemačke zasnovana je na činjenici da danski SDG rade sa nižim temperaturnim režimima nego oni u Nemačkoj (Nasi et al. 2009.)



Slika 46. Godišnje isporučena toplota po dužini toplovoda za 238 SDG u Danskoj, uključujući i srednje vrednosti za Nemačku i Dansku (Izvor: Michael Nast, Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.)

### 6.2.3 Dimenzionisanje toplovoda

Radi zadovoljenja potreba kupaca, potrebno je obratiti pažnju na vrlo važnu karakteristiku sistema – **temperaturni režim** (videti poglavlje 5.2). Iz tog razloga potrebno je uzeti u obzir **sezonske efekte** u potrošnji toplote. Temperature u sistemu mogu varirati, zavisno od rada sistema u zimskoj i letnjoj sezoni.

Premda su moderni SDG vrlo efikasni, **gubici toplote** su neizbežni. Gubici bi po pravilu uvek trebali biti što je moguće manji, ali uvek mora postojati prostor za optimizaciju između gubitaka toplote i dodatnih investicionih troškova radi smanjenja gubitaka. Određivanje toplotnih gubitaka potrebno je radi izračunavanja temperaturnog režimasistema. To će takođe imati uticaj na izbor i dimenzionisanje izvora toplote, uključujući i njegovu vršnu snagu. Sledeći parametri utiču na gubitke toplote u sistemu Rutz et al. (2015.):

- Dužina toplovoda
- Toplotna izolacija cevi
- Vrsta tla, za ukopane cevi
- Visina tla iznad položenih cevi, za ukopane cevi
- Zapremina, protok i temperatura vode u sistemu
- Predviđena temperaturna razlika na poslednjem izmenjivaču toplote
- Broj serijski povezanih izmenjivača toplote

Postoji više načina za **izražavanje gubitake toplote** u SDG (Wiese 2007.):

- Temperaturna razlika između polazne i povratne temperature

- Relativni iznos ili procenat gubitaka toplote
- Ukupni iznos gubitaka toplote u W/m, kWh/m, kWh/a

Za izračunavanje relativnih gubitaka toplote mogu se koristiti Jednačina1 i Jednačina2. Pri tome važno je razlikovati relativne gubitke u potrošnje toplote (u odnosu na potrošnju) i relativne gubitke u proizvodnji toplote (u odnosu na proizvodnju). Preciziranje je nužno iz zakonskih razloga jer na taj način mogu biti propisani uslovi kako bi se odbile ili odobrile podsticajne mere za izgradnju SDG. Na primer, bonus za kogeneraciona postrojenja u Nemačkoj može se dobiti samo ako su relativni gubici toplote u mreži manji od 25%, definisani prema potrošnji toplote.

Uobičajeni iznosi relativnih gubitaka toplote iznose 15-20% potrošnje toplote. Taj iznos može biti puno manji, na primer u Kopenhagenu iznosi samo 7%, ali i mnogo veći, čak do 50% kod loše dizajniranih sistema (Danska energetska agencija i Energinet.dk, 2015.). Kod nekih toplovoda, gubici toplote mogu biti samo 2% proizvedene toplote.

$$\text{Gubici toplote toplovoda [\%]} = \frac{\text{Proizvedena toplota [kWh/god]} - \text{Potrošnja toplote [kWh/god]}}{\text{Potrošnja toplote [kWh/god]}} \quad \text{Jednačina1}$$

$$\text{Gubici toplote toplovoda [\%]} = \frac{\text{Proizvedena toplota [kWh/god]} - \text{Potrošnja toplote [kWh/god]}}{\text{Proizvedena toplota [kWh/god]}} \quad \text{Jednačina2}$$

Sledeće, potrebno je definisati **protok** medijuma za prenos toplote (npr. m<sup>3</sup>/s), pritisak (npr. bar) i padove pritiska (kPa).

Hidraulički proračuni nužnisu kako bi se definisale dimenzije cevovoda u SDG, za šta se mogu koristiti razni alati za simulaciju, npr. Termis. Uglavnom potrebni su sledeći parametri kod hidrauličkog proračuna:

- Karte koje sadrže: puteve, zgrade, visinske podatke itd.
- Katalog cevi: dimenzije, gubici toplote, itd.
- Podaci o potrošačima: potrošnja toplote, temperaturna razlika
- Granični uslovi: projektovana temperatura, gradijent pritiska, brzina toka medijuma u cevima, itd.

Ponekad će biti potrebne dodatne informacije o projektu, zavisno od korišćenog alata.

Pri projektovanju toplovoda, dimenzije će biti određene u skladu sa zimskim opterećenjima, ali je pritom potrebno pripaziti i na letnji period, jer se tada mogu javiti kritične tačke gde vlada vrlo nizak pritisak i brzine toka. Uobičajena je praksa projektovati toplovod na način da su prečnici toplovoda najmanji kako bi se smanjili toplotni gubici. Međutim, ponekad je potrebno uzeti u obzir i buduće širenje toplotne mreže.

Moguće je smanjiti temperaturni režim tokom leta kako bi se povećala efikasnost toplovoda. U nekim slučajevima izvodljivo je zaustaviti postrojenje kako bi se smanjili veliki gubici toplote. Međutim to zavisi od sistema do sistema. Na primer, nije moguće prekinuti rad postrojenja ako postoji dogovor sa kupcima toploteo neprekidnom radu i snabdevanju toplotom za grejanje PTV.

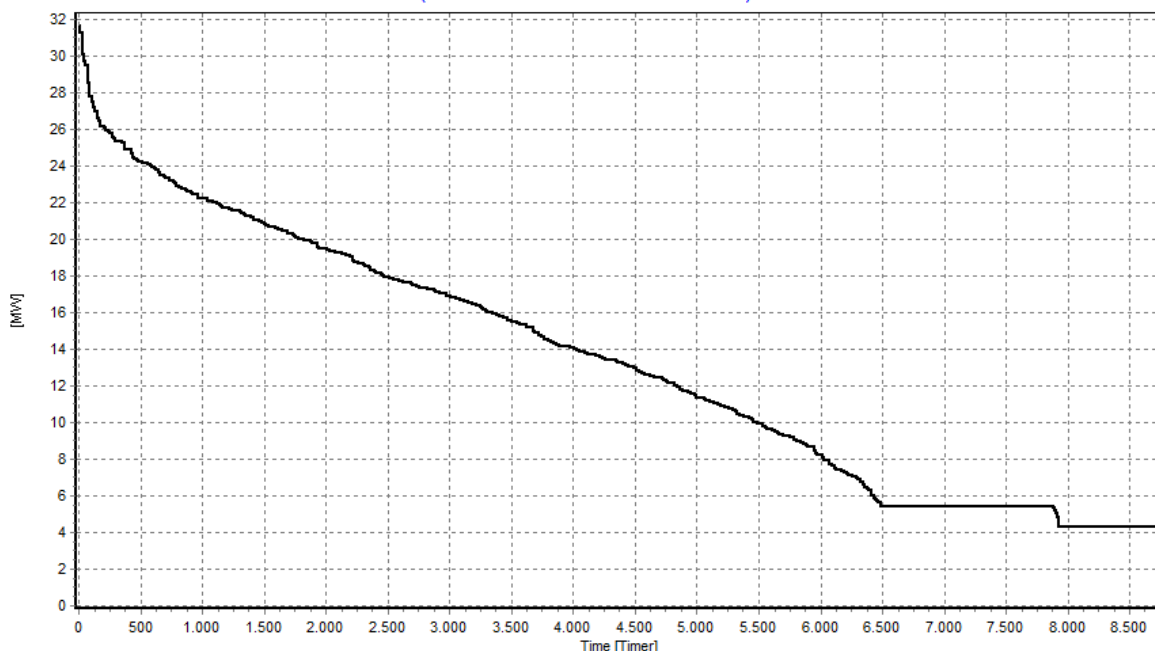
### 6.3 Projektovanje postrojenja za proizvodnju toplote

#### 6.3.1 Kriva trajanja opterećenja

Sezonska varijacija potrošnje toplote ključna je informacija dobijena analizom potrošnje. Analiza krive trajanja opterećenja daje uvid u varijaciju potrošnje toplote. To će poslužiti pri definisanju instalisanih snaga različitih izvora toplote.

Slika 47 prikazuje primer krive trajanja opterećenja za SDG u Danskoj, gde je opterećenje prikazano u MW za određen broj sati u godini. Koristeći krivu trajanja opterećenja može se dobiti uvid u broj radnih sati postrojenja na vršnom, srednjem i baznom opterećenju. Na datom primeru može se videti da je broj sati rada na vršnom opterećenju jednak 1 400 – 2 000 sati, na srednjem 2 800 – 6 000, a na baznom 8 760 kroz čitavu godinu.

Posebno je važno uzeti u obzir i najniže temperature na zadatoj lokaciji, jer utiču na količinu potrebne toplote i vršno opterećenje a time i na instalisanu snagu postrojenja. Klimatski podaci uglavnom su dostupni kod javnih meteoroloških institucija. Uz poznavanje podataka o zgradi (oblik, veličina, izolacija, način upotrebe) i meteoroloških podataka moguće je proračunati tačnu potrošnju toplote i sezonske specifikacije SDG (Rutz et al. 2015).



Slika 47. Primer krive trajanja opterećenja, danski primer (Izvor: PlanEnergi).

#### 6.3.2 Dimenzionisanje sistema za proizvodnju toplote

Osim prikupljanja podataka o potrošnji i projektovanja mreže, potrebno je isplanirati sistem za proizvodnju toplote. Sistem se sastoji od jedne ili više jedinica koje proizvode toplotu. **Pametna kombinacija različitih tehnologija proizvodnje toplote** važna je karakteristika malih SDG koji koriste varijabilne OIE kao što je solarna energija.

Slika 49, Slika 50 i Slika 51 prikazuju primere kombinacija malih modularnih SDG.

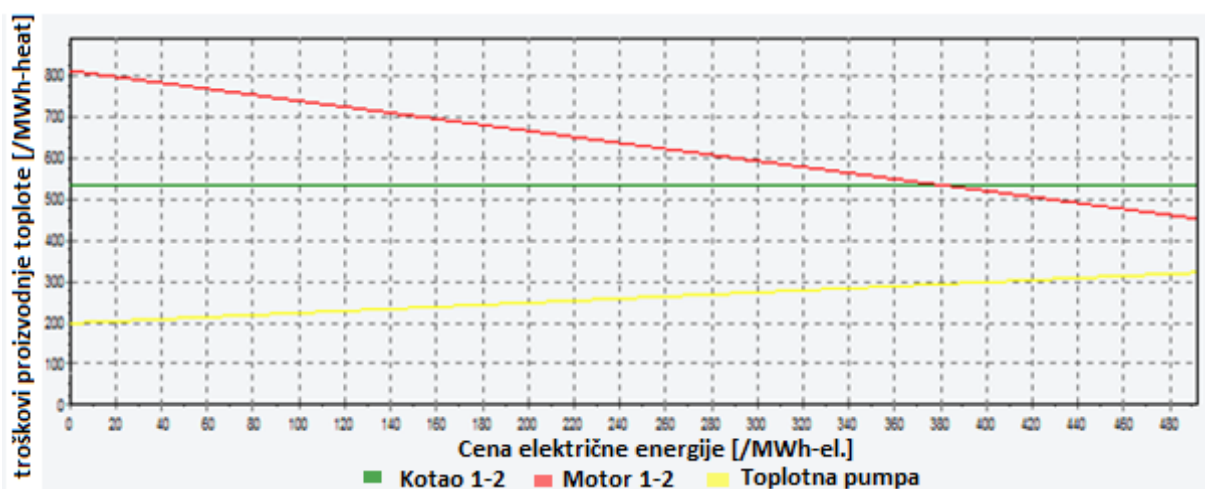
Jedan od razloga kombinovanja više različitih tehnologija je robusnost u pogledu sigurnosti snabdevanja toplotom. **Spajanje u module više** manjih proizvodnih jedinica doprinosi da celokupan sistem bude sigurniji.

Sistem koji koristi veći broj različitih proizvodnih jedinica ima mogućnost korišćenja tehnologija koje se **jeftinije za korišćenje**, na primer solarne kolektore, i na taj način smanjiti korišćenje jedinica koje pokrivaju vršno opterećenje i čiji su troškovi vrlo visoki. Pri čemu se

može smanjiti i njihova projektovana snaga. Dodatno, proizvodnja se može prilagoditi trenutnom stanju cena primarne energije. Na primer, mnogi sistemi u Danskoj obuhvataju više jedinica: kotlove na prirodni gas ili biomasu, ali i električne grejače. U slučaju niske cene električne energije na tržištu, pa čak i negativne, toplotu proizvode električni grejači. U izveštaju CoolHeating projekta (Laurberg Jensen et al. 2016.) mogu se naći primeri kombinacije nekoliko različitih izvora toplote i tehnologija u malim SDG.

Kod kombinovanja različitih proizvodnih tehnologija, potrebno je obratiti pažnju na **upravljanje angažovanjem toplotnih izvora** kako bi se postigla što je moguće niža cena proizvedene toplote.

Slika 48 prikazuje primer angažovanja toplotnih izvora u sistemu **kombinovane proizvodnje električne energije i toplote** gde je neto cena proizvedene toplote prikazana kao funkcija cene električne energije. U ovom primeru, sistem se sastoji od dva kotla, dva CHP postrojenja (motora) i toplotne pumpe.



Slika 48. Primer upravljanja angažovanjem toplotnih izvora gde cena toplote zavisi od cene električne energije (Izvor: PlanEnergi)

Neto proizvodni troškovi toplote energije u kotlovima (NHPC, *engl. net heat production costs*) su konstantni<sup>16</sup>, ne zavise od cene električne energije jer proizvode samo toplotu energiju. NHPC kogeneracijskih jedinica zavise od cene električne energije, NHPC pada povećanjem cene električne energije. U slučaju toplotne pumpe i električnog grejača, situacije je obrnuta. Koristeći više različitih tehnologija istovremeno, moguće je upravljati angažovanjem izvora toplote u skladu sa cenama električne energije, npr. CHP će proizvoditi energiju kada je cena električne energije visoka, a toplotne pumpe kada je cena niska.

Sledeća strategija je **kombinacija biomase i solarne energije** kako bi se smanjili eksploatacioni troškovi. Na taj način moguće je pokriti potrebe za toplotom iz solarnih kolektora tokom leta i na taj način smanjiti potrošnju biomase u tom periodu (Slika 3), što znači da se smanjuju troškovi proizvodnje i održavanja kotla na biomasu.

Uz korišćenje različitih jedinica za proizvodnju toplote, moguće je pametno koristiti **skladište toplote**, koje ima važnu ulogu u sistemu. Kratkoročno skladištenje toplote, na nekoliko sati, može smanjiti vršno opterećenje sistema, a sezonsko skladištenje toplote može povećati udeo solarnih kolektora u SDG. Toplotna pumpa može biti vrlo važan deo takvog sistema.

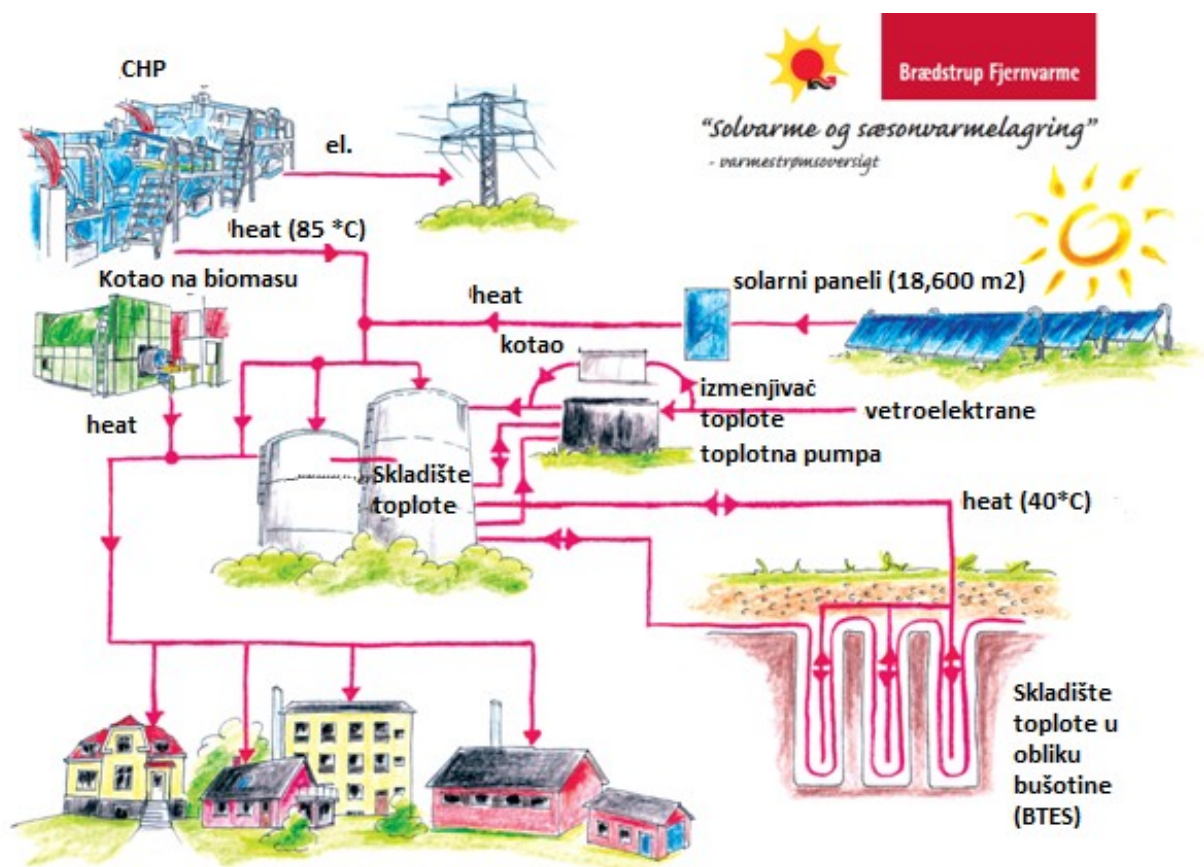
Ukupna cena proizvodnje toplote zavisi od troškova goriva, poreza, cene električne energije i troškova rada i održavanja. U sistemu sa različitim tehnologijama, cena proizvodnje toplote energije određuje broj radnih sati svake proizvodne jedinice, npr. u godini sa visokim cenama električne energije, CHP će raditi veći broj sati nego u godini sa nižim cenama.

<sup>16</sup> Smatra se da je potrošnja električne energije kotla u ovom slučaju zanemarljiva

Jedan od nedostataka ovakvih sistema koji kombinuju više vrsta tehnologija i proizvodnih jedinica je njegova kompleksnost, koja zahteva i naprednije sisteme upravljanja. Sledeći nedostatak vezan je za stepen iskorišćenja pojedinih jedinica, jer neke jedinice će raditi samo manji broj sati, nego što je to maksimalno moguće, npr. broj sati rada kotla na biomasu može biti smanjen. Iz tog razloga isplativost projekta se mora izračunati za čitav sistem, a ne za pojedine segmente. Ako su troškovi i nivo kompleksnosti vrlo visoki, preporučuje se korišćenje konsultantskih usluga firmi iz delatnosti planiranja.

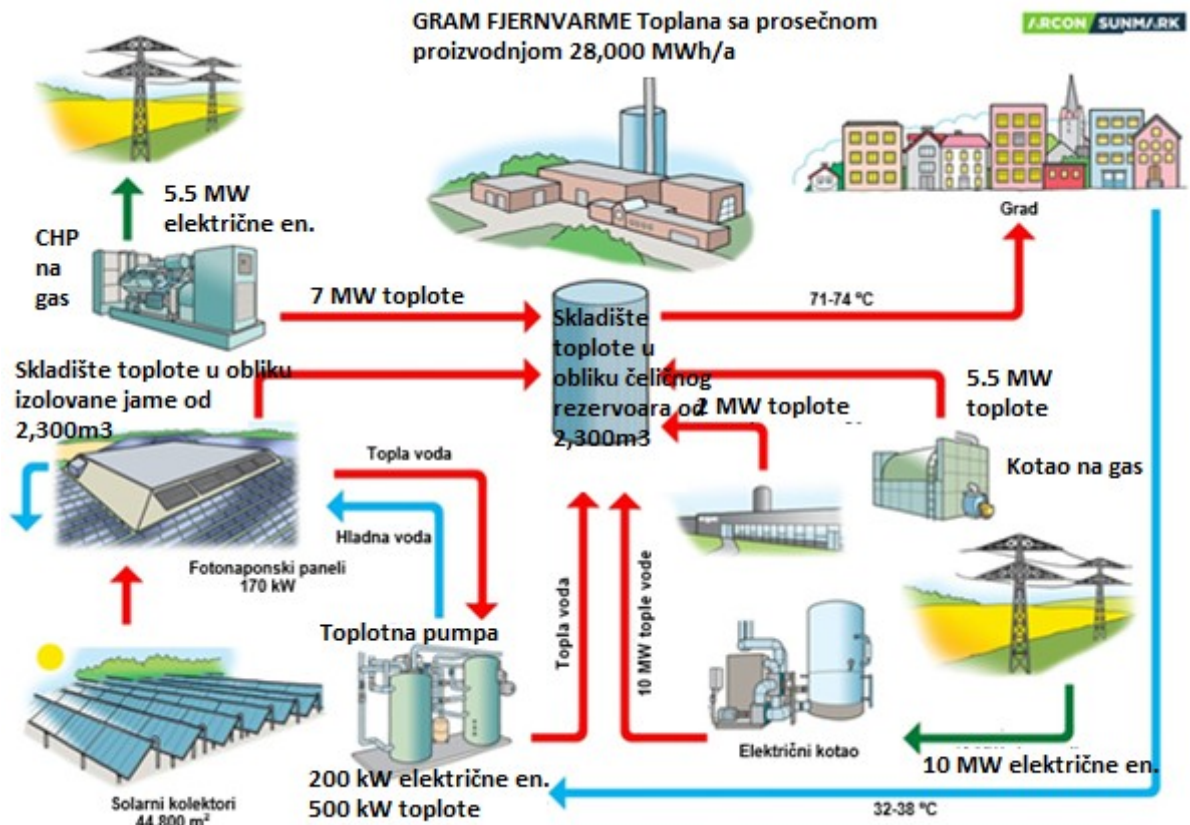
Potrebno je analizirati dostupne tehnologije, energetske izvore i ukupne potrebe za toplotom pre investiranja u novi SDG kako bi se optimizovala investicija i rad postrojenja.

Za dimenzionisanje proizvodnih jedinica, poželjno je koristiti krivu trajanja opterećenja (Poglavlje 6.3.1). Za detaljno planiranje, preporučuje se korišćenje **računarskih alata**, poput energyPRO. Ovaj alat ima mogućnost izrade krive trajanja opterećenja, izračunate prema pretpostavkama o potrošnji i lokalnim meteorološkim uslovima. Moguće je napraviti detaljan plan koristeći računarske alate.

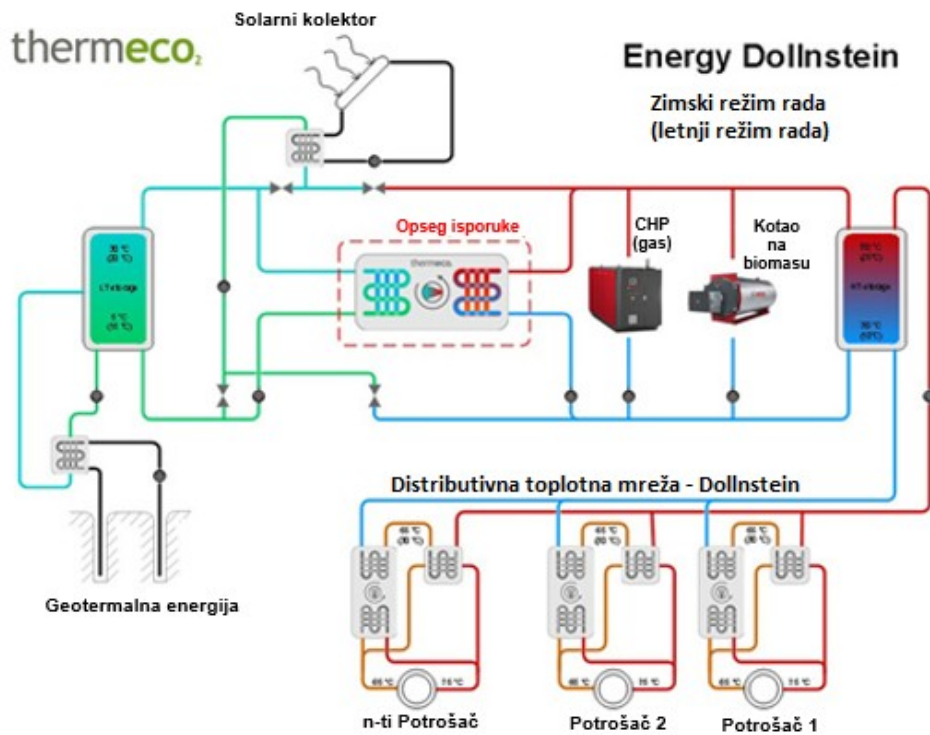


Slika 49. Shema SDG u Bredstrupu, Danska (Izvor: braedstrup-fjernvarme.dk)

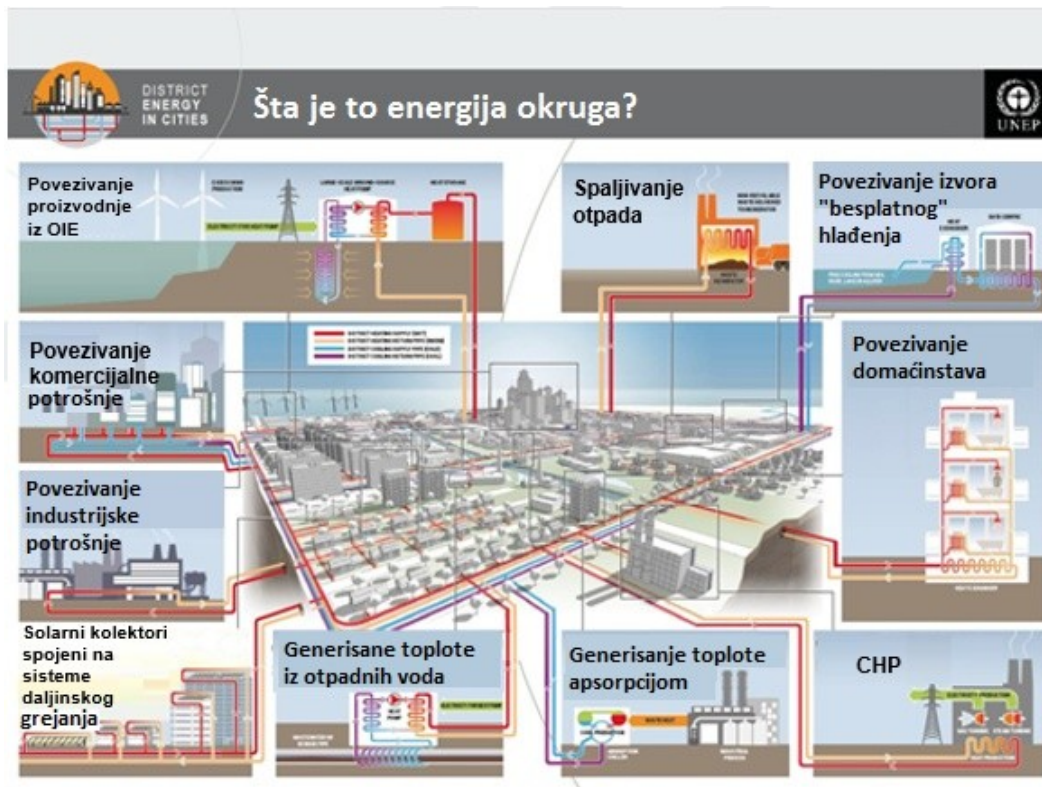




Slika 50. Shema SDG u Gramu, Danska (Izvor: Rutz D.)



Slika 51. Shema SDG u Dolnštajnu (Izvor: Dürr thermea)



Slika 52. Komponente većeg SDG (Izvor: UNEP, [www.districtenergyinitiative.org](http://www.districtenergyinitiative.org))

#### 6.4 Potrebe i navike krajnjih korisnika

Osim tehničke analize potrošnje toplote, potrebno je napraviti i netehničku analizu. Iz tog razloga nužno je uzeti u obzir potrebe i navike krajnjih korisnika u daljim analizama.

Potrebno je razmotriti **zainteresovanost** korisnika za priključenje na SDG. Razlozi korisnika da se priključe mogu biti različiti. Niže cene toplote, bolja usluga, podrška i korišćenje OIE i veći komfor mogu biti potencijalni razlozi. Krajnji korisnik jedino mora da plati potrošenu toplotu i ne treba da brine o godišnjim troškovima goriva kao što je to slučaj sa individualnim grejanjem. Povećani komfor za krajnje korisnike je ključna karakteristika SDG, ali je ujedno i izvor konkurentnosti SDG u odnosu na druge opcije. Dodatna pogodnost je povećanje životnog prostora u objektu jer komponente SDG zauzimaju manje prostora u stanu nego pri korišćenju individualnog grejanja. Pri priključenju na SDG, potrebno je jedino rezervisati prostor za toplotnu podstanicu, i u nekim slučajevima i skladište toplote. Pri individualnom grejanju npr. lož uljem potrebno je rezervisati prostor za kotao, rezervoar vode i lož ulja.

Direktan odnos između krajnjeg korisnika i pružaoca usluga (operatera), kao i dobro informisanje, mogu poboljšati odnos korisnika prema SDG opciji. Zavisno od nivoa razvoja projekta, moguće je prikupiti pisma podrške potpisana od strane potencijalnih korisnika spremnih za priključenje na sistem. Ovo je vrlo važno u početnoj fazi projekta jer postoji velika mogućnost da svi potencijalni korisnici neće hteti da se priključe na SDG, što smanjuje potencijalnu potrošnju toplote posmatranog područja.

Kada projekt podmakne u razvoju, bilo bi dobro pripremiti **dugoročne ugovore** između kupca i proizvođača toplote energije usled visoke cene investicije i truda potrebnog kako bi se izradio SDG. Odnosi definisani u ugovoru podložni su zakonima i odlukama lokalnih vlasti koje se vezuju za SDG i prodaju toplote. Pravno lice koje proizvode i prodaje toplotu, operater SDG, mora biti transparentna i jasno predstavljena krajnjim kupcima toplote. Na taj način stvoriće se uzajamno poverenje između kupca i proizvođača što je ključno u takvom

projektu. Radi povećanja broja potpisanih ugovora, predlaže se da se potencijalnim kupcima dostavi sledeće:

- Pismo dobrodošlice
- Informacije o proizvođaču
- Sporazum o proizvodnji toplote
- Uvlovi sporazuma
- Tehnički uslove sporazuma
- Način tarifiranja toplote i primer ugovora

U ugovoru sa kupcem toplote, potrebno je dogovoriti se oko **koncepta snabdevanja toplotom**. Postoje dva glavna i različita koncepta, nazvani: osnovno snabdevanje toplotom i potpuno snabdevanje toplotom.

U **konceptu osnovnog snabdevanja toplotom**, proizvođač snabdeva potrošača samo određenim delom potrebne toplote. Ovaj model je često korišćen ako je toplotna energija zapravo otpadna toplota određenog postrojenja. Proizvođač ne garantuje potpuno snabdevanje toplotom. U tome slučaju potrebno je postojanje dodatnih izvora toplote koji će krajnjemu kupcu omogućiti grejanje u trenucima kada proizvođač to nije u mogućnosti da mu omogući. Ovo se uglavnom događa u trenucima vršne potrebe za toplotom ili prilikom kvara na sistemu. Kod ovakvog koncepta, rizik koji preuzima proizvođač je minimalan, ali je i cena toplotne energije usled toga smanjena. Kupci toplote imaju koristi jer kupuju relativno jeftinu toplotu, ali moraju investirati u toplotnu podstanicu, dodatnikotaoi njegovo održavanje.

Kod **koncepta potpunog snabdevanja toplotom**, celokupna potrošnja toplote pokrivena je pomoću SDG. Ovo je uobičajeni model ako se gradi novi takav sistem. Ovaj koncept uključuje snabdevanje toplotom pri vršnom toplotnom opterećenju, npr. hladne zime, ali i onda kada dođe do kvara u sistemu. Na primer u Nemačkoj, u mnogim sistemima garantuje se snabdevanje toplotom do  $-15^{\circ}\text{C}$  spoljne temperature. U ovakvi slučajevima proizvođač toplote ima veće investicione troškove pošto mora instalirati kotao veće vršne toplotne snage ili dodatne kotlove u slučaju kvara primarnog izvora toplote. Pri ovakvom konceptu povećan je rizik za proizvođača toplote jer mora garantovati neprekidno snabdevanje toplotom kada je to kupcu potrebno. Pošto je kupac čitavu odgovornost proizvodnje toplote prebacio na proizvođača, moguće su više cene toplote, ali je i komfor krajnjeg korisnika najveći (Rutz et al. 2015.).

Uz tehničku procenu, moguće je analizirati **navike u potrošnji i podatke** o krajnjim korisnicima. Na taj način procenjuju se sezonske i dnevne navike u vezi potrošnje energije kao i vršna opterećenja.

Potrebno je uzeti u obzir, da **navike korisnika** imaju veći uticaj na ukupnu potrošnju toplote nego vrsta tehničke opreme. Potrošnja toplote može značajno varirati za isti tip zgrade usled različitih navika korisnika. Na primer, drugačije navike ventilacije prostorija i održavanje sistema grejanja mogu imati veliki uticaj na ukupnu potrošnju toplote. Priključivanje kupaca na SDG može biti dobra prilika za obrazovanje o energetskej efikasnosti. Isto tako, potrebnisu redovni pregledi i održavanje opreme za grejanje u zgradi. Taj posao najčešće preuzima vlasnik zgrade, a ne proizvođač toplote. Taj posao mogao biti dodatna usluga proizvođača toplote pri čemu bi se u tom slučaju povećala saradnja sa lokalnim instalaterima opreme za grejanje.

Na kraju, **poslovni model** SDG može uključivati i saradnju sa krajnjim kupcima. Oni mogu biti uključeni kao investitori ili deoničari, posebno u zadružnim modelima poslovanja. Na ovaj način moguće je povećati ekonomsku isplativost i izvodljivost projekta.

## 6.5 *Ekonomičnost malih SDG*

Na ukupnu ekonomičnost malih SDG utiče više faktora na više različitih nivoa. Na primer, na lokalnom nivou, cena proizvodnje energije iz OIE često se u društvu upoređuje sa cenom proizvodnje iz fosilnih goriva. Ako su sistemi sa OIE jeftiniji od fosilnih goriva tada će biti realizovani. Ali, ako su troškovi veći, tada projekt OIE neće biti realizovan. Na nivou lokalne samouprave, ekonomičnost zavisi i od lokalnih mera podsticaja.

Iz tog razloga u nastavku su prikazani samo najvažniji parametri koji utiču na ekonomsku isplativost projekata. Detaljnije informacije prikazane su u ostalim izveštajima CoolHeating projekta. Takođe može se koristiti i kalkulator ekonomske isplativosti, izrađen u sklopu CoolHeating projekta. Ključni faktori koji utiču na ekonomsku isplativost uključuju:

- Investicione troškove
- Troškove proizvodnje i održavanja
- Potrošnju toplote krajnjih korisnika
- Cenu goriva
- Poreze
- Kvalitet i životni vek trajanja opreme
- Model poslovanja
- Vlasništvo nad SDG

## 7 Tehnologije za hlađenje

Povećanjem srednjih temperatura usled globalnog zagrevanja, potrebe za energijom za hlađenje postaju sve važnije. Međutim, i trenutna potrošnja energije vezana za hlađenje je značajna. Hlađenje je potrebno u raznim ljudskim delatnostima:

- 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 hemijskoj industriji

Zavisno od potreba rashladne energije na određenoj temperaturi, OIE se mogu upotrebiti u procesima hlađenja. Hlađenje je najčešće potrebno tokom leta, odnosno u razdobljima kada je solarno zračenje izraženo. Iz tog razloga, proizvodnja energije za hlađenje pomoću solarne energije i otpadne toplote iz drugih procesa može povećati udeo OIE.

Radi povećanja udela OIE mogu se koristiti klasični hladnjaci, apsorpcijski hladnjaci, adsorpcijski hladnjaci i toplotne pumpe. Različite tehnologije za hlađenje prikazane su u nastavku.

### 7.1 Prirodno hlađenje

Prirodno hlađenje je jeftino hlađenje („besplatno“) gde se koristi niska temperatura, na primer temperatura vazduha, zemlje ili vode. Takvo hlađenje nije u potpunosti besplatno jer je potrebna određena količina energije za pokretanje ventilatora, kompresora i upravljačkih uređaja. Međutim, takvo hlađenje značajno smanjuje troškove i emisije gasova sa efektom staklene bašte. Kao prirodni izvori rashladne energije, mogu se koristiti:

- Hladna voda iz jezera, mora ili reka
- Niska temperatura vazduhatokom noći
- Niska temperatura vazduha usled velike nadmorske visine
- Niska temperatura zemlje

Zavisno od sistema i potreba, prirodni izvori rashladne energije mogu se koristiti zasebno ili u kombinaciji sa konvencionalnim tehnologijama za hlađenje kao što su klasični hladnjaci. U slučaju promenljivog potencijala rashladnog izvora, na primer hladnogvazduha tokom noći, može se izbeći korišćenje konvencionalnih hladnjaka u tom periodu. U tom slučaju konvencionalni hladnjaci mogu se koristiti samo tokom vršnih opterećenja, npr. u toku dana.

Jednostavna primena prirodnog hlađenja je klimatizacija zgrade pri čemu se koristi toplotna pumpa koja ima i mogućnost grejanja tokom zime. Leti je prosečna temperatura tla 8-12°C i SDG može poslužiti za hlađenje zgrade. Posebno ako centralni sistem grejanja ima velike površine kao što su panel grejači ili podno grejanje. Niska temperatura tla može biti korišćena za efikasno hlađenje zgrade. Pri tome treba obratiti pažnju da se radijatori ne rashlade ispod temperature kondenzacije kako kondenzovana voda ne bi oštetila zgradu.

Drugi način prirodnog hlađenja je projektovanje zgrade na način da se zgrada tokom noći ohladi na određenu temperaturu pomoću spoljnogvazduha relativno niske temperature kako bi zgrada ostala klimatizovana i tokom dana.

## 7.2 Kompresorski rashladni uređaji

Kompresorski rashladni uređaji najčešće su korišćeni u hlađenju zgrada i vozila. Osim toga, koriste se i u domaćinstvima i u komercijalne svrhe, u hemijskoj industriji, skladištima hrane, hladnjačama itd.

Kompresioni rashladni uređaji koriste rashladno sredstvo kao medijum, koje apsorbujetoplotu iz prostora koji je potrebno ohladiti i potom tu toplotu otpušta na drugom mestu. Ključni deo uređaja je električnikompresor. Ostali delovisi stema su: kondenzator, termalni ekspanzioni ventil i isparivač.

U procesu, rashladno sredstvo ulazi u kompresor u gasovitom stanju. Tu mu se povećava pritisakzbog čega mu raste temperatura i prelazi u stanje pregrejane pare. Pregrejana para rashladnog medijuma hladi se vazduhom ili vodom što dovodi do kondenzacije pare natrag u tečno stanje. Kondenzovani rashladni medijum tada je u stanju vrele tečnosti. Zatim ulazi u ekspanzioni ventil gde mu se naglo spušta pritisak zbog čega mu pada i temperatura što dovodi da deo rashladnog sredstva ponovo isparava. Sada rashladni medijum ponovno može apsorbovati toplotu, ispariti pa zatim ući u kompresor čime se zatvara ciklus hlađenja.

Najveća prednost kompresorskih rashladnih uređaja je njihova jednostavnost, pouzdanost i njihova široka primena u raznim sistemima. Trenutni nedostaci povezani su sa visokim troškovima električne energije za rad kompresora. Pošto su cene električne energije često visoke, troškovi rada ovih rashladnih uređaja moraju biti uzeti u obzir.

U odnosu na adsorpcione i apsorpcione rashladni uređaje, klasični rashladni uređaji pretežno koriste električnu energiju, dok ostali sistemi uglavnom koriste toplotu, na primer iz solarnih kolektora. Kako su cene električne energije iz solarnih kolektora značajno opale u zadnjih par godina, hlađenje na bazi klasičnih kompresionih rashladnih uređaja može biti konkurentno sa mnogo inovativnijim tehnologijama, kao što su adsorpcijski i apsorpcijski rashladni uređaji, koje se puno manje koriste u sektoru hlađenja. Iz tog razloga kombinacija solarnih panela i klasičnih rashladnih uređaja može biti konkurentna ovakvim sistemima i u budućnosti.

## 7.3 Apsorpcioni rashladni uređaji<sup>17</sup>

U odnosu na kompresorskih rashladne uređaje koji pretežno koriste električnu energiju, **apsorpcioni rashladni uređaji** obično koriste određeni izvor toplote, koji može biti solarna energija ili otpadna toplota za potrebe procesa hlađenja. Oni su alternativno rešenje konvencionalnim rashladnim uređajima tamo gde:je električne energije skupa, nepouzdana, ali ponekad i nedostupna, a buka kompresora nepoželjna i problematična, i postoji višak toplote, npr. u biogasnom postrojenju. Apsorpcioni rashladni uređaji imaju prednosti u odnosu na kompresorske rashladne uređaje, u pogledu (Skagestad & Mildenstein, n.d.):

- Manje potrošnje električne energije
- Manjeg nivou buke i vibracija tokom rada
- Sposobnosti iskorišćenja viška otpadne toplote za rashladnu energiju
- Radni fluidi uglavnom ne predstavljaju pretnju za ozonski omotač

Apsorpcioni rashladni uređaji, kao i kompresorski, uobičajeno koriste rashladno sredstvo sa niskom tačkom ključanja (često ispod -18 °C). U oba slučaja, toplota je preuzeta iz jednog sistema, pri čemu rashladno sredstvo isparava, kako bi se stvorio efekat hlađenja. Glavna razlika između ova dva sistema je način kako se sredstvo vraća u tečno stanje kako bi se proces mogao ponoviti. Kompresioni rashladni uređaji menjaju agregatno stanje rashladnog sredstva iz gasovitog u tečno povećanjem pritiska, pritom koristeći električni kompresor. Apsorpcioni rashladni uređaj menja agregatno stanje rashladnog sredstva iz gasovitog u

<sup>17</sup>Za potrebe ovoga poglavljakorišćeni su delovi teksta Biogas Heat Handbook (Rutz et al. 2015). Više delova teksta preuzeto je iz ovog izvora.

tečno, apsorpcijom rashladnog sredstva u drugu tečnost zatim korišćenjem toplote za ponovno isparavanje rashladnog medijuma. Druga razlika je u korišćenom rashladnom sredstvu. Kompresioni rashladni uređaji obično koriste hidro-hloro-fluoro-ugljenike (*engl. HCFC - hydrochlorofluorocarbons*) ili hido-fluoro-ugljenike (*engl. HFC -hydrofluorocarbons*) dok apsorpcioni rashladni uređaji obično koriste amonijak ili litijum bromid (LiBr).

Uobičajeno je kategorisati apsorpcione hladnjake na direktne i indirektne, ili na jednostruke, dvostruke ili trostruke. Korišćenje OIE ili otpadne toplote uglavnom je relevantno za indirektne, dok direktni apsorpcioni rashladni uređaji koriste direktan izvor toplote, na primer toplotu dimnih gasova nastalih sagorevanjem prirodnog gasa itd. kompresioni i apsorpcioni rashladni uređaji mogu se kombinovati: kaskadno ili hibridno.

Klasifikacija jednostrukih, dvostrukih ili trostrukih adsorpcionih rashladnih uređajazasniva se na broju izvora toplote. **Jednostruki apsorpcioni rashladni uređaji** imaju samo jedan stepen zagrevanja radnog fluida (jednostavno rešenje). **Dvostruki apsorpcioni rashladni uređaji** imaju dva stepena isparavanja kako bi se odvojio rashladno fluid od apsorbera. Iz tog razloga, ovakvi apsorpcijski rashladni uređaji imaju dva kondenzatora i dva generatora. Razmenatoplate odvija se pri višim temperaturama u odnosu na jednostruki ciklus. Dvostruki ciklusi tako imaju veću efikasnost, ali su skuplji (New Buildings Institute 1998). **Trostruki apsorpcioni rashladni uređaji** još su napredniji i u fazi su razvoja pa predstavljaju sledeći korak u razvoju ove tehnologije (New Buildings Institute 1998).

Korišćenje apsorpcionih rashladnih uređajazavisi od temperature otpadne toplote, korišćenog rashladnog fluida, apsorpcionog medijuma i zahtevane temperature hlađenja. LiBr/H<sub>2</sub>O apsorpcioni rashladni uređajimaju mogućnosti snižavanja temperature do 6°C dok NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O uređajiod 0°Cčak do -60°C.

Za poređenjerashladnih uređaja, koristi se **odnos energetske efikasnosti** (EER, *engl.energy efficient ratio*) koji je sličan faktoru efikasnosti (COP, *engl.coefficient of performance*). On predstavlja odnos rashladnog kapaciteta ( $\dot{Q}_C$ ) i dovedenog toplotnog toka ( $\dot{Q}_H$ ). Pri tome je snaga pumpe ( $P_P$ ) zanemarljiva. EER kod današnjih sistema uobičajeno je manji od 1. Uobičajeni iznosi EER-a su 0.65-0.8 za jednostruke pa do 0.9-1.2 za dvostruke apsorpcione rashladne uređaje (Skagestad & Mildenstein, n.d.).

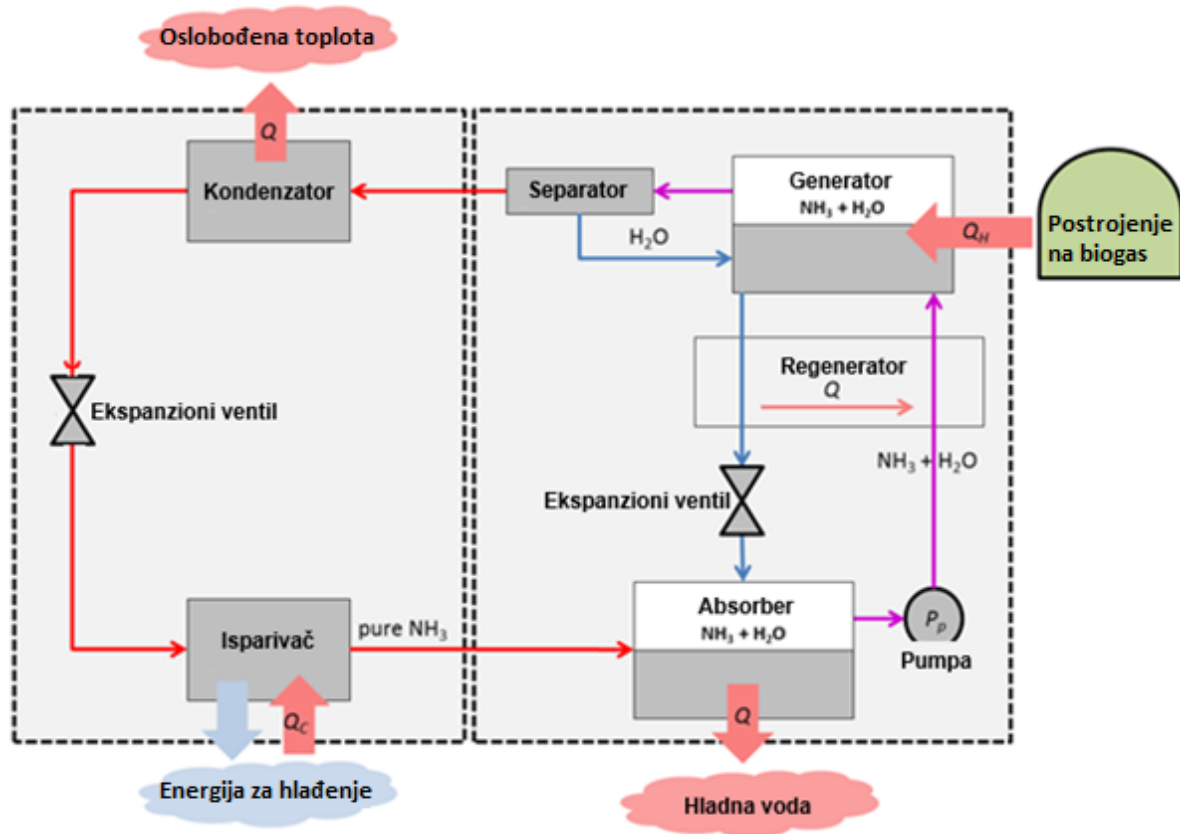
$$EER = \frac{\text{Rashladni kapacitet}}{\text{Dovedeni toplotni tok}} = \frac{\dot{Q}_C}{\dot{Q}_H + P_P} \approx \frac{\dot{Q}_C}{\dot{Q}_H} \quad \text{Jednačina 8}$$

*EER- odnos energetske efikasnosti*

$\dot{Q}_C$  rashladni kapacitet [kW]

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

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



Slika 53. Proces tipičnog  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$  apsorpcionog rashladnog uređaja koji koristi otpadnu toplotu (Izvor: Rutz et al. 2015.)

Slika 67 prikazuje uobičajeni proces tipičnog apsorpcionog  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$  rashladnog uređaja. U ovom procesu, amonijak služi kao rashladno sredstvo, a voda kao apsorber. Amonijak u tečnom agregatnom stanju u **isparivaču** stvara efekt hlađenja. Apsorbuje toplotu iz materije koju je potrebno ohladiti i pritome isparava. Pri tome se para amonijaka transportuje nazad do apsorbera. U **apsorberu** već postoji slab rastvor amonijaka i vode. Voda služi kao apsorber, nezasićena je i postoji potencijal za dodatnim parama amonijaka koje je moguće apsorbovati. Kad pare amonijaka dođu u apsorber, voda apsorbuje i stvara se jaka rastvor amonijaka u vodi. Tokom ovog procesa, oslobađa se toplota koja smanjuje potencijal apsorpcije amonijaka u vodi; usled toga amonijakse hladi vodom. Rastvor se transportuje pomoću **pumpe** pri visokom pritisku do **generatora** u kome se greje pomoću toplotnog izvora (npr. biogasno postrojenje) dok amonijak ne ispari. Pare amonijaka napuštaju generator pri čemu su čestice vode nošene zajedno sa njim, usled njegove velike sklonosti ka vezivanju sa vodom. Zatim se, rastvor dovodi u **separator**, koji podseća na destilacionu kolonu, gde se voda odvaja od amonijaka. Voda se potom odvodi do regeneratora, kroz ekspanzioni ventil nazad u generator. Slabi rastvor vode i amonijaka odvodi se iz generatora u apsorber. Čiste pare amonijaka ulaze u kondenzator pri visokom pritisku gde se hlade vodom. Zatim, menjaju svoje agregatno stanje u tečno i potom prolaze kroz ekspanzioni ventil pri čemu mu se naglo snižavaju temperatura i pritisak. Amonijak potom ponovo ulazi u isparivač gde nastaje efekt hlađenja čime se zatvara ciklus.





Slika 54. Rashladni uređaj hlađen vazduhom koji koristi otpadnu toplotu postrojenja za spaljivanje otpada u Austriji (Izvor: Rutz D.)

#### 7.4 Adsorpcioni rashladni uređaji

Adsorpcija je adhezija atoma, jona ili molekula gasa, tečnosti ili rastvora na neku površinu. Proces je sličan apsorpciji, ali razlikuje se po tome što se u apsorpciji tečnost (apsorber) otapa ili prodire u čvrsto telo ili tečnost (apsorbent). Adsorpcija uvek koristi tečnost (ili gas) i čvrsto telo, dok apsorpcionii uređaji uvek koriste tečnosti.

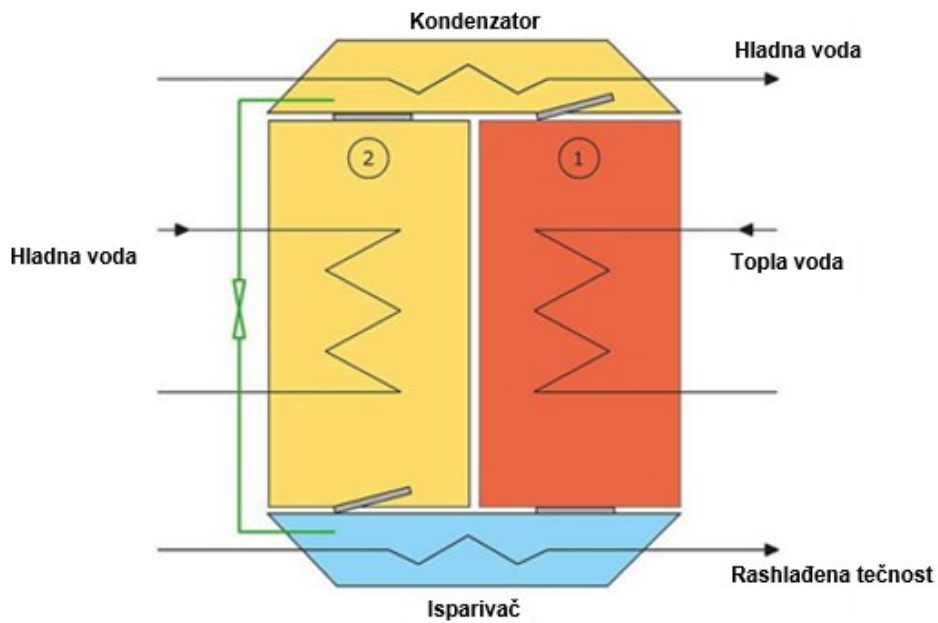
Adsorpcioni rashladni uređaji koriste čvrsti sorpcioni materijal (sorbent) umesto tečnosti. Danas su dostupne dve tehnologije koje koriste silikagel ili zeolit kao sorpcioni materijal, a vodu kao rashladno sredstvo. Kombinovanje adsorbenta i rashladnog sredstva, adsorpcioni rashladni uređaji koriste toplotu, na primer iz solarnih kolektora kako bi ostvarili efekat hlađenja.

Sistem se sastoji od dve adsorpcione komore (Slika 55, Solair Project, 2009.) koje naizmenično rade kao komore (Slika 56). Sadrže čvrsti sorbent koji je u svom neutralnom stanju adsorbovao rashladno sredstvo. Kada se zagreje, čvrsti sorbent otpušta pare rashladnog sredstva, koje se usled toga hladi i prelazi u tečno agregatno stanje. Tečnost se potom koristi za hlađenje u isparivaču, apsorbujući toplotu i pretvarajući se gasovito agregatno stanje. U poslednjoj fazi procesa, pare rashladnog sredstva su ponovo adsorbovane u čvrsto stanje. Koristeći dve komore može se postići kontinuirani proces.

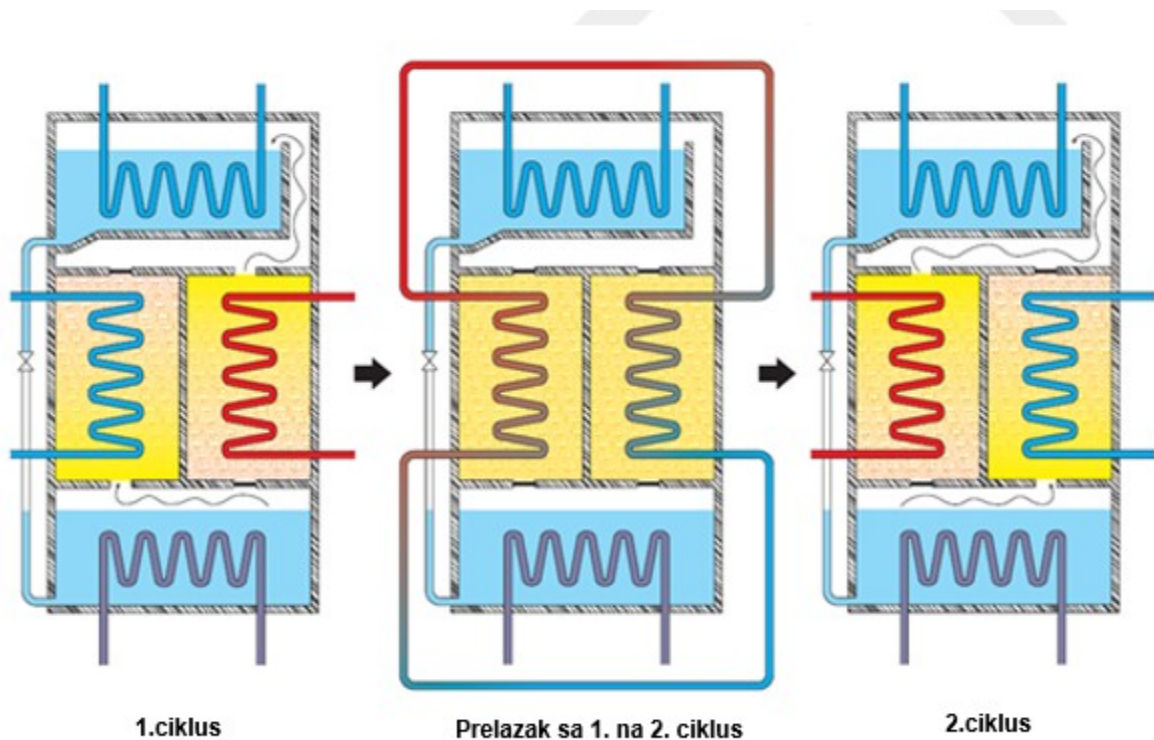
Do danas, postoji samo nekoliko azijskih i evropskih kompanija koje proizvode adsorpcione rashladne uređaje. Usled uobičajenih radnih temperatura do 80°C, može se postići COP od 0.6, ali proces je moguć i pri temperaturama od 60 °C. Rashladni kapacitet može biti od 5.5 do 500 kW (Solair Project, 2009).

Adsorpcioni rashladni uređaji imaju iste prednosti kao i apsorpcioni. Dodatna prednost adsorpcionih rashladnih uređaja je njihova robusnost i jednostavna realizacija. Ne postoji opasnost od kristalizacije i zbog toga nema ograničenja temperature. Potrošnja električne energije je smanjena jer nema potrebe za pumpom. Nedostatak je relativno velika

zapremina, masa kao i visoka cena usled malih serija koje se proizvode. Postoji veliki potencijal za poboljšanja vezana za konstrukciju izmenjivača toplote u komorama adsorbera koja bi mogla smanjiti njihovu zapreminu i masu (Solair Project, 2009).



Slika 55. Shema adsorpcionog rashladnog uređaja (Izvor: Solair Project 2009)



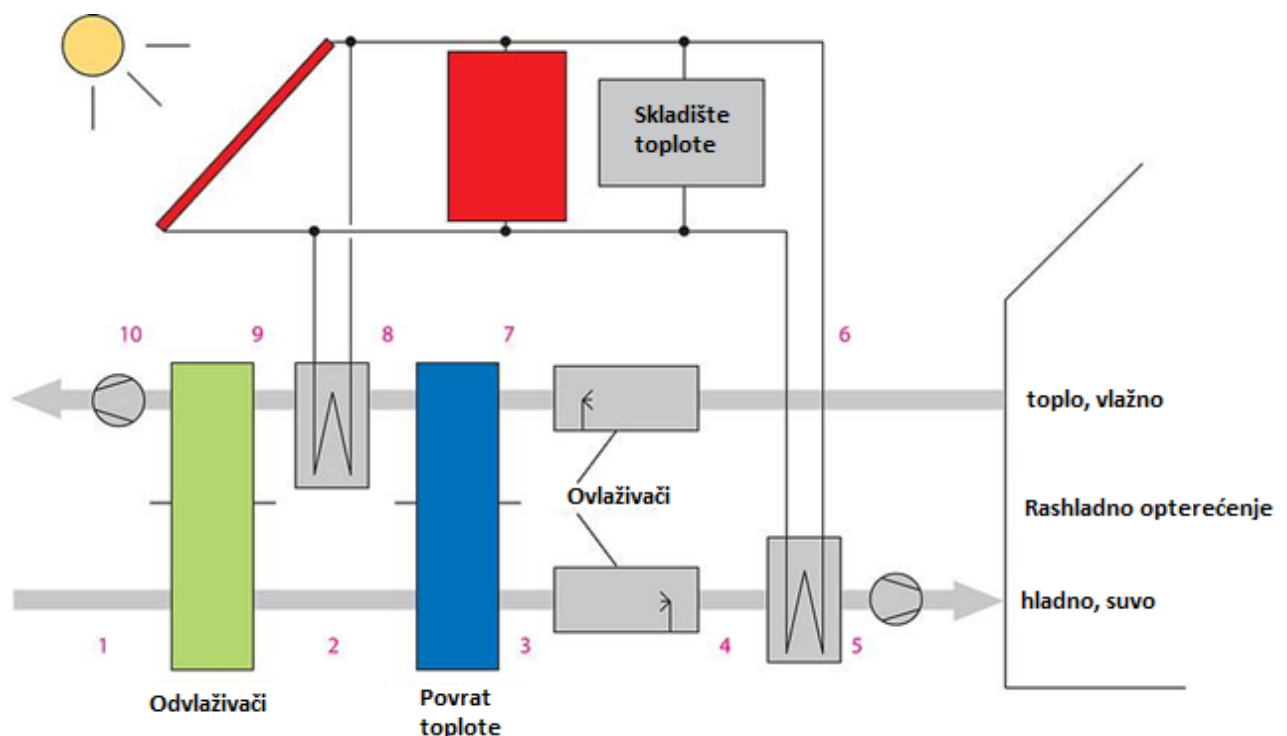
Slika 56. Princip rada adsorpcionog rashladnog uređaja i njegovih ciklusa (Izvor: Holzmann 2010)

### 7.5 Rashladni sistemi koji koriste materijal za sušenje

Rashladni sistemi koji koriste materijal za sušenje su otvoreni, koriste vodu kao rashladno sredstvo u direktnom kontaktu sa vazduhom. Koriste efekat evaporativnog hlađenja u kombinaciji sa sredstvom za sušenje, tj. higroskopnim materijalom. On može biti u tečnom ili čvstom agregatnom stanju. Naziv „otvoreni“ koristi se kako bi se prikazalo odbacivanje iskorišćenog rashladnog sredstva nakon završenog procesa hlađenja i dodavanje novog sredstva u otvoreni ciklus. Iz tog razloga moguće je koristiti samo vodu u direktnom kontaktu sa vazduhom. Današnje tehnologije uglavnom koriste rotaciju materijala za sušenje, uz silika gel ili litijumhloridom kao sorpcionim materijalom (Solair Project, 2009).

Topli i vlažni vazduh ulazi u rotaciju sa materijalom za sušenje i suši se adsorpcijom vode (1-2). Kako se vazduh greje adsorpcionom toplotom, sledeća rotacija služi kao izmjenjivač toplote (2-3), što rezultuje značajnim dodatnim hlađenjem vazduha koji je ušao. Usled toga, vazduh se dodatno vlaži i hladi kontrolisanim ovlaživačem (3-4). Kontrolisani parametri su temperatura ulaznogvazduha i vlažnost. Solarna energije može se koristiti i zimi za proces grejanja (5). U procesu hlađenja, izlazna vazдушna struja iz sobe je ovlažena (6-7) skoro do tačke rošenja kako bi se ohladio u rotaciji sa izmenjivačem toplote (7-8). Na kraju, u rotaciji sa sredstvom za sušenje mora se regenerisati (9-10) korišćenjem toplote sa relativno malim temperaturnim rasponom 50-75 °C kako bi se osigurao kontinuirani proces sušenja. Potreban je poseban dizajn rotacije sa sredstvom za sušenje u slučaju ekstremnih uslova, npr. mediteranskih. Novi sistemi koriste rastvor voda-litijum-hlorid kao sredstvo za sušenje (Solair Project, 2009.)

Sistemi za hlađenje koji koriste sredstva za sušenje mogu koristiti solarnu energiju iz solarnih kolektora na krovu zgrade, ali i toplotu iz SDG ili otpadnu toplotu nekog drugog procesa.



Slika 57. Shema rada sistema za hlađenje koji koristi sredstvo za sušenje (Izvor: Solair Project 2009)

## 8 Tehnologije hladnjača<sup>18</sup>

Hladnjače su po principu rada jednake skladištima toplote opisanim u poglavlju 4. Iz tog razloga, kada su potrebne niske temperature, hladnjače se koriste na isti način kao i skladišta toplote. Postoje dva načina rada hladnjače:

- Snižavanje temperature uskladištene materije u komori koristeći rashladni uređaj
- Planirana proizvodnja ohlađene vode ili leda u komori, jami ili prirodnim rezervoarima

Efikasnost uticaja promene temperature na kvalitet ukladištenog proizvoda mora biti uzeta u obzir, jer su neki proizvodi osetljivi na gradijent promene temperature.

Banke leda su danas najpoznatije tehnologije hladnjača, ali kako sistemi hlađenja postaju sve efikasniji, tako se i potreba za njima smanjuje. Sa povećanim potrebama za fleksibilnošću rashladnih sistema, otvara se potreba njihovog ponovnog korišćenja. Međutim, proizvodnja leda mora biti vrlo efikasna kako bi se smanjili gubici energije

Klasična proizvodnja leda podrazumeva velike razlike temperature. Temperature sistema hlađenja su često niže od -10 °C. Kombinovano korišćenje vode kao rashladnog sredstva i leda kao sredstva za skladištenje rashladne energije, vrlo je efikasan način proizvodnje i skladištenja leda. Potrebna su dodatna istraživanja i razvoj tehnologija proizvodnje leda baziranih na korišćenju čiste vode, punjenja i pražnjenja komore leda i merenju količine leda u komori.

Vodena para ima veliki potencijal kao rashladno sredstvo jer nije opasna za životnu sredinu. Trenutno se ideja istražuje u nekoliko projekata čime se teži komercijalizaciji njenog korišćenja u bliskoj budućnosti.

---

<sup>18</sup>Za potrebe ovog poglavlja korišćeni su delovi teksta Schrøder Pedersen et al. (2014)

## 9 Integracija sistema hlađenja

Hlađenje, klimatizacija zgrade i drugi načini primene koji koriste solarnu energiju su posebno zanimljivi u toplijim krajevima gde je velika potražnja za rashladnom energijom povezana sa visokim spoljnim temperaturama. Na taj način usklađuje se vršno rashladno opterećenje savršenom proizvodnjom solarne energije. Razna skladišta, industrijski procesi kao i hladnjače koje se nalaze u toplijim krajevima, imaju najveće potrebe rashladne energije u periodu kada je solarno zračenje maksimalno (Morgenstern, 2016.). Generalno, moguće je koristiti uređaje za hlađenje koji koriste toplotu iz solarnih kolektora umesto električnih uređaja koji koriste električnu energiju iz mreže, da se izbegne vršno opterećenje distributivne električne mreže.

Takođe, moguće je koristiti ostale jeftine izvore toplote, kao što je otpadna toplota iz ostalih industrijskih procesa, u kombinaciji sa sistemima hlađenja koji je mogu koristiti. Može se koristiti i prirodno hlađenje kao i sistemi hlađenja koji koriste sredstva za sušenje. Hlađenje pomoću električne energije dobijene iz fotonaponskih panela tada može biti interesantan iz razloga komplementarnosti.

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

### 9.1 Sistemi daljinskog hlađenja

U krajevima gde nema velike potrošnje rashladne energije, ali pojedini korisnici imaju potrebe za rashladnom energijom, deo toplote iz SDG može se iskoristiti za proizvodnju rashladne energije u apsorpcionim rashladnim uređajima koji se nalaze kod krajnjih korisnika. Na taj način se toplotna energija distribuira do potrošača gde se potom proizvodi rashladna energija. Glavna prednost ovakvog pristupa je dodatna ekonomska isplativost u sistemima koji ne zahtevaju veliku potrošnju energije za grejanje u toplim letnjim periodima. Koristeći decentralizovane apsorpcione rashladne uređaje koji koriste toplotu iz mreže, mogu se stvoriti potrebe za toplotom i leti i na taj način povećati isplativost projekta SDG. Obično je tokom leta potražnja za rashladnom energijom velika a potreba za grejanjem prostorija nema. Dodatna prednost ovakvog pristupa je smanjenje vršne potrošnje električne energije tokom leta usled korišćenja električnih rashladnih uređaja.

### 9.2 Pametni sistemi daljinskog hlađenja<sup>19</sup>

Sistemi daljinskog hlađenja (SDH) analogija su sistemima daljinskog grejanja (SDG). Jedina razlika je u temperaturi medijuma koja prolazi kroz distribucioni sistem. Premda se potrošnja rashladne energije konstantno povećava, usled povećanja željenog komfora ali i viših temperatura kao posledica klimatskih promena, SDH nisu omasovljeni kao SDG. Nekoliko evropskih gradova uvelo je SDH radi smanjenja emisije gasova sa efektom staklene bašte.

Izvor rashladne energije mogu biti apsorpcioni, kompresioni rashladni uređaji ali drugi procesi poput prirodnog hlađenja. Različiti sistemi hlađenja takođe mogu se kombinovati. Prema ugovoru sa potrošačima, ohlađena voda može biti distribuirana za vreme baznog i vršnog opterećenja. Usled visokih investicionih troškova apsorpcionih rashladnih uređaja, dodatni kompresorski rashladni uređaji mogu biti korišćeni za pokrivanje vršnog opterećenja. Pri dizajniranju SDH potrebno je obratiti pažnju na sledeće (Rutz et al. 2015):

- Razlike između povratne i polazne temperature
- Brzinu strujanja
- Pritisak u distributivnoj mreži i razliku pritiska između polazne i povratne cevi

<sup>19</sup>Za potrebe ovog poglavlja korišćeni su pojedini delovi iz Biogas Heat Handbook (Rutz et al. 2015).

Uspešna realizacija SDG i SDH (SDGH) najviše zavisi od sposobnosti sistema da ostvari veliku (dovoljnu) razliku ( $\Delta T$ ) između polazne i povratne temperature (Skagestad & Mildenstein n.d.). Ona je uglavnom ograničena na 8-11 °C. Sistemi se uglavnom projektuju da temperaturu rashladne vode prilagode spoljnoj temperaturi. SDH mogu biti podeljeni u tri grupe, zavisno od polazne temperature:

- Voda ohlađena konvencionalnim rashladnim uređajima do temperature 4-7 °C
- Sistemi sa ledenom vodom: +1°C
- Sistemi sa ledenim muljem: -1°C

Usled malog temperaturnog gradijenta između cevi i zemlje, nije ih potrebno izolovati. Podzemne cevi za hlađenje u distributivnoj mreži obično su na dubini od 60 cm. U toplijim krajevima i u slučaju kada cevi nisu položene u zemlju, potrebno ih je izolovati.

Maksimalno dopuštene **brzine strujanja** određene su padom pritiska i kritičnim smetnjama u sistemu zbog tranzijentnih pojava. Generalno, brzine strujanja veće od 2.5-3 m/s trebalo bi izbegavati osim ako je sistem unapred dizajniran i zaštićen kako bi se dopustile povećane brzine strujanja.

### 9.3 Izabrani primeri

U odnosu na male decentralizovane sisteme grejanja koji koriste OIE, ne postoje toliko puno primera dobre prakse vezane za SDH. Neki od primera prikazani su u nastavku. Predstavljeni primeri nisu nužno mali, decentralizovani ili obnovljivi, ali prikazuju različite korišćene tehnologije i veličine sistema. Dobar pregled najboljih primera sistema hlađenja koji koriste solarnu energiju se mogu videti na veb stranici Solair projekta ([www.solair-project.eu/175.0.html](http://www.solair-project.eu/175.0.html)). Uz to, primeri dobrih projekata mogu se naći i u izvještaju CoolHeating projekta (Laurberg Jensen et al. 2016). Neki od Danskih primera SDH su u Kopenhagenu<sup>20</sup> i Thistedu<sup>21</sup>.

#### 9.3.1 Solarno hlađenje vinskog podruma u Banyuls sur Mer, Francuska<sup>22</sup>

Groupement Interproducteurs du Cru de Banyuls ([www.terresdestempliers.fr](http://www.terresdestempliers.fr)) je udruženje proizvođača vina u Banyuls sur Mer, iz Francuske. Kako bi uskladištili 3 miliona boca na odgovarajućoj temperaturi, napravljena je analiza na osnovu koje je 1990. godine realizovano solarno hlađenje.

Potrošnja rashladne energije objekta zavisi odsolarnog zračenju, tj. leti je povećana potreba za hlađenjem. Objekat se sastoji od prizemlje gdje se vino pakuje i sprema za distribuciju i dva podruma u kojima se vino skladišti. Temperatura u prizemlju održava se na 22°C, u prvom podrumu na 19 °C, a u drugom na 17 °C.

Rashladni sistem sastoji se od 130 m<sup>2</sup> vakumskih solarnih kolektora postavljenih na krov. Orjentisani su prema u smeru jug-jugozapad, a postavljeni su pod fiksnim nagibnim uglom od 15°. Sistem uključuje 1 000 litara dnevnog skladišta toplote. Boce vina predstavljaju sezonsko skladište (hladnjaču). Sistem ima jednostruki indirektni apsorpcioni rashladni uređaj sa nominalnim rashladnim kapacitetom od 52 kW, kao i rashladni toranj otvorenog tipa nominalnog rashladnog kapaciteta 180 kW.

<sup>20</sup> <http://www.hofor.dk/english/district-cooling/?hilite=cooling>

<sup>21</sup> <http://fjernkoling.dk/>

<sup>22</sup> Podaci preuzeti sa: <http://www.solair-project.eu/185.0.html>

### 9.3.2 Solarno hlađenje sa adsorpcionim rashladnim uređajem, Fraunhofer ISE, Freiburg, Nemačka<sup>23</sup>

Zgrada Fraunhoferovog Instituta za Solarne energetske sisteme (ISE) je energetska i efikasna sa pasivnim načinom hlađenja. Izuzetak je kuhinja u prostoru kantine gde je potrebno aktivno hlađenje vazduhom kako bi se zadovoljilo rashladno opterećenje. Ono je pokriveno malim adsorpcionim rashladnim uređajem.

Sistem hlađenja kantine je zatvoreni sistem koji koristi ohlađenu vodu kao rashladni medijum sa adsorpcionim rashladnim uređajem. Potrebna toplota za sistem adsorpcionog hlađenja je pokrivena solarnim kolektorima i sistemom grejanja instituta. Tokom leta, koristi se samo sistem hlađenja. Toplota na srednjoj temperaturi iz adsorpcionog rashladnog uređaja odbacuje se u zemlju pomoću tri cevi duge 80 m. Tokom zime, toplotne pumpe koriste te iste cevi kao izvor toplote niske temperature. Sistem na taj način hladi i greje spoljni vazduh za potrebe instituta.

### 9.3.3 SDH u Kemnicu, Nemačka<sup>24</sup>

Grad Kemnic u Nemačkoj ima SDH od 1973. Toplovod je dug oko 5 km i distribuira hladnu vodu do različitih javnih zgrada i trgovačkih centara. Sistem je u početku koristio kompresorske rashladne uređaje pokretane električnom energijom, ali je obnovljen 90-ih kada su realizovani adsorpcioni rashladni uređaji.

U 2007. ugrađen je inovativna hladnjača kako bi se pokrila vršna rashladna opterećenja. Hladnjača je visoka 17 m sa prečnikom od 16 m. Ukupna zapremna hladnjače je 3 500 m<sup>3</sup>, a kapacitet iznosi 32 MWh.

Centralni adsorpcioni rashladni uređaji koriste otpadnu toplotu iz kogeneracionog postrojenja u Kemnicu. Postrojenje za spaljivanje otpada ima 3 bloka koja koriste lignit ili lož ulje. Premda se ovaj sistem zasniva na fosilnim gorivima, prikazan je u ovome poglavlju kako bi se prikazao SDH. Sistem bi teoretski mogao koristiti toplotu iz OIE. Topla voda se dovodi toplovodom iz kogeneracionog postrojenja do adsorpcionih rashladnih jedinica.

Adsorpcioni rashladni uređaji koriste toplotu kako bi se snizila temperatura vode do 5 °C. Voda se potom pumpa izolovanim cevima do 25 podstanica gde se nalaze posebni izmjenjivači toplote za hlađenje zgrada. Povratna temperatura vode iznosi oko 13 °C.

### 9.3.4 SDH u Beču, Austrija<sup>25</sup>

Otpadna toplota iz postrojenja za spaljivanje otpada u Beču ne koristi se samo za potrebe grejanja već i za potrebe hlađenja. Proizvođač energije Wien Energie nudi dva rešenja za kupce rashladne energije:

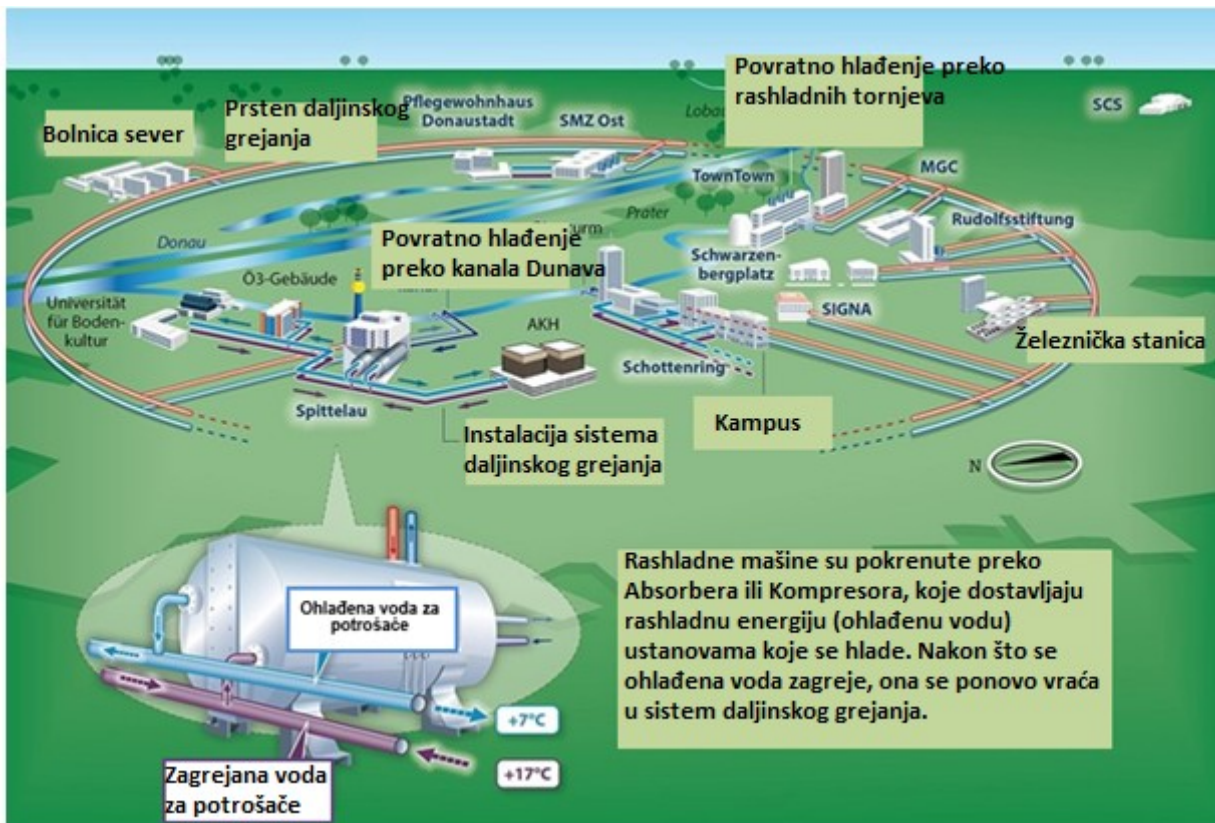
- Decentralizovano: Wien Energi može postaviti rashladni uređaj direktno kod potrošača
- Centralizovano: kupac se može priključiti na SDH koji pokriva više potrošača istovremeno

Slika 58 prikazuje SDH u Beču koji se sastoji od nekoliko manjih rashladnih mreža i individualnih rashladnih sistema koji su međusobno povezani. Koristi se više različitih tehnologija uključujući adsorpcione i kompresorske rashladne uređaje i njihove kombinacije. Različiti delovi sistema uključuju bolnice, trgovačke centre, železničke stanice i naselja.

<sup>23</sup> Podaci preuzeti sa: <http://www.solair-project.eu/175.0.html>

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

<sup>25</sup> Podaci preuzeti sa: <http://www.eins.de/ueber-eins/netze/fernkaelte/>  
<https://www.inetz.de/startseite/netzanschluss/haushalt-gewerbe/fernkaelte/>



Slika 58. Sistem daljinskog hlađenja u Beču (izvor: APA-Auftragsgrafik/Wien Energie GmbH)

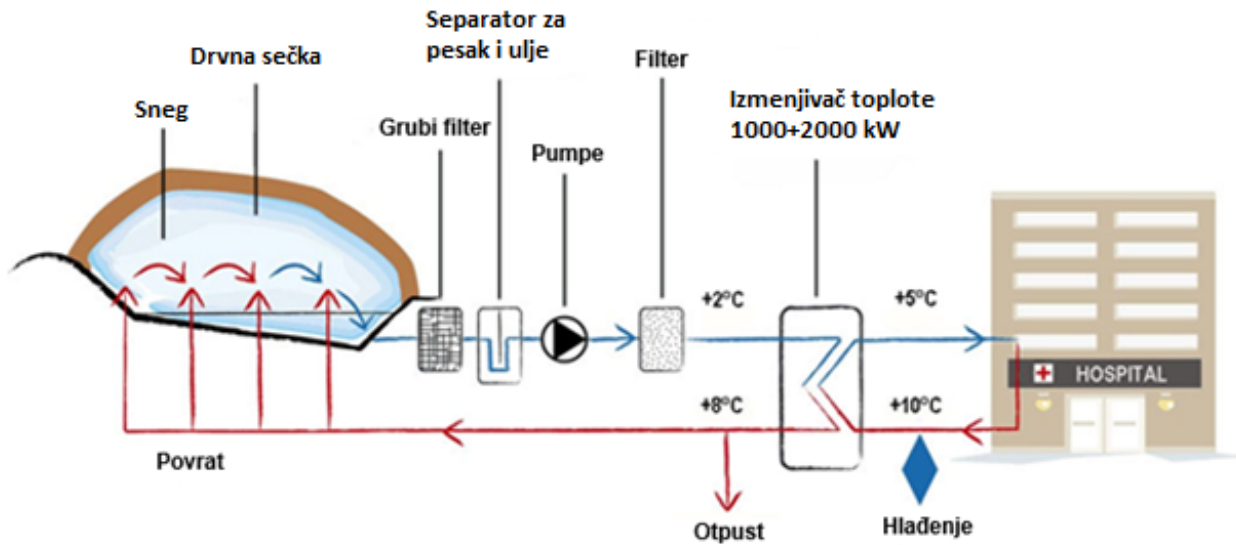
### 9.3.5 Hlađenje snegom u Sundsvallu, Švedska<sup>26</sup>

Okružna bolnica u Sundsvallu u Švedskoj obezbeđuje rashladnu energiju iz postrojenja koje koristi nisku temperaturu snega. Postrojenje je u radu od 2000. godine i je prvo je postrojenje takve vrste u svetu. Površina bolnice je 190 000 m<sup>2</sup> i zahteva veliku rashladni kapacitet kako bi se održala nivu udobnosti zadovoljile sve rashladne potrebe vezane za opremu u bolnici.

Konvencionalno hlađenje bolnice koristilo se do 2000. Međutim, lokalna samouprava okruga Vesternurlanda odlučile su da smanje emisije gasova sa efektom staklene bašte u novom veku povećanjem energetske efikasnosti i korišćenjem prirodnih izvora energije, između ostalih snega, dostupnih na severu Švedske. Pre sistema hlađenja snegom, zapadno od bolnice postojala je veliko stovarište snega istovarenog tokom čišćenja puteva i ulica itd. Mesto se pokazalo savršenim za izgradnju novog postrojenja za proizvodnju rashladne energije, pošto nema nikakve negativne posledice po životnu sredinu i već služi kao prirodna hladnjača.

<sup>26</sup> Podaci preuzeti sa: <http://www.lvn.se/v1/in-english1/in-english/environment-and-energy/energy-factor-2/snow-cooling-in-sundsvall/>





Slika 59. Sistem hlađenja snegom za bolnicu u Sundsvalu (izvor: Snowpower AB, <http://www.snowpower.se>)

Postrojenje je opremljeno sa 7 metara dubokim rezervoarom koji se tokom zime puni sa snegom. Rezervoar je napravljen od vodonepropusnog asfalta koji služi za izolaciju od zemlje. Tekom proleća i leta, naslage snega pokrivene su saprekrivačem od drvene sečke kako bi se sprečilo otapanje usled povećane temperature. U slučaju zima sa vrlo malo snega, mogu se koristiti topovi sa snijegom kako bi se pripremila dovoljna količina snega u rezervoaru. U tom slučaju, korišćenje topova za sneg opet je puno efikasnije nego proizvodnja rashladne energije korišćenjem klasičnih rashladnih sistema.

Takvo postrojenje sastoji se od 3 glavna dela: rezervoara snega, pumpne stanice i izmenjivača toplote. Sneg koji se otopio prenosi se do izmenjivača toplote gde hladi opremu kao i vazduh za ventilaciju bolnice. Kroz ovaj proces, voda se zagreva i ponovo se koristi za otapanje snega. Korišćenjem ovog sistema, uspešno je smanjena potrošnja električne energije u bolnici za više od 90%.

## ***Spisak najčešće upotrebljivanih skraćenica***

**CHP (Combined heat and power):** Postrojenje za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije

**CO<sub>2</sub>:** ugljen dioksid

**COP (Coefficient of performance):** faktor učinka

**DH (District heating):** daljinsko grejanje

**PTV:** Potrošna topla voda

**SDG:** Sistem daljinskog grejanja

**SDGH:** Sistem daljinskog grejanja i hlađenja

**SI (Système International d'unités):** Međunarodni sistem jedinica.

## Jedinice za konverziju

Table 1: Prefiksi jedinica za energiju

Prefiks	Skraćenica	Faktor	Količina
Deco	Da	10	Deset
Hecto	H	10 <sup>2</sup>	Sto
Kilo	K	10 <sup>3</sup>	Hiljadu
Mega	M	10 <sup>6</sup>	Million
Giga	G	10 <sup>9</sup>	Billion
Tera	T	10 <sup>12</sup>	Trillion
Peta	P	10 <sup>15</sup>	Kvadrillion
Exa	E	10 <sup>18</sup>	Kvintillion

Table 2: Konverzija jedinica za energiju (kJ - kilodžul, kcal - kilokalorija, kWh - kilovat sat, TCE - tona ekvivalenta uglja, m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> - kubni metar prirodnog gasa, toe - tona ekvivalenta nafte, barrel - barel, British Thermal Unit - BTU)

	kJ	kcal	kWh	TCE	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	toe	barrel
1 kJ	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>
1 kcal	4.1868	1	0.001163	14.3 · 10 <sup>-8</sup>	0.00013	1 · 10 <sup>-7</sup>	7.35 · 10 <sup>-7</sup>
1 kWh	3.600	860	1	0.000123	0.113	0.000086	0.000063
1 TCE	29,308,000	7,000,000	8,140	1	924	0.70	52
1 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	31,736	7,580	8.816	0.001082	1	0.000758	0.0056
1 toe	41,868,000	10,000,000	11,630	1.428	1,319	1	7.4
1 barrel	5,694.048	1,360.000	1,582	0.19421	179.42	0.136	1
1 BTU	1.055						

**Table 3: Konverzija jedinica za snagu (kcal/s - kilokalorija u sekundi, kW - kilovat, hp - konjska snaga, PS - Pferdestärke**

	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

**Table 4: Konverzija jedinica za temperaturu**

	Jedinica	Celzijus	Kelvin	Farenhajt
<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>Farenhajt</b>	°F	$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \times 1.8 + 32$	$^{\circ}\text{F} = \text{K} \times 1.8 - 459.67$	-

**Table 5: Konverzija jedinica za pritisak (Pa - paskal, bar - bar, at - technical atmosphere, atm - standard atmosphere, Torr - tor, psi - funta po kvadratnom inču)**

	Pa	bar	at	atm	Torr	psi
<b>1 Pa</b>		0.00001	0.000010197	$9.8692 \times 10^{-6}$	0.0075006	0.0001450377
<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	0.001359551	0.001315789		0.01933678
<b>1 psi</b>	6894.8	0.068948	0.0703069	0.068046	51.71493	

## Reference

- 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> [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., Bøgild 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]

