



# Majhni modularni daljinski sistemi **ogrevanja** in **hlajenja**

*Priročnik*



- Avtorji:** Dominik Rutz, Christian Doczekal, Richard Zweiler, Morten Hofmeister, Linn Laurberg Jensen
- Recenzent:** Rita Mergner, Rainer Janssen, Per Alex Soerensen, Tomislav Puksec, Neven Duic, Borna Doracic, Rok Sunko, Blaž Sunko, Vladimir Gjorgievski, Ljupco Dimov, Natasa Markovska, Nikola Rajkovic, Ilija Batas Bjelic, Anes Kazagic, Alma Ademovic-Tahirovic, Izet Smajevic, Slobodan Jerotic, Emir Fejzovic, Amra Babić, Milada Mataradzija, Mitja Kolbl
- ISBN:** 978-3-936338-45-4
- Prevod:** Izvorni jezik priročnika je angleški. Priročnik je na voljo tudi v jezikih: hrvaščina, makedonščina, srbščina, slovenščina in nemščina. Izvedba prevoda Skupina FABRIKA d.o.o..
- Objava:** © 2017 WIP Renewable Energies, Munich, Germany
- Izdaja:** Prva izdaja
- Kontakt:** WIP Renewable Energies, Sylvesteinstr. 2, 81369 Munich, Germany  
[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)
- Spletna stran:** [www.coolheating.eu](http://www.coolheating.eu)
- Avtorske pravice:** Vse pravice pridržane. Nobenega dela te knjige ni dovoljeno reproducirati v kakršnikoli obliki ali na kakršen koli način uporabiti v komercialne namene, brez pisnega dovoljenja izdajatelja. Avtorji ne zagotavljajo pravilnost in / ali popolnost informacij in podatkov, ki so prikazani ali so opisani v tem priročniku.
- Omejitev odgovornosti:**  
Odgovornost za vsebino tega priročnika nosijo avtorji. To nujno ne odraža mnenja Evropske unije. INEA in Evropska komisija nista odgovorna za kakršno koli uporabo informacij, ki jih dokument vsebuje.

## **Zahvala**

Ta priročnik je bil izdelan v okviru projekta CoolHeating. Avtorji se zahvaljujejo Evropski komisiji za podporo projektu. Za dovoljenje za uporabo podatkov in grafičnih prikazov se avtorji zahvaljujejo naslednjim podjetjem in sodelavcem: Wien Energie GmbH (Burkhard Hölzl), DLR (Michael Nast), Steinbeis Forschungsinstitut Solites (Thomas Pauschinger), Thermaflex Isolierprodukte GmbH (Jana Tanneberg-Kranz), W.A.S. Wasseraufbereitungssysteme GmbH (Ralf Kotlan), Snowpower AB (Kjell Skogsberg), Gram Fjernvarme AmbA, Braedstrup Fjernvarme AmbA, Dürr Thermea GmbH, UNEP, Solair Project, GeoModel Solar s.r.o., PlanEnergi, Danish Geothermal District Heating, GeoDH Project, Heat Roadmap Europe Map and Data Portal, PARAT Halvorsen AS, Danish Energy Agency, Energinet.dk, Hjallerup Fjernvarmeværk A.m.b.a., Güssing Energy Technologies, WIP Renewable Energies, Isoterm AS, and Tour & Andersson Ges.m.b.H.

## **CoolHeating projekt**

Potrebe po ogrevanju in hlajenju v Evropi predstavljajo približno polovico končne porabe energije v EU. Politike vezane na obnovljive vire energije se pogosto osredotočajo predvsem na trg z električno energijo, medtem ko so politike obnovljivih virov za ogrevanje in hlajenje običajno precej šibkejše ter manj obravnavane v splošni razpravi v energetiki. Zato je pomembno, da koncepti ogrevanja in hlajenja na osnovi obnovljivih virov dobijo podporo in promocijo, kar je tudi poglavitni cilj projekta CoolHeating.

Cilj projekta CoolHeating, ki je financiran v okviru programa EU Obzorje 2020, je podpreti izvajanje "majhnih modularnih daljinskih sistemov ogrevanja in hlajenja na osnovi obnovljivih virov" v skupnostih jugovzhodne Evrope. To je doseženo s prenosom znanja in sodelovanjem partnerjev iz držav, kjer obstajajo primeri daljinskih sistemov ogrevanja in hlajenja na obnovljive vire (Avstrija, Danska, Nemčija) in držav, ki so na tem področju manj razvite (Hrvaška, Slovenija, Makedonija, Srbija, Bosna in Hercegovina) (Slika 1).

Glavne dejavnosti, poleg tehnološko-ekonomske analize, vključujejo ukrepe za spodbujanje zanimanja skupnosti in državljanov, za implementacijo sistemov daljinskega ogrevanja na osnovi obnovljivih virov, kot tudi krepitev kompetenc na področju financiranja in poslovnih modelov. Rezultat je iniciacija novih majhnih sistemov daljinskega ogrevanja in hlajenja na osnovi obnovljivih virov v petih ciljnih skupnostih do faze naložbe. Ti pilotni projekti bodo imeli dolgoročne posledice na razvoj "majhnih modularnih daljinskih sistemov ogrevanja in hlajenja na obnovljive vire" na nacionalni ravni v ciljnih državah.

Ta priročnik je pomemben instrument projekta CoolHeating. Čeprav obstaja različno gradivo, ki opisuje tehnologije majhnih sistemov daljinskega ogrevanja in hlajenja na osnovi obnovljivih virov, je bilo potrebno ustvariti ta posodobljen priročnik, ki je na voljo brezplačno v nacionalnih jezikih. V številnih ciljnih državah obstaja pomanjkanje informacij navedenih v tem priročniku, ki bi bile dostopne v nacionalnem jeziku. Priročnik ponuja pregled tako, tehničnih in ne-tehničnih vidikov (načrtovanja). Opisane so glavne značilnosti različnih virov toplote iz sončne energije, biomase, geotermalnih virov in odvečne toplote in prikazane so možnosti njihove kombinacije v majhnih modularnih sistemih daljinskega ogrevanja in hlajenja. Vključeni so sezonski in dnevni zalogovniki toplote, kot tudi uporaba toplotnih črpalk. Prikazani so specifični vidiki ogrevanja in hlajenja v manjših sistemih.



**Slika 1: Države in ciljna naselja (rdeče pike) vključena v CoolHeating projekt**

**Projektni konzorcij in nacionalne kontaktne točke:**


**WIP Renewable Energies**, koordinator projekta, Nemčija  
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**, Avstrija  
Richard Zweiler [office@get.ac.at]  
[www.get.ac.at](http://www.get.ac.at)



**University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture**, Hrvaška  
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 - Macedonian Section**, Makedonija  
Natasia Markovska [sdewes.skopje@sdewes.org]  
[www.sdewes.org/macedonian\\_section.php](http://www.sdewes.org/macedonian_section.php)



**University of Belgrade, School of Electrical Engineering**, Srbija  
Nikola Rajakovic [rajakovic@etf.rs]  
[www.etf.bg.ac.rs](http://www.etf.bg.ac.rs)



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



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



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



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

## Vsebina

<b>Zahvala</b> .....	<b>2</b>
<b>CoolHeating projekt</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Uvod</b> .....	<b>8</b>
<b>2 Osnove ogrevanja</b> .....	<b>10</b>
2.1 Podatki in pretvorbe enot toplote.....	10
2.2 Kvaliteta toplote.....	11
2.3 Uporaba toplote.....	11
<b>3 Ogrevalni viri in tehnologije</b> .....	<b>13</b>
3.1 Sončna toplotna energija.....	13
3.2 Biomasni sistemi .....	21
3.3 Geotermalna energija.....	38
3.4 Odpadna toplota.....	41
3.5 Električni kotli: Power-to-Heat .....	42
3.6 Toplotne črpalke.....	44
3.7 Vršni in rezervni kotli .....	52
<b>4 Tehnologije shranjevanja toplote</b> .....	<b>54</b>
4.1 Kratko ročno shranjevanje.....	56
4.2 Sezonsko shranjevanje toplote.....	58
<b>5 Majhni modularni sistemi daljinskega ogrevanja in hlajenja</b> .....	<b>61</b>
5.1 Velikost sistema .....	61
5.2 Temperaturni nivo .....	61
5.3 Cevi.....	65
5.4 Medija prenosa toplote .....	70
5.5 Priklop odjemalcev .....	72
<b>6 Načrtovanje manjših sistemov daljinskega ogrevanja</b> .....	<b>78</b>
6.1 Ocena potreb .....	78
6.2 Načrtovanje omrežja DH sistema .....	81
6.3 Zasnova toplarne .....	86
6.4 Potrebe in navade porabnikov.....	90
6.5 Ekonomika majhnih sistemov daljinskega ogrevanja .....	91
<b>7 Tehnologije hlajenja</b> .....	<b>93</b>
7.1 Prosto hlajenje .....	93
7.2 Kompresorski sistemi hlajenja .....	94

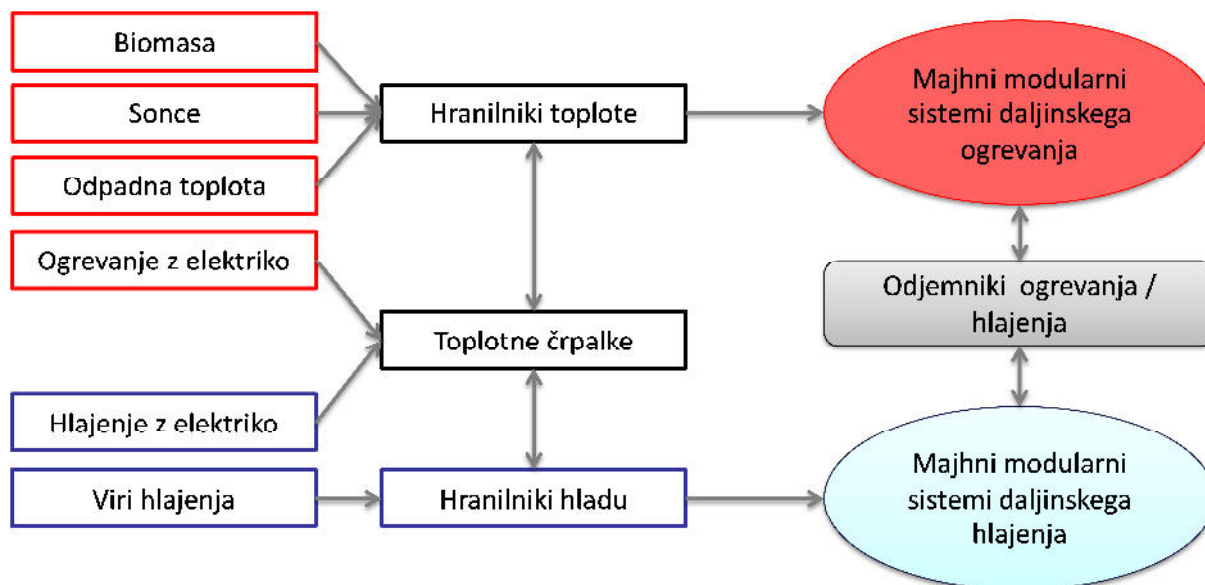


---

7.3	Absorpcijski hladilniki .....	94
7.4	Adsorpcijski hladilniki .....	97
7.5	Hladilni sistemi Desiccant / sušilni hladilni sistemi .....	99
<b>8</b>	<b>Tehnologije shranjevanja hladu .....</b>	<b>100</b>
<b>9</b>	<b>Integracija hladilnih sistemov .....</b>	<b>101</b>
9.1	Hlajenje s toploto iz DH sistema .....	101
9.2	Majni sistemi daljinskega hlajenja.....	101
9.3	Izbrani primeri .....	102
	<b>Glossary and Abbreviations .....</b>	<b>106</b>
	<b>Splošne pretvorbe enot .....</b>	<b>111</b>
	<b>Reference.....</b>	<b>113</b>

## 1 Uvod

Majhni modularni sistemi daljinskega ogrevanja in hlajenja so lokalni koncepti oskrbe gospodinjstev ter majhnih in srednjih podjetij z toploto in / ali hlajenjem iz obnovljivih virov energije. V nekaterih primerih se je to mogoče kombinirati z večjimi omrežji daljinskega ogrevanja (DO), vendar se osnovni koncept navezuje na ločen cevovod, ki povezuje manjše število potrošnikov. Pogosto so ti koncepti implementirani v vaseh ali mestih. Lahko se napajajo iz različnih virov toplote, vključno s sončnimi kolektorji, biomaso in presežnih virov toplote (npr. toplote iz industrijskih procesov ali iz bioplinskih naprav, ki se koristno še ne uporablja, temveč zavrže). Shema takšnih omrežij je prikazan v sliki 2.



Slika 2: Koncept majhnih modularnih sistemov ogrevanja in hlajenja na OVE (Vir: Rutz D.)

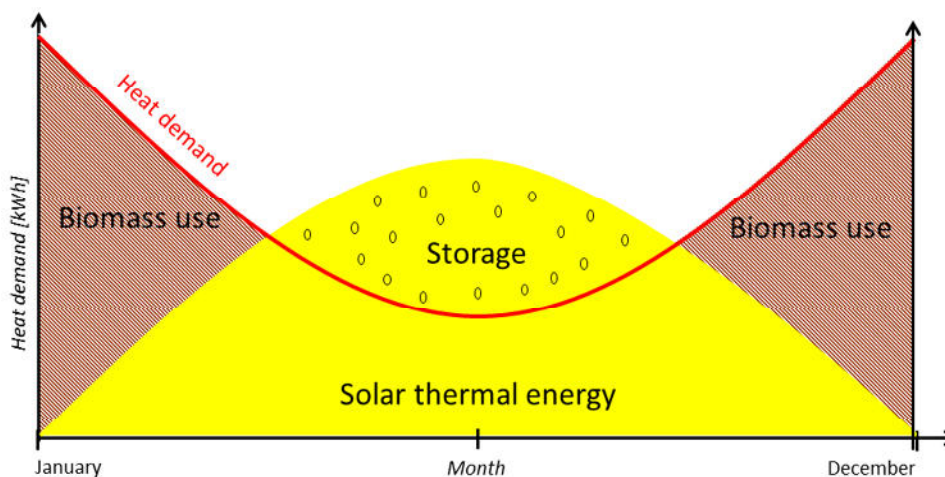
Še posebej kombinacija solarnega ogrevanja in ogrevanje na lesno biomaso predstavlja je zelo obetavno strategijo za manjše podeželske skupnosti zaradi svojega prispevka k varnosti oskrbe, stabilnosti cen, doprinosa k lokalnemu gospodarskemu razvoju, lokalnega zaposlovanja, itd Na eni strani, solarno ogrevanje ne potrebuje goriva in po drugi strani pa lahko ogrevanje na biomaso shranjevani energijo in jo sprosti v zimskem času, ko je na razpolago manj sončne toplote. Pri tem je treba vključiti shranjevanje toplote (hranilniki za kratkoročno shranjevanje in sezonski zalogovniki / bazeni za dolgoročno hrambo). Shema tipičnih sezonskih potreb po ogrevanju in energetske oskrbe iz kombiniranega majhnega daljinskega sistema ogrevanja je prikazana na sliki 3. Glavne prednosti koncepta biomasa / sončno ogrevanje so:

- Manjša potreba po biomasi
- Manjše potrebe po shranjevanju toplote
- Manjše potrebe po vzdrževanju biomasnih kotlov

Z naraščajočim deležem proizvodnje električne energije iz variabilnih obnovljivih virov (PV, veter), lahko pretvorba električna energija v toploto preko toplotnih črpalk, pomaga tudi uravnotežiti električnega omrežja.

Če je proces načrtovanja takšnega Sistema izveden trajnostno, imajo majhni modularni sistemi daljinskega ogrevanja / hlajenja to prednost, da se je mogoče investicijo izvajati modularno. Na začetku lahko implementiramo samo en del Sistema, med tem , ko se dodatni viri toplote in potrošniki lahko dodajo kasneje. Ta modularnost zahteva dobro načrtovanje in ustrezno dimenzioniranje opreme (npr. cevi). To zmanjšuje začetno investicijo in omogoča vztrajno rast sistema.

Poleg majhnih sistemov daljinskega ogrevanja, je pomembna tudi tehnologija majhnih sistemov daljinskega hlajenja, ki ima več koristi. Z dviganjem temperatur zaradi globalnega segrevanja, je povpraševanje po hlajenju višje, zlasti v južni Evropi, kjer se nahajajo ciljne države. V nasprotju z energetsko zahtevnih običajnih klimatskih napravah, je daljinsko hlajenje je dobra in trajnostna alternativa, še posebej v primeru večjih stavbnih kompleksov. Vendar pa obstaja na tem področju precej manj izkušenj in preverjenih tehnoloških možnosti, kot v primeru daljinskega ogrevanja. CoolHeating v procesu načrtovanja vključuje tako, ogrevanje in hlajenje.



**Slika 3:** Shema sezonskih potreb po ogrevanju in energetske oskrbe iz majhnega daljinskega sistema ogrevanja na sončno energijo in biomaso v Evropi (Vir: Rutz D.)

Zlasti države v južni Evropi, za katere je značilno relativno visoko sončno obsevanje imajo potrebo po obojem – ogrevanju in hlajenju. Kombinacija daljinskega ogrevanja in hlajenja v fazi načrtovanja lahko prihrani stroške in trud, čeprav bodo nekateri potrošniki uporabljali samo ogrevanje ali samo hlajenje. S tem so je ustvariti tehnične sinergije (cevovodi, uporaba toplotnih črpalk). CoolHeating bo razvil poslovne načrte za ciljne skupnosti z naslednjimi lastnostmi:

- Sezonski hranilniki toplote
- Dnevni zalogovniki toplote
- Ogrevanje na osnovi OVE (npr. s solarnimi paneli in biomasnim kotlom)
- Hlajenje s toplotno energijo
- Uporaba odpadne toplote pri hlajenju s toplotno energijo za ogrevanje (npr. priprava tople sanitarne vode)

Majhni modularni sistemi daljinskega ogrevanja / hlajenja imajo več prednosti. Prispevajo k razvoju lokalnega gospodarstva zaradi lokalnih vrednostnih verig znotraj lokalne oskrbe z biomaso. Krepitev lokalnega zaposlovanja, kakor tudi zanesljivosti oskrbe. Višje udobje za priključena gospodinjstva: v objektih priključenih na DO so potrebni le izmenjevalniki toplote brez kotlov ali posod za gorivo. Tudi nabava goriva ni več potrebna.

Zaradi vseh teh prednosti, je cilj projekta CoolHeating je podpreti implementacijo manjših modularnih sistemov daljinskega ogrevanja in hlajenja na OVE za skupnosti (občine in manjša mesta) v Jugovzhodni Evropi.

## 2 Osnove ogrevanja<sup>1</sup>

V **termodinamiki** je toplota opredeljena kot energija, prenesenih iz enega sistema v drugega s toplotno interakcijo. Je funkcija postopka v nasprotju z delovanjem stanja, kot so temperatura in volumen. Opisuje prehod sistema iz stanja ravnovesne v drugo stanje ravnovesja. Pri tem je sistem opredeljen na osnovi namenskih meja sistema. Toplotni tokovi spontano vedno vodijo iz sistema z visoko temperature v stanje z nizko temperaturo. Izraz "toplota" se pogosto izraža tudi kot "toplotni tok" in "prenos toplote". Prenos toplote se lahko pojavi s prevajanjem, sevanjem, konvekcijo, prenos snovi, in v kemijski reakciji. Hlajenje je zagotavlja medija nizke temperature, pri čemer se energija (toplota), prenese na druge medije. Tako se hlajenje vedno povezana s prenosom toplote.

Potrebna je diferenciacija med zaznavno toploto in latentno toploto. Zaznavna toplota je neposredno merljiva prek sprememb v temperaturi. Latentna toplota je toplota, ki jo sprošča ali absorbira telo ali termodinamični sistem absorbira v procesu, ki se pojavi brez sprememb v temperaturi. Tipičen primer je sprememba stanja materije, kot faznega prehoda iz ledu (trdni fazi) za vodo (tekoče faze).

V omrežjih daljinskega ogrevanja lahko toploto definiramo kot določeno količino vode z določeno temperaturo, ki se prenaša skozi cevi do potrošnika. Potrošnik lahko to toploto uporabi pri čemer se temperatura vode zmanjšal na nižjo raven.

### 2.1 Podatki in pretvorbe enot toplote

Matematični simbol toplote je **Q** in SI enota je **Joule (J)**. V mnogih aplikativnih področjih, v inženiringu se uporabljajo tudi enote: britanska enota British Thermal Unit (BTU), tona ekvivalentne nafte (toe), in kalorija. Matematični simbol hitrosti prenosa toplote (kapaciteta) je **Q̇** in standardna enota **vat (W)**, ki je opredeljena kot džul na sekundo. Watt je tudi najpogosteje uporabljena enota na področju daljinskega ogrevanja in hlajenja.

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

Zmogljivost ogrevalnega sistema je običajno izražena v **kW** ali **MW** (kilo ali mega Watt). V sproizvodnji (SPTe) se uporablja enoti **kW<sub>e</sub>** za električno moč in **kW<sub>th</sub>** za toplotno kapaciteto. Proizvedena energija je izražena v **kWh** (kilovatna ura) ali **MWh**. Dejanska proizvedena energija iz ogrevalnega sistema se običajno izrazi kot kWh / a (kilovatne ure na leto). To temelji na številu ur v letu, oz. **8.760 ur na leto** (a). Za velikosti značilne za majhne ogrevalne postroje se običajno uporabljajo SI predpone kilo ( $10^3$ ), mega ( $10^6$ ) in giga ( $10^9$ ).

Toplota se lahko izmeri bodisi s **kalorimetrom** ali se **izračuna** z uporabo drugih količin, kot so prostornina, masa, temperatura in toplotna kapaciteta. Ko se toplota uporablja za namene kot je ogrevanje stanovanj, se najpogosteje uporabljajo **merilniki toplote**. To je naprava, ki meri toplotno energijo iz vira (enote npr iz bioplinske SPTe enote) na osnovi merjenja hitrosti pretoka tekočine za prenos toplote (npr. voda) in spremembo temperature tega medija ( $\Delta T$ ) med dovodnim in povratni vod.

Pomemben podatek za SPTe enote je **razmerje med električno in toplotno kapaciteto**, ki je razmerje med električno energijo in uporabno toplotno energijo (Direktiva 2004/8 / ES). Visoko razmerje označuje visoko električno moč. Razmerja značilnih SPTe enot so med 0,4 in 0,9, za biomasne sisteme je to razmerje pogosto nižje.

<sup>1</sup> This chapter is based on Rutz et al. 2015

## 2.2 Kvaliteta toplote

Poleg količino energije (kvantiteta), je pri razvoju energetskih konceptov pomembna značilnosti tudi vrste energije (kakovost). Pomemben parameter, ki označuje kakovost energije je prenosljivost ene oblike v drugo obliko energije. Na splošno električna energija velja za bolj kakovosten tip energije od toplote, saj se lahko z električno energijo brez težav prenaša in se uporabljajo za različne namene, na primer za proizvodnjo mehanske energije, toplote, elektromagnetizem, itd.

V termodinamiki se pogosto uporablja izraz eksergija. Opisuje najvišjo energetski del sistema, ki ga lahko pretvorimo v koristno delo, če je sistem v ravnotežju z okoljem.

Poleg tega se toplota označuje z **nivojem temperature** in s **količino toplote**. Na splošno lahko rečemo, da višja temperatura in količina energije (entropije) pomenita več možnosti za uporabo te energije. Primeri najnižjih temperature za različne namene:

- **Oskrba s toplo sanitarno vodo:** 50-80°C
- **Stanovanjsko ogrevanje:** 50-80°C
- **Rankinov cikel (ORC, CRC):** 60-565°C
- **Sušenje kmetijskih produktov:** 60-150°C

Sodobna majhna omrežja **daljinskega ogrevanja** bi morala biti vezana na OVE, morala pa bi tudi upoštevati eksergijo potencialnih virov toplote. Kvaliteta toplote v omrežju mora biti optimizirana in prilagojena glede na energetske potrebe.

Toploto z visokimi temperaturami je potrebno, v kolikor je to mogoče, uporabiti za storitve višje vrednosti kot proizvodnjo električne energije ali industrijske procese. Preostala, residualna toplota z nižjimi temperaturami od proizvodnje industrije ali električne energije se lahko uporablja za ogrevanje prostorov in pripravo tople sanitarne vode. Povratni tok iz teh procesov se tudi še lahko uporablja v kombinaciji z toplotnimi črpalkami v tako imenovanih nizkotemperaturnega omrežja za kraje z visokim izolacijskim standardom. To kaskadno uporabo toplote povečuje trajnost, ob uporabi OVE. Koncept teh "**LowEx ogrevalnih omrežij**" je dobro opisan v Von Hertle et al. (2015)

## 2.3 Uporaba toplote

Toplota je potrebna za različne namene. Toplota uporabljena v daljinskih sistemih ogrevanja se uporablja predvsem za ogrevanje prostorov in pripravo tople sanitarne vode za zasebna gospodinjstva ali javne zgradbe. Primer toplotnih potreb zasebnih gospodinjstev je predstavljena v okvirju 1.

Poleg ogrevanje stavb, se lahko s toploto iz DH omrežij oskrbujejo tudi podjetja in industrijski obrati. Vendar pa ti uporabniki pogosto zahtevajo višje temperature, kot so potrebne za ogrevanje prostorov. Industrija je lahko ne le porabnik toplote, ampak tudi dobavitelj toplote. Odpadna toplota iz industrije, ki se ne uporablja v industrijskih procesih, se lahko uporabi za oskrbo znotraj omrežja DO. To pomeni, da je industrija glede na vrsto proizvodnje potrošnik, proizvajalec ali oboje (prosumer).

**Okvir 1: Kakšne so energetske potrebe na osebo v gospodinjstvu?**

Sledeč primer prikazuje povprečno neto porabo energije na osebo v Nemčiji (osnovano na izračunih iz Paeger 2012; Rutz et al. 2015):

- Neto poraba energije za ogrevanje in sanitarno toplo vodo na osebo v gospodinjstvu:  
20.2 kWh/day or 7,373 kWh/a
- Neto poraba energije za ogrevanje na osebo v gospodinjstvu:  
17 kWh/day or 6,205 kWh/a
- Neto poraba energije na osebo v gospodinjstvu (na m<sup>2</sup> površine bivalnega prostora):  
155 kWh/a/m<sup>2</sup>
- Neto poraba energije za toplo sanitarno vodo v gospodinjstvu:  
3.2 kWh/day or 1,168 kWh/a

### 3 Ogrevalni viri in tehnologije

Za majhne modularne sisteme DO na OVE, so na voljo različne zrele in komercialno izvedljive tehnologije. Najpomembnejši toplotni viri so sončna toplotna energija, biomasa in geotermalna energija. Uporaba odvečne toplote, kot je odpadna toplota iz bioplinskih naprav ali industrijskih procesov, je zelo zanimiva možnost za primere, kjer je toplota že na voljo, vendar pa se trenutno koristno ne uporablja. Električna energija v toploto je vse bolj pomembna in enostavna tehnologija za pretvorbo presežka električne energije iz spremenljivih virov obnovljive električne energije, kot so vetrne turbine in fotonapetostnih elektrarn, v toplotno energijo. Še smotrnejša je uporaba toplotnih črpalk za uporabo različnih nizko temperaturnih virov toplote, za ogrevanje pri višjih temperaturah. Pogosto so v pametne sisteme DO vgrajeni vršni kotli, z namenom, izboljšanja finančne izvedljivosti projekta, saj so lahko investicijski stroški potrebnih tehnologij (ELKO ali plinski kotel) precej poceni.

#### 3.1 Sončna toplotna energija<sup>2</sup>

Zbiranje sončne energije za ogrevanje vode je tehnologija, ki je v uporabi že mnogo let. Danes je po vsem svetu nameščenih več kot za 580 milijonov m<sup>2</sup> sončnih kolektorjev, s skupno instalirano močjo 410 GW<sub>th</sub>.

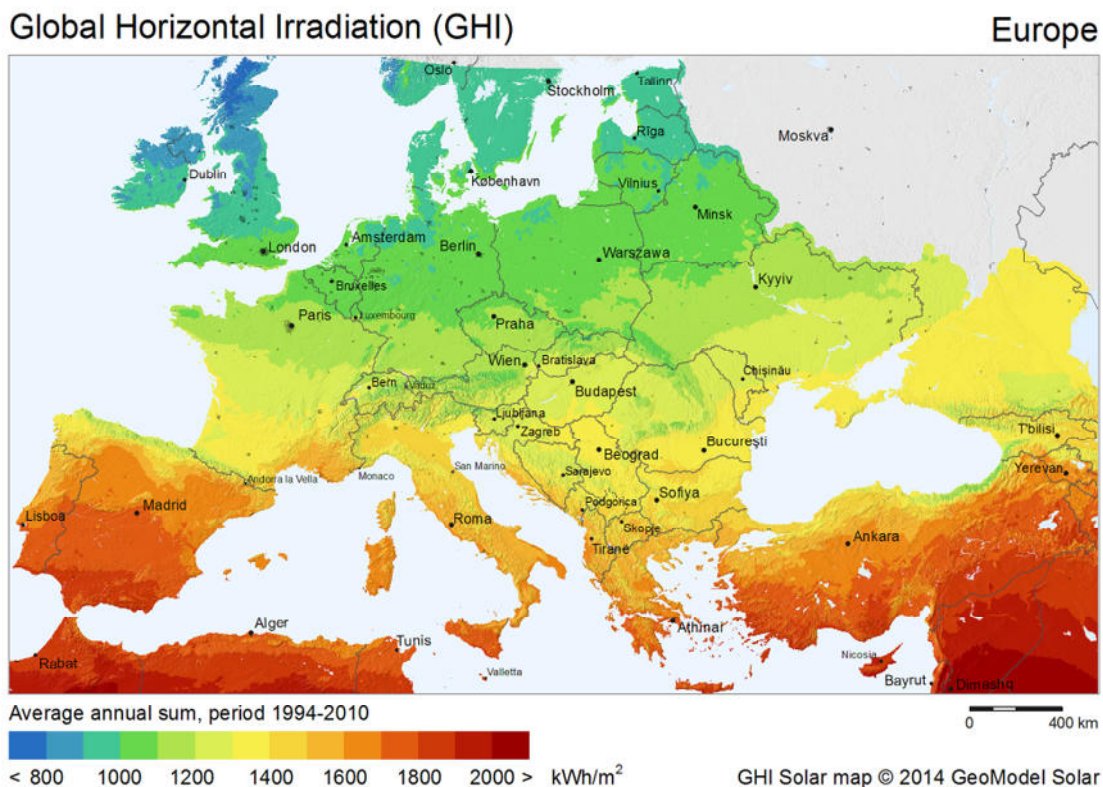
Zunaj Zemljine atmosfere znaša sončno sevanje 1.367 W/m<sup>2</sup>. Obsevanje na površini zemlje, pa znaša približno 1000 W/m<sup>2</sup>. Obsevanje je višje na ekvatorju ter se niža z odmikom na sever ali jug od ekvatorja. Učinek rabe sončne energije je višji pri pravokotni postavitvi panelov na sončno obsevanje. Zato je potrebno kolektorje namestiti pod kotom približno 30-40 stopinj.

Solarne tehnologije lahko enostavno in prilagodljivo kombiniramo z drugimi tehnologijami. Te tehnologije so modularno fleksibilne, saj omogočajo namestitve poljubne velikosti sistema. Pomemben del tehnologije je hranilnik toplote, ki lahko uravnateži variacije v solarni proizvodnji. V Danski klimi, kratkoročni rezervoarji toplote olajšajo delovanje številnih projektov, s približno 20-25% letnih toplotnih potreb pokritih s sončno toploto. Sezonski hranilniki toplote lahko doprinesejo veliko večje pokrivanje energetske potreb iz sončnega vira - načeloma do 80-100%. To je bolj podrobno opisano v 4.2.

Glavni izziv za solarne sisteme je dejstvo, da se njena glavna proizvodnja dogaja poleti in podnevi, ko je potreba po toploti najnižja - tako z dnevnega, kot tudi sezonskega vidika. Delež sončne energije v sistemu DO brez hranilnika toplote je relativno nizka (5-8% letnih potreb po toploti). Najpogostejše aplikacije vključujejo dnevne hranilnike toplote, ki omogočajo približno 20-25% delež sončne energije v sistemu DO. Poleg tega lahko kombinacija s sezonskim shranjevanje toplote, poveča delež sončne energije na 30-50%, ali celo več, v teoriji do 100%. Zato je sinergija s sezonskimi tehnologijami shranjevanj toplote pomembna.

<sup>2</sup> To poglavje je osnovano na sledečih virih: [www.Task45.iea-shc.org](http://www.Task45.iea-shc.org), Podatki specifičnih projektov: [www.solvarmedata.dk](http://www.solvarmedata.dk) in [www.solarheatdata.eu](http://www.solarheatdata.eu), proizvajalec solarnih panelov: [www.arcon.dk](http://www.arcon.dk)





Slika 4: Zemljevid sončnega obsevanja v Evropi: Global Horizontal Irradiance Map of Europe (Vir: SolarGIS © 2011 GeoModel Solar s.r.o.<sup>3</sup>)

### 3.1.1 Solarne toplotne tehnologije

Solarno ogrevanje se uporablja za ogrevanje prostorov in pripravo sanitarne tople vode. Značilno je, da je voda ogrevana z nizi solarnih kolektorjev. Za sisteme daljinskega ogrevanja, so kolektorji pogosto nameščeni na tleh v dolgih vrstah, povezanih v serije (slika 7, slika 8). V manjših sistemih, so kolektorji nameščeni tudi na strehah (slika 9, desno).

Na voljo so različne vrste sončnih kolektorjev, kot je tudi prikazano na sliki 5. Pri majhnih solarnih sistemih daljinskega ogrevanja se uporabljajo predvsem ploščati in vakuumski paneli (evacuated tube collectors).

Najpogostejša vrsta sončnih panelov so ploščati sončni kolektorji (slika 8), ki so na voljo v različnih opcijah. Sestavljeni so iz temnega ploščatega absorberja, ki je lahko iz toplotno stabilnih polimerov, aluminija, jekla ali bakra, na katerih je nanesen mat črno ali selektivni premaz. Podlaga absorberja je mreža ali tuljava cevi postavljen v izolirano ohišje s stekleno ali polimerno prevleko. V ceveh medij za prenos toplote (zrak, antifriz ali voda) odvaja toploto iz absorberja v cikel segrevanja. Absorber se običajno postavi v izolirano ohišje s prozornim steklenim pokrovom ali pokrovom iz polimera, ki zmanjšuje toplotne izgube. Obstajajo tudi ne-glazirane kolektorji, vendar običajno niso nameščeni v solarnih toplarnah. Toplotna izolacijska podloga zmanjšuje toplotne izgube v hrbtno stran plošče.

**Vakuumske cevne kolektorji (slika 7)** so sestavljeni iz vakuumskih steklenih cevi. Steklene cevi so vakuumirane tudi pod  $10^{-2}$  do  $10^{-6}$  bar, da se zmanjšajo toplotne izgube. Večina vakuumskih cevi, so vakuumirane na  $10^{-5}$  bar (Metz et al. 2012). Na voljo so različne tehnologije vakuumskih cevi. Dva osnovna koncepta:

<sup>3</sup> <http://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download/europe>

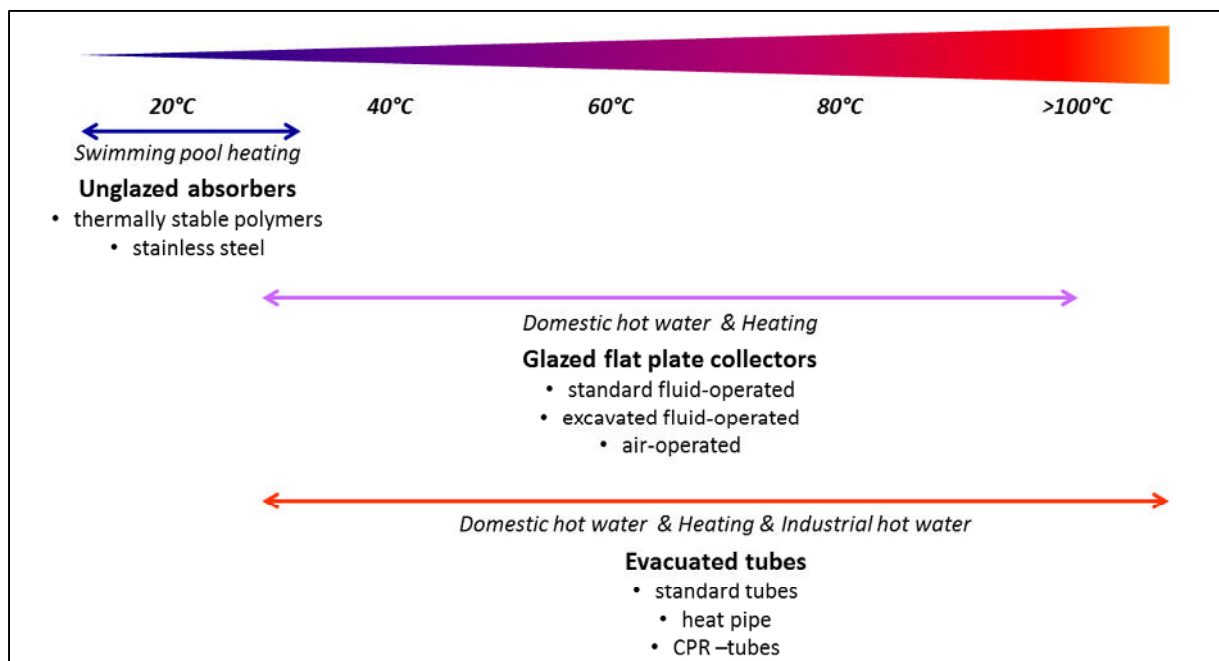


- **Kolektor z direktnim pretokom:** cevi skozi katere medij prehaja neposredno, brez izparevanja
- **“Heat pipe” kolektorji:** cevi v katerih medij izpareva v absorberju.

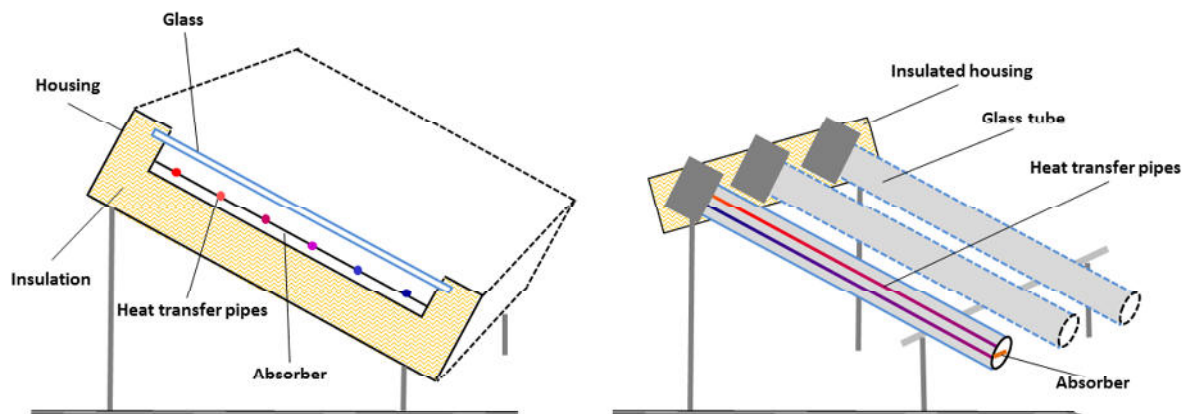
Kolektorji z direktnim pretokom se lahko razvrstijo v dve kategoriji. Lahko so sestavljeni iz ene steklene cevi, v kateri je vakuum. V tej cevi se nahaja absorberska, ki je pritrjena na cev, po kateri teče fluid za prenašanje toplote. Druga kategorija je tako imenovana "Sydney" cev, ki je dvojna steklena cev (kot vakuumaska bučka). Notranja cev je obložena z namenom, da deluje kot absorber. Bakrena cev v obliki črke U zbira toploto iz tega absorberja.

Vakuumske cevi so lahko opremljene tudi s paraboličnim koncentradorjem (Compound Parabolic Concentrator – CPC), ki se namesti pod cevi, da bi tudi koristi od obsevanje med cevmi.

Na trgu v Evropi obstaja veliko ponudnikov sončnih kolektorjev. Solarni kolektorji so zrela tehnologija, ki sedaj vstopa v fazo aplikacije v velikih sistemih, z namenom nižanja investicijskih stroškov in s tem izboljšanja ekonomske upravičenosti projekta.



Slika 5: Tipi absorberjev in sončnih kolektorjev glede na temperaturni razpon. (Vir: Rutz D.)



Slika 6: Koncept ploščatih kolektorjev (levo) in vakuumskih kolektorjev (desno) (Vir: Rutz D.)



Slika 7: Vakuumski cevni kolektorji nameščeni na tla (levo) solarnega daljinskega sistema ogrevanja v mestu Büsingen, Nemčija in primer uporabljenih kolektorjev (desno), ki prikazuje cev medija U oblike ter tehnologijo paraboličnega koncentradorja (Compound Parabolic Concentrator - CPC) (Vir: Rutz D.)



Slika 8: Ploščati kolektorji nameščeni na tla solarnega sistema daljinskega ogrevanja v mestu Gram, Danska (Vir: Rutz D.)



Slika 9: Parabolični kolektorji eksperimentalnega postrojenja (levo) in v streho objekta nameščeni solarni kolektorji manjšega sistema daljinskega ogrevanja v mestu Bad Aibling, Nemčija (Vir: Rutz D.)

Okvir 2: Kakšne so pglavitne prednosti in slabosti vakuumskih kolektorjev v primerjavi s ploščatimi? (osnovano na Metz et al., 2012)

#### *Prednosti*

- Večja učinkovitost pri nizkih temperaturah okolice in nizkem obsevanju (v zimskem času)
- Učinkovitost je večja v pogojih z veliko temperaturno razliko med absorberjem in temperaturo okolja (v poletnih mesecih)
- Z enako površino, z vakuumskimi cevmi dobimo približno 30% več toplote
- Lahko dosežemo višje temperature, kar povečuje eksergijo
- Če je potrebno kolektor vgraditi orintiran drugače kot na jug, lahko mogoče zmanjšano obsevanje nadomestiti bodisi z osno vrtenjem cevi ali z uporabo CPS
- So združljivi s sistemi, kjer je kot medij lahko uporabljena samo voda

#### *Slabosti*

- So dražji
- Nižje razmerje med ceno in zmogljivostjo
- Sistem mora biti sposoben prenašati višje temperature zastajanja

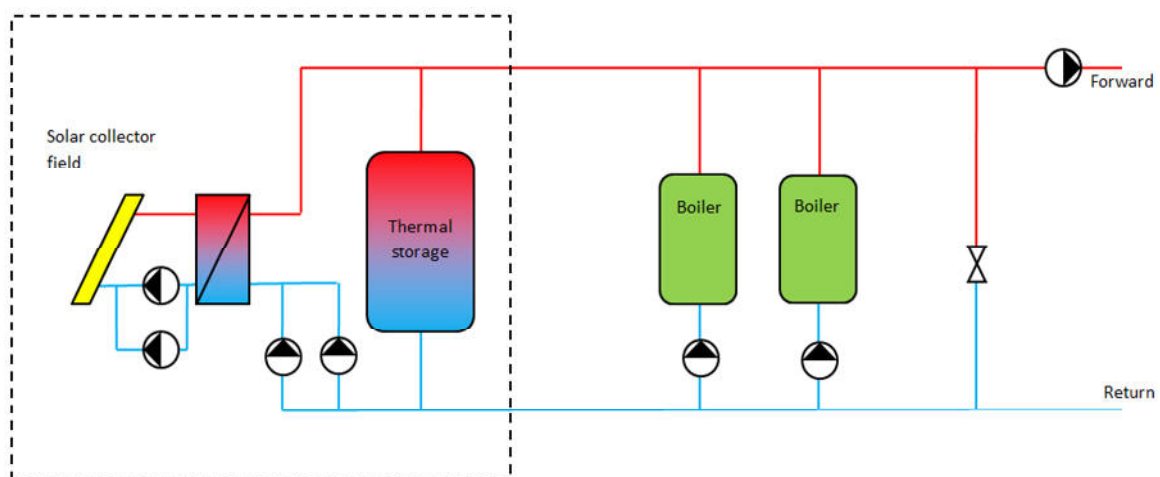
Ob ploščatih kolektorjih in vakuumske cevi, se v manjših sistemih DO lahko uporabijo tudi **parabolični kolektorji** (Slika 9, levo). Vendar pa se takšni kolektorji uporabljajo predvsem za tako imenovane koncentrirane sončne elektrarne (CSP), ki proizvajajo električno energijo na osnovi visokih temperatur. Izvedljivost paraboličnih kolektorjev je odvisna od potreb po visokih temperaturah, npr. za proizvodnjo električne energije ali za industrijske namene.

Koncept sončnih kolektorjev v sistemu daljinskega ogrevanja, je absorbiranje sončne energije transportni medij toplote (npr. glikol, voda). Toplota v mediju se nato s pomočjo

toplotnega izmenjevalca prenese na vodo ogrevalnega sistema ali zalogovnik za daljinsko ogrevanje (Slika 10). Tekočina je navadno voda z dodatkom glikola za zaščito pred zmrzaljo.

V kolikor je to le mogoče, je potrebno kot medij uporabiti vodo, saj ima boljše lastnosti tako v termo-fizikalnem in ekonomskem vidiku. Vendar pa so v realnosti, odvisno od podnebja in nevarnosti zamrznitve, uporabljene zmesi propilen glikol (PG) in vode. Ker višje koncentracije glikola povzročajo slabše lastnosti medija v smislu specifične toplote in prenosa toplote, se uporabljajo nižje koncentracije, ki zagotavljajo samo delno zaščito proti zamrzovanju. V primeru, da se temperatura medija v sistemu začne približevati ledišču, je mogoče zagnati črpalko cevovoda kolektorja, medij začne krožiti in se ogreje. Takšen pristop pomeni večjo kompleksnost nadzora in zahteva več senzorjev za temperaturo, vendar lahko poveča učinkovitost kolektorja na letni ravni. (Bava et al., 2015)

V nekaterih obratih je mogoče kot transportni medij uporabiti vodo, četudi je obrat na lokaciji, kjer se pojavlja zmrzal, zaradi varovanja okolja (vodovarstveno območje) ali občutljivega ekosistema. Pri tem se v času nizkih temperatur, mora voda v povratnem toku sistema DO rahlo segrevati, da se ne bi poškodovala zaradi zamrzovanja. Takšen primer, je recimo obrat sončnega DO Büsingen v Nemčiji.



Slika 10: Shema solarnega sistema daljinskega ogrevanja (Vir: PlanEnergi)

Solarne kolektorje je mogoče namesti na stavbah, kot so eno ali več družinske hiše, v smislu individualne aplikacije. Mogoče pa jih je namestiti tudi kot sistem nameščen na tla, v večjem obsegu. Večina večjih sončne ogrevalnih sistemov imajo sončne kolektorje, nameščene na tleh. Osnova za namestitvev so lahko betonski bloki, betonski temelji ali jekleni temelji, zabiti v tla.

Dobri sistemi sončnih kolektorjev lahko delujejo tudi, ko je zunanja temperatura zelo nizka. Prav tako so zaščiteni pred pregrevanjem v vročih, sončnih dneh. Sistemi daljinskega ogrevanja, opremljeni s sončnimi kolektorji navadno potrebujejo tudi druge toplotne generatorje, da se zagotovi stalen dotok toplote, ko ni na voljo dovolj sončnega obsevanja.

### 3.1.2 Tržišče in izkušnje iz obstoječih solarnih sistemov DO

Pregled največjih solarnih sistemov na svetu je mogoče najti na [www.solarthermalworld.org](http://www.solarthermalworld.org). Zaradi večjega tržnega deleža in pomena Danske v tem sektorju, naslednji odseki predstavljajo pregled in nekatere rezultate iz Danske.

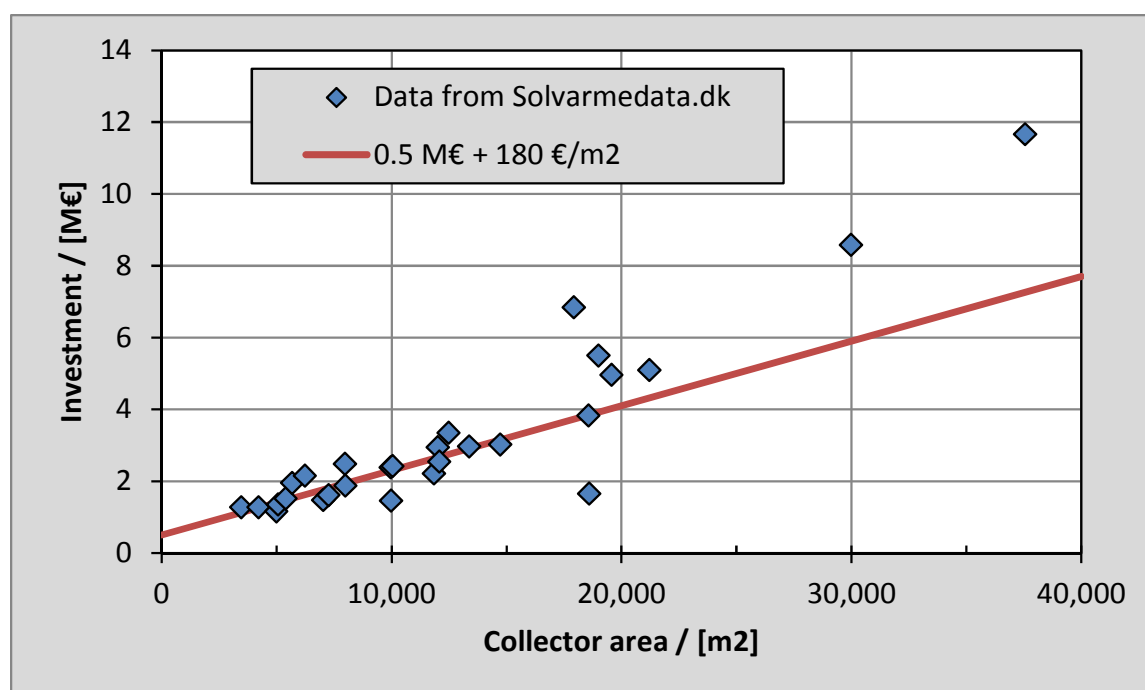
Razvoj sončnih elektrarn in površin namenjenih sončnim kolektorjem na Danskem je prikazan na Sliki 12. Trend kaže, da so novi obrati večji in vključujejo sezonske shranjevanje



toplote. Skupno obstaja (konec leta 2016) več kot 1 milijon m<sup>2</sup> obratov z več kot 1.000 m<sup>2</sup> površine sončnih kolektorjev na Danskem. To je znatno povečanje z manj kot 100.000 m<sup>2</sup> v letu 2009.

Spletni zemljevid sončnih toplarn na Danskem je prikazan na [www.solvarmedata.dk](http://www.solvarmedata.dk). Zemljevid je interaktiven in vključuje podrobne informacije o solarnih toplarnah. Le ta pokaže, več kot 125 obratov z več kot 1 milijon m<sup>2</sup> površine sončnih kolektorjev.

Investicijski stroški za sončne obrate na Danskem, so predstavljeni na sliki 11. Obrat v zgornjem desnem kotu grafa je "Dronninglund" s 37.573 m<sup>2</sup>, ki vključuje sezonski hranilnik toplote. Naložba v ta obrat je znašala 2,4 M € (glej spodaj za več informacij o sezonskem hranilniku toplote), ki ustreza razliki do rdeče črte.



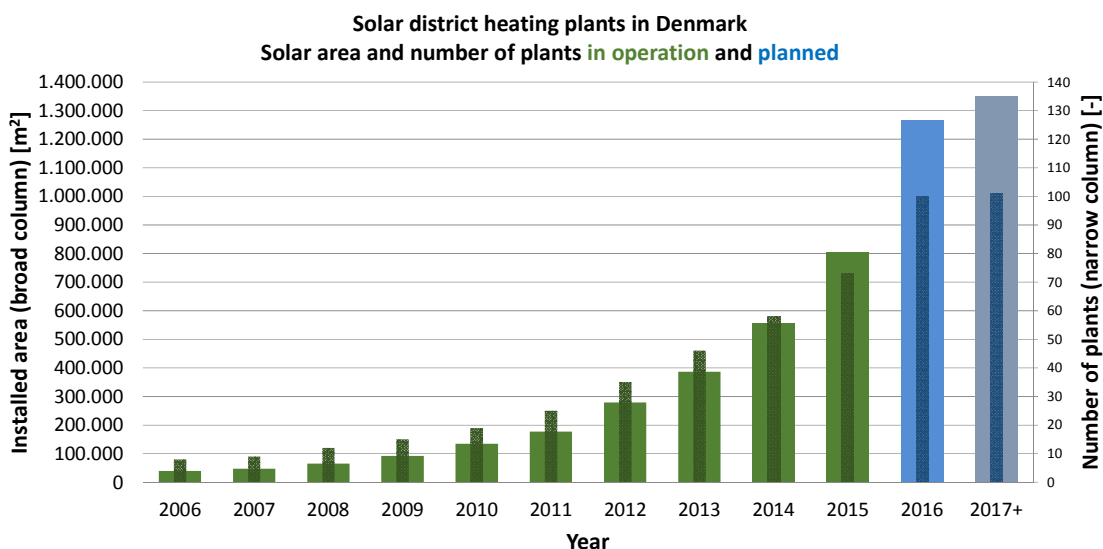
Slika 11: Investicije v solarne obrate za Danske SDH projekte (Vir: PlanEnergi)

Rast na področju solarnega ogrevanja na Danskem, je vodila v sledeče aspekte:

- **Več dobaviteljev in proizvajalcev:** So vključeni v Razvoj sektorja in razvijajo tehnologije ter postajajo pomembni tekmeči na tržišču: npr. Arcon-Sunmark, Viessmann, KBB, Clipsol, Savo Solar, Greenonetech.
- **Hibridni sistemi:** Mali sistemi DO pogosto vključujejo več tehnologij. Posebej pogosta je kombinacija sončne energije in biomase energije (sekanci in slama). Vključeni so tudi prijemi za energetska učinkovitost.
- **Sistemi za shranjevanje toplote:** V velikih solarnih sistemih ogrevanja, je pogosta uporaba sezonskih sistemov za shranjevanje toplote. Takšni sistemi shranjevanja toplote lahko shranijo do 80% letne potrebe po toploti.
- **Solarni naprave za velika mesta:** Nekatere nove sončne toplarne se načrtuje ali trenutno gradijo v večjih mestih, npr. Graz, Avstrija (za 265.000 prebivalcev, 450.000 m<sup>2</sup> sončnih

kolektorjev, 1,8 milijona m<sup>3</sup> za shranjevanje), ali Beograd, Srbija (v preiskavi).

- **Sončne toplarne z višjimi temperaturami:** Številni obrati delujejo z višjimi temperaturami z namenom oskrbe (tudi) industrije ali za širjenje obstoječih daljinskih sistemov. Nekateri primeri zagotavljajo toploto za proizvodnjo električne energije (npr. s tehnologijami CSP, ORC,...).



**Slika 12: Solarni sistem DH na Danskem v obratovanju (do 2015) in načrtovani obrati (Vir: PlanEnergi)**

Razvoj v sektorju termalne rabe sončne energije, kaže, da gre za dobro preizkušene in robustne tehnologije z dolgo tehnično življenjsko dobo. Tehnologija je dosegla stopnjo razvoja, ko je konkurenčna tudi v velikem obsegu, v kombinaciji z drugimi tehnologijami, vključno s tehnologijami sezonskega shranjevanja toplote. Glavne **prednosti** solarnega ogrevanja so:

- Enostavna, robustna in preverjena tehnologija; več kot 100 sistemov DO na Danskem vključuje rabo sončne energije.
- Dolga življenjska doba, ki je dokazano najmanj 25-30 let. Nove naprave bodo imeli še daljšo življenjsko dobo.
- Nizki stroški vzdrževanja. Na podlagi obratov v uporabi znašajo stroški vzdrževanja približno 0,7 € na proizvedeno MWh toplotne energije.
- Ima nizko porabo električne energije (3-4 kWh na proizvedeno MWh sončne energije).
- Ni potrebna stalna prisotnost osebja.
- Cena toplote ni občutljiva na variabilne stroške goriva.
- Vir energije nima CO<sub>2</sub> emisij.
- Visok specifični energetski donos (na površino) v primerjavi z biomaso in PV.
- Enostavna ponovna vzpostavitev območja v prvotno stanje, brez ali z majhnim vplivom na tla.
- 98% obrata je mogoče reciklirati.

Glavne **slabosti** solarnega ogrevanja:

- Proizvodnja toplote je odvisna od sončnega sevanja in vremenskih razmer.
- Toplotne potrebe v poletju določajo zmogljivost, v primeru samo dnevnega skladiščenja toplote.
- Daje 80% toplotne energije v obdobju april - september, ko je potreba po toploti najnižja. Ta problem je mogoče zmanjšati z vključitvijo sezonskega shranjevanja toplote.
- V primerjavi z drugimi tehnologijami daljinskega ogrevanja, kot so kotli ali toplotne črpalke, potrebujejo nameščeni sončni kolektorji veliko površino. Približno 2,5 m<sup>2</sup> potrebne površine za vsak m<sup>2</sup> kolektorjev plošče. Lokacija mora biti v bližini vročevodnega omrežja DO - čeprav je to mogoče omiliti s prenosnim toplovodom tudi nekaj km dolžine. Vendar pa to pomeni dodatne stroške.
- Visoki začetni stroški naložbe na MW. Vendar pa je z amortizacijsko dobo 15-20 let, strošek proizvodnje toplote konkurenčen npr. proizvodnji toplote iz biomase.

Obsežne smernice za solarno ogrevanje so bile izdelane v okviru projekta IEA SHC Task 45<sup>4</sup>. Na voljo so informacijski tabele kot tudi tehnološke tabele so na voljo, ki opisujejo zahteve in smernice za področje kolektorjev in sezonsko shranjevanje toplote.

### 3.2 *Biomasi sistemi*

Biomasa je organska snov, ki jo ustvarjajo živi organizmi (rastlinski material, ljudi in živali in njihovi izločki), kar vključuje materijo preminulih organizmov. Le to vključuje tudi sekundarne proizvode pri uporabi biomase, kot so biološki odpadki, proizvodnja papirja, lesnih izdelkov, itd. Osnovna organska snov je proizvedena s fotosintezo rastlin, ki jemljejo CO<sub>2</sub> iz ozračja ter iz vode in energije sončne svetlobe gradijo spojine na osnovi ogljika (glej okvir 3). Te ogljikove spojine vsebuje shranjeno energijo iz sonca, ki se lahko ponovno sprosti z zgorevanjem.

**Okvir 3: Zakaj je biomasa obnovljiva? (Dimitriou & Rutz 2015)**

Glavni toplogredni plin od procesov izgorevanja je **ogljikov dioksid** (CO<sub>2</sub>), ki je odgovoren za povečanje globalne temperature. Ogljikov dioksid se sprošča pri gorenju fosilnih goriv (npr. lignita, črnega premoga, nafte, zemeljskega plina), pa tudi biomase. Razlika je v tem, da je biomasa med rastjo iz ozračja jemlje CO<sub>2</sub> (fotosinteza). Tudi nasad hitro rastočih dreves **odstranjuje CO<sub>2</sub>** iz ozračja za obdobje npr. 4-6 let rasti, po katerem se drevesa poseka ter uporabi kotlih. Zaradi tega kratkega in zaprtega kroga, je biomasa obnovljiva in ščiti naše podnebje. Vendar pa biomasa kot vir energije ni povsem "CO<sub>2</sub> nevtralna", saj potrebujemo fosilne vire energije, za pripravo in uporabo biomase (npr. spravilo in prevoz).

Tako lahko biomaso uporabljamo kot vir obnovljive, ki jo je mogoče skladiščiti. Biomasa lahko neposredno izgori, ali se najprej pretvori v sekundarne proizvode (bioplin, etanol, biodizel, oglje, itd), in nato sežge. Pretvorba biomase v izdelke lahko razdelimo v naslednje kategorije:

- **Mehanska obdelava:** sekanje, stiskanje, mletje, peletiranje, briketiranje

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

- **Termo-kemična obdelava:** uplinjanje, piroliza
- **Biokemična obdelava:** anaerobna presnova, vrenje

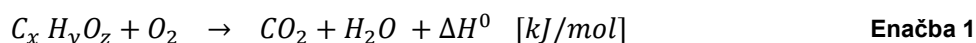
Biomasa je zelo primeren in pogosto uporabljen vir energije za majhne sisteme daljinskega ogrevanja. Glavna prednost je možnost skladiščenja in uporaba tega vira na zahtevo. Na primer, les lahko shranimo za daljše obdobje, ter ga uporabimo ko nastane potreba po toploti, v zimskem času. Glavna pomanjkljivost je, da sistemi na lesno biomaso potrebujejo vhodno surovino, ki jo je treba zbirati in jo predelati ter transportirati do obrata, kjer se uporabi. To je glavna razlika glede na t.i. variabilne obnovljive vire energije, kot sta sončna in vetrna, ki imajo nižje zahteve za vzdrževanje. Po drugi strani pa je te variabilne obnovljive vire težje skladiščiti. Tako ima kombinacija sistema na biomaso in solarnega sistemoma velik potencial za povečanje sinergij.

### 3.2.1 Proces izgorevanja

Trdna biomasa je opredeljena kot lignocelulozna biomasa, ki se lahko neposredno uporablja za izgorevanje. To je pretežno les, sekanci in peleti iz gozdarstva, vzdrževanja krajine, žagarske industrije, ali hitrorastočih rastlin (short rotation crops - SRC). V nekaterih primerih lahko neposredno za izgorevanje uporabimo tudi kmetijske ostanke, kot so koruzni storži ali slama.

Biomasa iz rastlin je v osnovi sestavljena iz ogljika (C), vodika (H) in kisika (O). Delež ogljika določa količino energije sprošča med izgorevanjem (oksidacija). Tudi vodik iz trdne biomase zagotavlja energijo, ko izgori. Skupaj z ogljikom določa kurilno vrednost suhe snovi. Kisik podpira samo proces zgorevanja, vendar nima vpliva na energijski vsebnosti goriva. (Dimitriou & Rutz 2015)

Toplota pridobljena z zgorevanja ( $\Delta H^0$ ) (enačba 1) je energija, ki se sprosti v obliki toplote, ko spojina (bioplina, les, fosilna goriva) opravi popolno zgorevanje s kisikom pri standardnih pogojih. Kemijska enačba predstavlja biomaso, ki reagira s kisikom in tvori ogljikov dioksid, vodo in toploto.



V sistemih za zgorevanje, ki so navadno v uporabi, so goriva pogosto označena z nižjimi in višjimi kurilnimi vrednostmi (okvir 4). Le te so odvisne od kemične sestave goriva.



**Okvir 4: Kakšna je razlika med nižjo in višjo kurilno vrednostjo? (Dimitriou & Rutz 2015)**

Kurilne vrednosti predstavljajo pomembne informacije o lastnostih goriva

**Spodnja kurilna vrednost** (LHV) (neto kalorična vrednost (NSV), spodnja kalorična vrednost (LCV)) označuje količino toplote, ki se sprosti pri popolnem izgorevanju (oksidacije) biomase. Ta vrednost ne upošteva toplote za kondenzacijo (toploto izhlapevanja) vodne pare, vsebovane v izpušnih plinih. Tako se spodnja kurilna vrednost zmanjša s povečanjem vsebnosti vode v biomasi.

Količina znana kot **višja kurilna vrednost** (HHV) (kalorična vrednost, bruto vrednosti energije za ogrevanje, zgornja kurilna vrednost (Ho), bruto kalorične vrednosti (GCV), višja kalorična vrednost (HCV)) se določi z združevanjem vseh proizvodov zgorevanja nazaj z začetno temperaturo pred zgorevanjem, zlasti kondenzacijo proizvedene pare. Za biomaso HHV leži v povprečju približno 6% (lubje), 7% (les) oziroma 7,5% (kmetijski proizvodi) nad LHV (Tabela 1). Vendar to velja le za trdna goriva v absolutno suhem in vode prostem stanju (WF). Za vlažno biomaso se to neskladje povečuje. Tabela 2 prikazuje kurilne vrednosti različnih vzorcev lesa.

Lesna goriva imajo visoko vsebnost ogljika 47 do 50%. Vsebnost kisika lesnih goriv se giblje med 40 in 45% ter vsebnost vodika med 5 in 7%. Poleg teh treh elementov, so lesna goriva sestavljena v manjši meri še iz drugih elementov. Ti imajo lahko kljub svojih majhnih deležih, zelo velik vpliv na emisije izpušnih plinov. Žveplo, klor, in dušik so elementi, ki imajo največji vpliv na škodljive emisije izpušnih plinov. Goriva se lahko med seboj razlikujejo, v odvisnosti od vsebnosti elementov pomembnih za emisije. Vsebnost energije na maso, ki je izražena v nižji in višji kurilni vrednosti (glej okvir 4) je prikazana v tabeli 1. Za sekance se pogosto uporablja vsebnost energije na volumen (na kubični meter). Primer je prikazan v tabeli 2. Glede na vrsto lesa, velikosti sekancev, in vlago, znaša masa kubičnega metra sekancev približno 200-300 kg. (Dimitriou & Rutz 2015)

### 3.2.2 Kvaliteta trdne biomase

Pomemben dejavnik, ki vpliva na proces zgorevanja je kakovost goriva. Goriva dobre kakovosti se lahko uporablja v vsakem sistemu, goriva zelo nizke kakovosti pa se lahko uporablja le v posebnih sistemih. To so običajno večji sistemi s posebno opremo. Kakovost goriv iz trdne biomase (peleti, briketi, sekanci, drva, itd) se razvršča po mednarodni organizaciji za standardizacijo v okviru različnih norm s številom ISO 17225 (na primer "ISO 17225-1: 2014 - Trdna biogoriva - specifikacije za gorivo in razredi - 1. del: Splošne zahteve").

**Tabela 1: Značilnosti izgorevanja trdih goriv (Hiegl et al 2011) povprečne / tipične vrednosti, ki temeljijo na absolutno suhi snovi (0% vsebnosti vode); realne vrednosti so odvisne od več dejavnikov.**

Tip goriva	LHV [MJ/kg]	HHV [MJ/kg]	Vsebnost pepela [%]	Tališče pepela [°C]
Les topola	18.5	19.8	1.8	1,335
Les vrbe	18.4	19.7	2.0	1,283
Les bukve/hrasta	18.4	19.7	0.5	Ni podatka
Les smreke	18.8	20.2	0.6	1,426
Skorja iglavcev	19.2	20.4	3.8	1,440
Slama pšenice	17.2	18.5	5.7	998
Zrna pšenice	17.0	18.4	2.7	687
Črni premog	29.7	Ni podatka	8.3	1,250
Lignit	20.6	Ni podatka	5.1	1,050

Tabela 2: Pregled energetske vrednosti lesnih sekancev v odvisnosti od vsebnosti vode (povprečne/tipične vrednosti, realne vrednosti so odvisne od več faktorjev)

Vsebnost vode [%]		0	15	20	30	50
	<b>Enota</b>	<b>Spodnja kurilna vrednost [kWh]</b>				
<b>Bukev</b> (gostota 558 kg suhe snovi/neto m <sup>3</sup> )	kg	5.00	4.15	3.86	3.30	2.16
	Solid m <sup>3</sup>	2,790	2,720	2,700	2,630	2,410
	Bulk m <sup>3</sup>	1,116	1,090	1,077	1,052	964
<b>Smreka</b> (gostota 379 kg suhe snovi /neto m <sup>3</sup> )	kg	5.20	4.32	4.02	3.44	2.26
	Solid m <sup>3</sup>	1,970	1,930	1,900	1,860	1,710
	Bulk m <sup>3</sup>	788	770	762	745	685
<b>Topol</b> (gostota 353 kg suhe snovi/neto m <sup>3</sup> )	kg	5.00	4.15	3.86	3.30	2.16
	Solid m <sup>3</sup>	1,765	1,723	1,705	1,662	1,525
	Bulk m <sup>3</sup>	706	689	681	666	610
<b>Vrba</b> (gostota 420 suhe snovi/neto m <sup>3</sup> )	kg	4.54*	3.76**	n.a.	2.97**	n.a.
	Solid m <sup>3</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Bulk m <sup>3</sup>	n.a.	680-810**	n.a.	620-740**	n.a.

Vir: CARMEN 2014, \*Verscheure 1998, \*\* ETA Heiztechnik GmbH n.d. (first value of bulk m<sup>3</sup> is related to G50, second to G30, drugi viri)



Slika 13: Stiskalnica za izdelavo peletov (levo) in peleti visoke kvalitete (desno) (Vir: Rutz D.)



Slika 14: Visoko kvalitetni lesni sekanci (levo) in sekanci nizke kvalitete (sredina, desno), Nemčija (Vir: Rutz D.)

### 3.2.3 Sistemi na izgorevanje trdne biomase

Trdna biomasa se lahko uporabi v sledečih sistemih:

- **Male peči na les** (polena ali peleti) za ogrevanje posameznih sob
- **Centralni lesni kotli** (polena ali peleti) za ogrevanje posameznih gospodinjstev
- **Mali kotli na les** (polena, peleti ali sekance) za ogrevanje večjih stavb ali nekaj gospodinjstev
- **Kotli srednje velikih** (sekanci, polena, ali peleti) za mikro omrežja DO za več med seboj povezanih gospodinjstev
- **Mali sistemi sproizvodnje toplotne in električne energije** (SPTe) (peleti ali sekanci) s uplinjanjem
- **Srednje veliki sistemi sproizvodnje toplotne in električne energije** (SPTe) (polena, peleti ali sekanci) na osnovi tehnologije organskega rankinovega cikla (ORC)
- **Večji sistemi sproizvodnje toplotne in električne energije** (SPTe) (polena, peleti ali sekanci) na osnovi parne turbine
- **Sosežig sekancev ali industrijskih peletov v velikih postrojih** (na fosilna goriva)

Kotli na pelete se uporabljajo za manjše ogrevalne sisteme (posamezno gospodinjstvo ali nekaj gospodinjstev), vendar se lahko uporablja tudi za srednje velike sisteme. Kotli na lesne sekance (slika 15, slika 16) se uporabljajo za ogrevalne sisteme, ki se začnejo pri okoli 20 kW moči. Ogrevanje na sekance je običajno ekonomično le za večja gospodinjstva, kmetijah ali več za več povezanih gospodinjstev oz. celo ogrevanje manjših vaseh (majhni sistemi DO). (Dimitiou & Rutz 2015)

Tehnologija ogrevanja na lesne sekance in pelete je zrela in jo ponujajo mnogi proizvajalci. Sistem je običajno sestavljen iz bunkerja za shranjevanje goriva, sistem za transport goriva,



kotel na biomaso, izpušni sistem in sistem distribucije toplote (pogosto vključuje zalogovnik toplote). Investicija v sistem na lesne sekance ali pelete je pogosto višja kot v primeru kotla na fosilna goriva, vendar so običajno stroški goriva veliko cenejši. Zato so na dolgi rok, sistemi na lesne sekance ali pelete bolj gospodarni kot kotli na fosilna goriva. (Dimitiou & Rutz 2015).



Slika 15: Majhni sistem ogrevanja na lesne sekance (24-50 kW) kotel (levo), sistem transporta goriva (sredina) in zalogovnik sekancev (desno) proizvajalca Fröling (Vir: Rutz D.)



**Slika 16:** Slednje velik sistem ogrevanja na lesne sekance (3,000 kW) kotel (desno) in zalogovnik toplote (levo), Biomassehof Achental v Nemčiji (Vir: Rutz D.)

Za izgorevanje kmetijskih ostankov, kot so npr. slama, je potrebna posebna oprema (slika 17 in slika 18), zaradi posebnih značilnosti zelene ne-lesne surovine. Izziv v zvezi z izgorevanjem slame je predvsem visoka koncentracija klora v surovini, ki lahko privede do korozije opreme, v kolikor le ta ni prilagojena tem zahtevam. Poleg tega ima pepel kmetijskih ostankov nizko tališče, kar je lahko povzroči problematično odstranjevanje staljenega pepela (žlindre) (slika 18), kar je precej bolj zapleteno kot v primeru pepela iz lesa.



**Slika 17:** Transportni sistem bal slame (levo) in 1.6 MW kotel na slamo v Ballen-Brundby, Danska (Vir: Rutz D.)



**Slika 18:** Staljeni pepel, ki nastane pri zgorevanju slame (Vir: Rutz D.)



### 3.2.4 Sistemi sproizvodnje toplotne in električne energije iz lesne biomase

Sistemi, ki poleg toplote tudi ustvarjajo električno energijo (enote **sproizvodnje toplotne in električne energije**, SPTE), so vse bolj v uporabi. Zagotavljajo namreč dve vrsti energije, toplotne in električno energijo. So sicer bolj zapleteni, kot so sistemi za samo ogrevanje, ki so predstavljeni v prejšnjem poglavju. Optimalna integracija SPTE tehnologij v manjše sisteme DO je odvisna od različnih pogojev. Zasnova sistema je lahko usmerjena v maksimizacijo proizvodnje toplote ali maksimizacijo proizvodnje električne energije.

SPTE enota **s poudarkom na zadovoljevanje toplotnih potreb** generira samo količino toplote, ki je dejansko potrebna. Če je potrebno manj toplote, se prav tako zmanjša proizvodnja električne energije. Ta koncept se uporablja predvsem, ko obstaja stalna potreba po toploti, s 7.500 do 8.760 obratovalnih ur polne obremenitve na leto. Če toplote potrebe variirajo, ali če v določenih obdobjih ta potreba manjša, po tej definiciji SPTE enota deluje pri delni obremenitvi. To vodi do manj ur polne obremenitve (2.000 do 3.000 ur) za sisteme daljinskega ogrevanja, v katere so priklopljena samo gospodinjstva (ogrevanje prostorov).

SPTE enota **s poudarkom na zadovoljevanje potreb po električni energiji** ustvari le toliko električne energije, kot je dejansko potrebno ali kolikor je električno omrežje v danem trenutku lahko sprejme. Večina biomasnih SPTE enot v uporabi je zasnovano za proizvodnjo zelene električne energije v skladu z zjamčenimi odkupnimi cenami. Tako skoraj vse SPTE enote s poudarkom na zadovoljevanju potreb po električni energiji delujejo na najvišjem številu ur polne obremenitve ali glede na zahteve električnega omrežja. V nekaterih državah, na primer v Nemčiji, so bile uvedene namenske spodbude za podvojitev zmogljivosti v času vršnih potreb po električni energiji (npr. podnevi) in za ustavitev delovanja v času nizkih potreb po električni energiji (na primer ponoči). Tako bodo SPTE enote s poudarkom na zadovoljevanju potreb po električni energiji igrale vedno bolj pomembno vlogo pri uravnoteženju električnega omrežja.

Pri uporabi tega koncepta usmerjenega v zadovoljevanje potreb po električni energiji se lahko zgodi, da se proizvodnja toplote morda ne ujema s potrebami po toploti oz lahko te potrebe signifikantno presega. V tem primeru, se presežek toplote pogosto odvaja in se ne porabi koristno, kot je opisano v okvirju 5 za bioplinske naprave. To je že pripeljalo do situacij, v katerih so bile nameščene enote, ki izgubljajo do 70% primarne energije. Po nekaj letih so se skoraj vse države odzvala ter prilagodile zakonodajo in od takrat je koristna poraba 40% do 50% toplote obvezna za obrate, ki pridobijo zjamčeno odkupno ceno proizvedene električne energije. To povečuje splošno učinkovitost enot SPTE na biomaso za približno 70%. Zato je vgradnja SPTE smiselna le, če se večina proizvedene toplote koristno uporabi.

V preteklosti so bile **tehnologije** za sproizvodnjo toplote in električne energije na osnovi biomase izbrane glede na toplotno in električno zmogljivost sistema. Tako so bili izbrani ORC sistemi za male sisteme in sisteme srednjih velikosti ter parni sistemi za srednje velike in velike sisteme. Obe tehnologiji sta termodinamična procesa osnovana za načelu Rankinovega cikla.

Razvoj visoko učinkovitih parnih turbin je bil osnovan na velikih elektrarnah na premog ali in jedrskih elektrarnah z električno močjo nekaj sto MW. Tam uporabljeni parni cikli so bili zmanjšani za uporabo v elektrarnah na biomaso do 5 - 100 MW (slika 19).

Za manjše sisteme so bili razviti procesi organskega Rankinovega cikla (ORC), ki zagotavljajo nekaj prednosti. Glavna razlika med procesom parnega in ORC-postopka je delovni mediji. Voda, oziroma para, ki je zamenjan z organsko tekočino, ki ima drugačne temperature kondenzacije in izhlapevanja. S temi lastnostmi se postopek lahko prilagodi v skladu s potrebami porabnikov toplote in toplotnega vira. Tako so ORC procesi optimizirani za nižjo temperaturno raven za proizvodnjo toplotne energije od 85-95°C in temperaturnem nivoju toplotnega vira (kotla na biomaso) od 250-350°C. V teh parametrih je ORC proces nekoliko učinkovitejši od parnega cikla. Še en praktičen razlog za izbiro te tehnologije so nizki stroški za obratovanje in vzdrževanje. Nekateri proizvajalci ORC enot proizvajajo

standardizirane ORC-module, ki vključujejo celovite dolgoročne pogodbe za vzdrževanje. To občutno povečuje zanesljivost delovanja sistema, ki ga je mogoče izvajati z minimalnimi človeškimi viri. Še ena lastnost, ki je pomembna za odločanje je potreba po usposobljenem osebju operacije. V večini držav EU je potrebno posebno izobraževanje za delo s parnim kotlom. Zaradi nižjih tlakov, temperatur in drugačnih lastnosti tekočine organskega delovnega medija v ORC procesu, posebno izobraževanje za delo na takšnih obratih ni potrebno. Nenazadnje je so ORC postroji nekoliko bolj ekonomični znotraj življenjskega cikla obrata v primerjavi z različnimi vrstami parne tehnologije. Tako so ORC enote v tem trenutku precej razširjena tehnologija v uporabi z lesno biomaso.

Slika 20 prikazuje tipično namestitev ORC z  $1,5 \text{ MW}_{\text{el}}$ . Ko se je trg v Evropi hitro razvijal med letoma 2002 in 2010 so zaradi zjamčenih odkupnih cen za zeleno električno energijo nekateri proizvajalci parnih turbin začeli razvijati tudi manjše parne turbine. Danes sta ti dve tehnologiji, ORC in parni cikel, zelo podobni iz vidika gospodarnosti (Zweiler, 2008).



**Slika 19: SPTE obrat na lesne sekance in pri tem uporabljena parna turbina, Stadtwerke Augsburg Energie GmbH v Nemčiji (kapaciteta: 80,000 t/a lesnih sekancev;  $7.8 \text{ MW}_{\text{el}}$ ;  $15 \text{ MW}_{\text{th}}$ ) (Vir: Rutz D.)**





Slika 20: ORC sistem (1,520 kW<sub>el</sub>) institucije Grünfüttertrocknungsgenossenschaft v naselju Kirchdorf a.H. eG v Nemčiji (Vir: Rutz D.)

**Sistemi uplinjanja biomase** so v uporabi več kot 100 let, vendar pa je za srednje velike in večje aplikacije tehnologija dozorela po letu 2002 ter za majhne sisteme po letu 2012. Na osnovi nekaterih demonstracijskih in komercialnih projektov uplinjanja lesne biomase se danes ta tehnologija uporablja za številne aplikacije, zlasti majhnega obsega. Uplinjevalni sistemi na sekance ali pelete imajo pogosto kapaciteto 10-100 kW<sub>el</sub> (Slika 21).

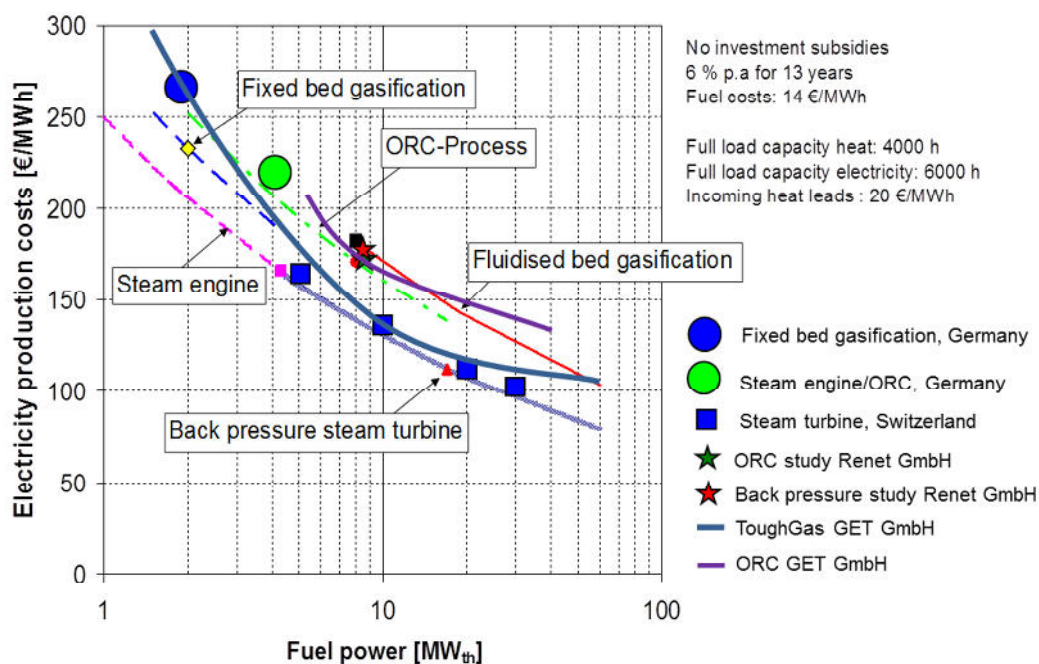
Uplinjanje je proces, v katerem se biomasa pretvori v uporabni plin, ki sestoji predvsem iz vodika, metana, ogljikovega monoksida in ogljikovega dioksida. Biomasa reagira pri visokih temperaturah (> 600 ° C) z nadzorovano količino kisika ( $0 <\lambda> 1$ ) v proizvodni plin. Ta korak je podoben prvemu koraku postopka zgorevanja, kjer se plin pretvori v plinske produkte. Nasprotno v postopku zgorevanjem se ta plin ne sežigajo "in-situ". Do 80% kemične energije biomase se pretvori v uporabni plin. Ta plin se uporablja v plinskem motorju za proizvodnjo električne energije in toplote v primeru SPTE. Če se v procesu uporabi drug plin namesto zraka, nastane sintetični plin.

Slika 21 prikazuje tipični manjši SPTE sistem uplinjanja. Masovna proizvodnja je privedla do znižanja cen, s čimer je uplinjanje danes dobra izbira, tudi v projekti v manjšega obsega.



Slika 21: Sistem uplinjevalnja majhnega obsega v kontejnerju (levo) in tokom proizvodnje tehnologije (desno) proizvajalca „SpannerRE<sup>2</sup>“ (Vir: Rutz D.)

Vse omenjene tehnologije so bile analizirane v različnih študijah. Poročilo, ki je združilo povzetke številnih prejšnjih študij, posodobljeno z najnovejšimi izsledki kaže, da Razvoj tehnologij na tem področju sledi znanemu konceptu ekonomije obsega, medtem ko so med različnimi obravnavanimi procesi SPTE le majhne razlike (Zweiler, 2013). Slika 22 prikazuje mejne stroške za proizvodnjo električne energije iz različnih tehnologij. Po letu 2012, serijska proizvodnja uplinjanja manjšega obsega (SPTE) privedla do zmanjšanja stroškov proizvodnje električne energije v velikosti moči do nekaj sto kW<sub>el</sub>.



Slika 22: Primerjava različnih SPTE procesov za različne velikosti sistemov na osnovi izsledkov različnih študij (Zweiler, 2013)

Pravilna izbira in implementacija SPTE sistema zahteva dobro znanje, vendar vsekakor gre za zrelo tehnologijo z visokim izkoristkom. Pomembni vidiki za izbiro tehnologije SPTE so:

**Kakovost goriva:** Nižja kakovost je manj primerna SPTE sisteme na osnovi stabilne plasti (t.i. fixed bed). Trenutno sistemi s stabilno plastjo zahtevajo visoko kakovostne sekance

večje od G50 ali standardizirano gorivo, kot so peleti. SPTE sistemi z lebdečo plastjo (t.i. fluidised bed) so manj občutljivi na kakovost goriva. Lahko uporabljajo vse vrste goriva, tudi biomasne ostanke ali odpadke, vendar je še vedno potrebno nekaj raziskovalnih in demonstracijskih prizadevanj za dokazovanje uporabe odpadkov v tej tehnologiji uplinjanja (Zweiler, 2013). Še manj občutljivi na kakovost goriva so kotli z ustreznim sistemom za transport goriva, ki zagotavljajo toploto za SPTE enote Rankinovega cikla. Le te tehnologije lahko uporabljajo vse vrste goriva. Vendar so tudi v tem primeru rabe goriv nižje kakovosti, bolj zahtevne, predvsem za metode čiščenja emisij izpušnih plinov.

**Vsebnost vode:** Zaradi nizkih cen goriv z visoko vsebnostjo vode se zdi donosno uporabljati mokra goriva v SPTE sistemih (vsebnost vode do 60%), vendar pa to iz tehničnega vidika in celotnega delovanja sistema ni priporočljivo. Standardni kotli so običajno namenjeni sežiganju goriva z vsebnostjo vode med 5-40% (kotel namenjen za suho gorivo) ali med 20% in 60% (kotel zasnovan za mokro goriva). Večjo prožnost je mogoče doseči z recirkulacijo dimnih plinov. Ponovno, SPTE sistemi uplinjanja z lebdečo plastjo ali na osnovi izgorevanja so bolj fleksibilni v primeru visoke vsebnosti vode v gorivu. Zaradi toplotnega ravnovesja in ravnovesja v materialu, največja vsebnost vode v sistemu uplinjanja s stabilno plastjo ne sme presežati 15%, sicer v procesu nastajajo odpadne vode kar je problematično za sam proces. Iz tega razloga, določeni sistemi s tehnologijo uplinjanja s stabilno plastjo običajno vključujejo enote za sušenje goriva.

**Temperatura:** tehnologije, ki temeljijo na Rankinov ciklu so zelo občutljive na uporabljene nižje temperature stopnje, ki ne smejo biti previsoke. Ta raven določa temperaturo vtoka v omrežje daljinskega ogrevanja. Večja ogrevalna omrežja, ki vključujejo industrijske odjemalce pogosto zahtevajo raven temperature nad 120°C, kar ni ugodno za parni ali ORC cikel. V tem primeru se učinkovitost bistveno zmanjša v primerjavi s temperaturo 85°C. Odvisno od velikosti sistema se lahko električni izkoristek zmanjša s 18-20% na 15-17%. Tehnologija uplinjanja z lebdečo plastjo omogoča stabilno električno učinkovitost med 23% in 28% pri proizvedeni temperaturi toka za omrežje daljinskega ogrevanja vse do 180 °C.

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

Bioplin se proizvaja z **anaerobno presnovo (AD)**. AD je biokemijski proces, v katerem različne vrste anaerobnih mikroorganizmov (bakterij) razkrajajo kompleksne organske snovi (biomasa) v manjše spojine, v odsotnosti kisika. Postopek AD je skupen številnim naravnim okoljem kot tudi v morskih vodnih usedlinah, želodcu prežvekovalcev ali v šotnih barjih. Tudi v bioplinarnah se organski vhodni material, ki se imenuje substrat, anaerobno prebavi, s čemer se razgradi v dva glavna izdelka bioplin in pregnito blato. V večini bioplinarn, se istočasno uporablja mešanica več surovin, s čemer se stabilizira postopek ter optimizira proizvodnja bioplina. Primerna surovina za AD vsebuje veliko različnih materialov biomase, po možnosti sestavljena iz hitro razgradljivega materiala. To vključuje maščobe, olja, sladkorje in škrob. Tudi celuloza je lahko razgradljiva, po drugi strani lignin, glavna spojina lesa, težko razpada z AD. Tipična surovina za bioplinske naprave so lahko rastlinskega in živalskega izvora:

- Živalski iztrebki (gnoj, gnoj)
- Kmetijski ostanki in stranski proizvodi
- Organski odpadki iz prehranske in živilske industrije
- Organski odpadki iz industrije (npr. celuloze in papirja, farmacevtski izdelki)
- Organski del komunalnih trdnih odpadkov
- Odpadna hrana iz gostinskih storitev

<sup>5</sup> Za pripravo tega poglavja je bil uporabljen priročnik BiogasHeat (Rutz et al. 2015). Več delov besedila je vzeti iz tega vira.



- Blato iz čistilnih naprav
- Posebne energetske rastline (npr. koruza, sladkorna pesa, trava)

Vrsta surovine vpliva na AD proces in končno sestavo proizvedenega bioplina. Bioplin glavnem sestavlja metan ( $\text{CH}_4$ , 40-80%) in ogljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ , 15-45%), kakor tudi manjše količine vodikovega sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ), amonijaka ( $\text{NH}_3$ ) dušikovega plin ( $\text{N}_2$ ) in drugih spojin. Poleg tega je bioplin običajno nasičen z vodno paro ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Donos metana je eden izmed najbolj pomembnih značilnosti surovine, ki se porabi v AD procesu. Poleg vrste surovin, pa so pomembni tudi drugi dejavniki, kot so načrtovanje sistema, temperatura digestorja, čas hrambe, in delež organskih snovi vplivajo na sestavo bioplina.

Evropski sektor bioplina predstavlja tisoče obratov za pridobivanje bioplina. Države, kot so Nemčija, Avstrija, Danska, Švedska, Češka, Italija in Nizozemska so vodilne države iz tehničnega vidika, z najvišjim številom sodobnih naprav za pridobivanje bioplina. Danes obstajajo bioplinske naprave v razponu od 50  $\text{kW}_{\text{el}}$  do 30  $\text{MW}_{\text{el}}$  električne zmogljivosti. Tipične bioplinarne na kmetijske proizvode v Evropi imajo električno kapaciteto v območju od približno 500  $\text{kW}_{\text{el}}$ , ter termično kapaciteto 550-600  $\text{kW}_{\text{th}}$ . Od tega je približno 500  $\text{kW}_{\text{th}}$  na voljo za komercialno uporabo toplote, saj je potrebno približno 25% proizvedene toplote za ogrevanje procesa AD v srednjeevropskih klimatskih pogojih. Ob predpostavki 8.000 ur polne obremenitve delovanja sistema na leto, je skupna letna proizvodnja tipične bioplinarne s termalno kapaciteto 500  $\text{kW}_{\text{th}}$  znašala 4.000  $\text{MWh}_{\text{th}}$ .

Bioplin je energent s številnimi možnostmi uporabe (slika 24). V obdobju razcveta bioplina v Nemčiji in Evropi, pred nekaj leti, je bilo v ospredju maksimiranje proizvodnje električne bioplinskih naprav. Poudarek na proizvodnji električne energije je bil predvsem posledica večine shem javne podpore za obrate za pridobivanje bioplina, ki so veljale za proizvodnjo električne energije (zajamčena odkupna cena električne energije). Pri čimer je bila učinkovita uporaba toplote pogosto zanemarjena. V tem času se je to spremenilo, saj so številne države uvedle ustrezna orodja za povečanje uporabe odpadne toplote, kot so bonusi SPTE ali določila, ki zahtevajo uporabo določenega deleža odpadne toplote. Pregled možnosti za uporabo toplote iz bioplinskih naprav je na voljo v Rutz et al. (2015).

Sljedeče vrednosti so uporabljene pri kalkulaciji energije iz bioplinarn:

- Energijska vrednost 1 kg biometana: 50 MJ
- Energijska vrednost 1  $\text{Nm}^3$  biometana: 35,5 MJ ali približno 9,97 kWh
- Vsebnost biometana v 1  $\text{Nm}^3$  bioplina: 0,45-0,75  $\text{Nm}^3$
- Energijska vrednost 1  $\text{Nm}^3$  bioplina: 5-7,5 kWh
- Električni output 1  $\text{Nm}^3$  bioplina: 1,5-3  $\text{kWh}_{\text{el}}$
- Gostota 1  $\text{Nm}^3$  biometana: 0,72  $\text{kg}/\text{Nm}^3$

Še ena vrednost, ki je uporabna za ilustracijo energetske vrednosti bioplina je energetski ekvivalent 1  $\text{m}^3$  bioplina in približno 0,6 l ekstra lahkega kurilnega olja.

Glede na neto porabo energije za ogrevanje in pripravo tople vode na osebo (7,373 kWh/a), bi proizvodnja energije 4.000  $\text{MWh}_{\text{th}}$  iz 500  $\text{kW}_{\text{th}}$  bioplinarne zadoščala za letne potrebe po toplotni energiji 543 oseb. To je seveda le groba ocena, ki temelji na povprečnih številkah. Potrebni so tudi drugi dejavniki, kot so sezonske potrebe po toploti zaradi različnih klimatskih pogojev v zimskem in poletnem času. Ta sezonskost potreb po toplotni energiji je velik izziv za koncepte rabe odpadne toplote za ogrevanje stanovanj.

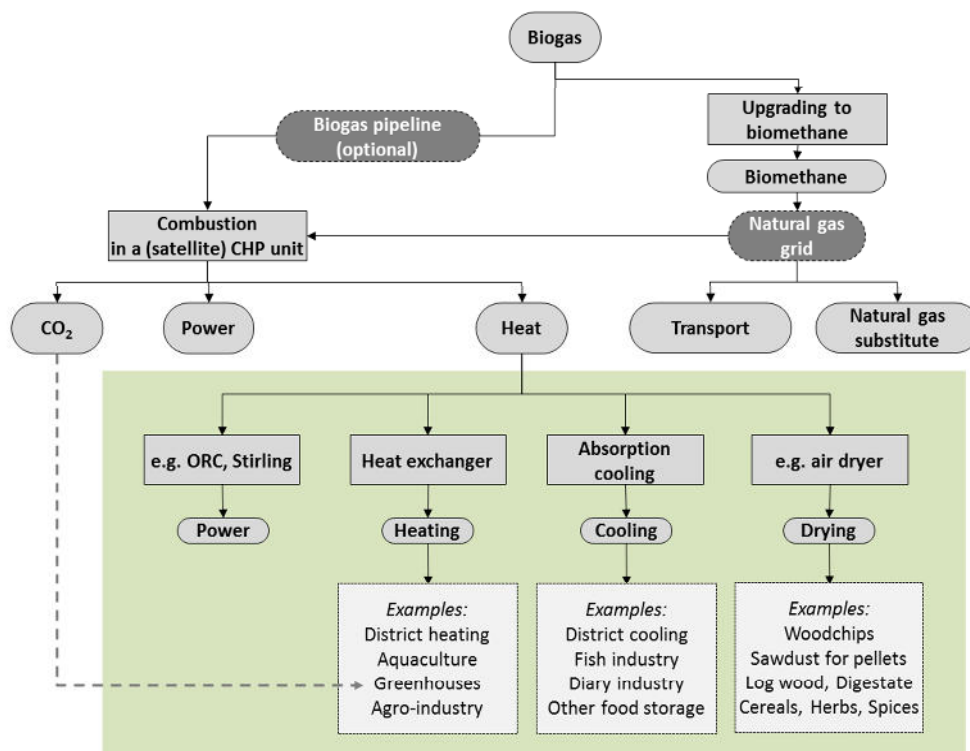


Slika 23: Reaktor bioplinarne (levo) in SPTE enota (desno) (Vir: Rutz D.)

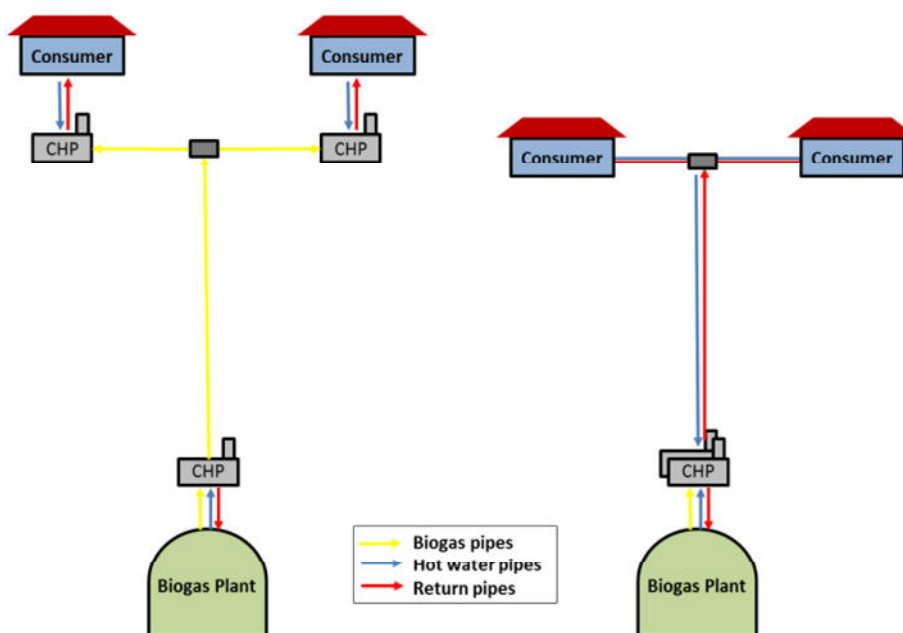
Integracija toplote iz bioplinских naprav v manjših ogrevalnih omrežjih je vse bolj pomembna. Izvajajo se različni koncepti. Bioplinске naprave so bile v preteklosti pogosto načrtovane v oddaljenih območjih. Ključni izziv je pogosto razdalja do morebitnih porabnikov toplote. Kot alternativa neposrednemu dovodu toplote skozi toplovod se lahko namestijo plinovodi za bioplin ter se SPTE enota namesti blizu porabnikov toplote (slika 25).

Nadaljnja alternativa za uporabo bioplina je njegova nadgradnja v **biometan**, ki ima kakovost enako zemeljskemu plinu, ter uporaba biometana v omrežju zemeljskega plina. Obstaja več tehnologij za te nadgradnje: amino čistilniki, vodno čiščenje čiščenja, adsorbpcija z nihanjem pritiska, membranska in kriogenska separacija. Zaradi relativno visokih stroškov, so obrati za nadgradnjo plina v uporabi le za večje bioplinске naprave z  $> 1$  zmogljivosti  $MW_{el}$ . Ko biometan vključimo v omrežje zemeljskega plina se lahko uporablja na katerem koli mestu s priključkom na omrežje plina. Ker je pri tem plin fizično zmešan z zemeljskim plinom, omogoča certifikatni sistem potrošniku, da uporabljajo samo biometan.

Za načrtovanje, uporabe toplote iz bioplinске naprave, je potrebno upoštevati, da morajo bioplinarne ogrevati reaktorje, da se zagotovi stabilen in učinkovit proces. Temperatura v reaktorju ponavadi znaša  $38\text{ °C}$  do  $44\text{ °C}$  za tipične mezofilne bioplinarne, odvisno od surovine in celotnega procesa. Reaktor lahko ogrevajo z različnimi tehnologijami, npr. s segrevanjem cevi vzdolž sten reaktorja ali s črpanjem pregnitega blata skozi toplotni izmenjevalnik.

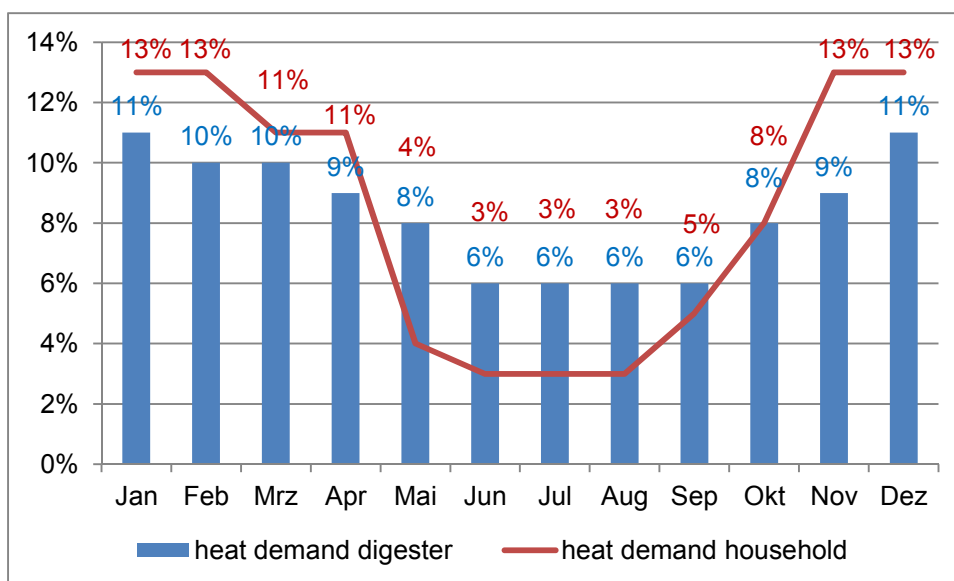


Slika 24: Poenostavljena shema uporabe bioplina (Vir: Rutz et al. 2015)

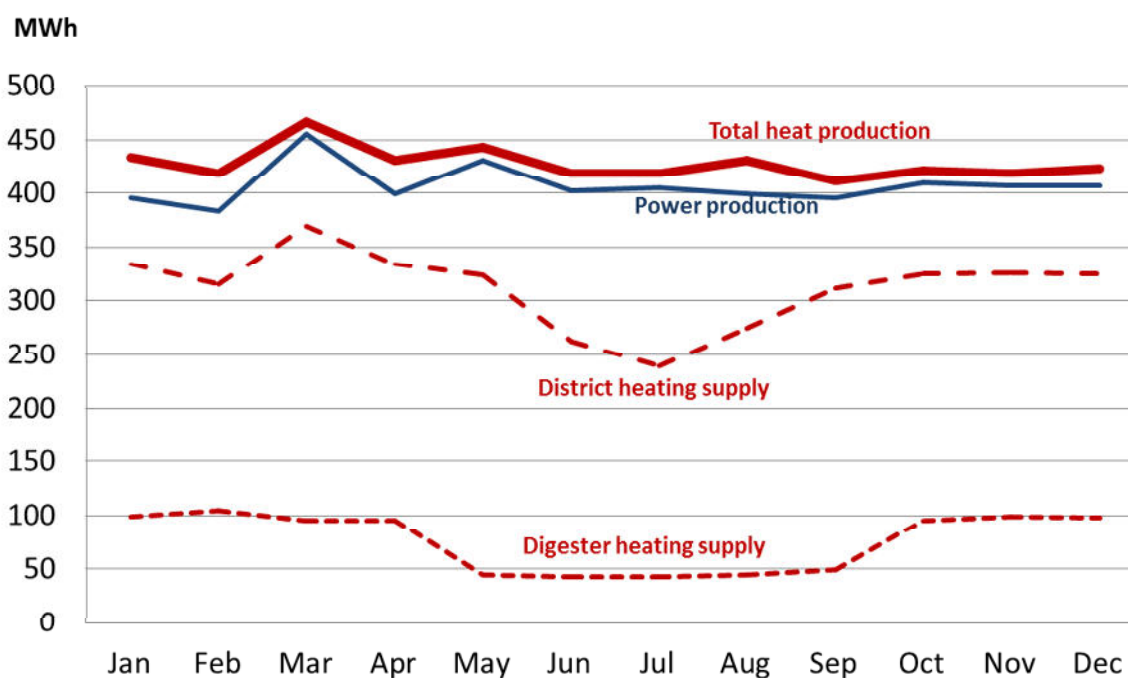


Slika 25: Bioplinski cevovod do oddaljene SPTE enote (levo) in sistem mikro DO (desno) (Vir: Rutz et al. 2015)

Za koncepte, ki vključujejo ogrevanje je pomembna lastna poraba toplote reaktorja, saj to vpliva na količino toplote, ki je na voljo za nadaljnje namene. Toplotna potreba reaktorja je odvisna od temperature okolja in s tem od vremenskih razmer. Poleg tega je v obratih, ki predelujejo odpadke lahko dodatno potrebna toplota za higienizacijo substrata. Primeri toplotne potrebe reaktorjev so prikazane na Sliki 26 in Sliki 27.



Slika 26: Porazdelitev mesečnih potreb po toploti reaktorja in toplotnih potreb gospodinjstev iz BiogasHeat študije primera iz Nemčije (Vir: Rutz et al. 2015)



Slika 27: Primer krivulj potreb po toplotni energiji v enem letu za 600 kW<sub>th</sub> bioplinarno v centralni Evropi (Vir: Rutz et al. 2015)

### 3.2.6 Sistemi rabe rastlinskega olja

Rastlinska olja so pridobljena iz stiskanja semen rastlin oljnic. Pomembne oljnice v Evropi so oljna ogrščica in sončnica. Pregled oljnic je podana iz Rutz & Janssen (2008) In the Biofuels Technology Handbook. Rastlinska olja se lahko neposredno uporabi kot gorivo za prevoz ali se olja s transesterifikacijo pretvori v biodizel in nato uporabiti kot zamenjavo fosilnih olje. Če se uporabljajo v prometnem sektorju, se ta goriva imenujemo "biogoriva".

Rastlinska olja se lahko uporabljajo tudi za stacionarne kotle na kurilno olje ali stacionarne enote SPTE. V tem primeru, se imenujejo "tekoče biogorivo" (ES, Direktiva RED). Pred nekaj

leti so v Nečmini bile na voljo zelo dobre spodbude, za obratovanje stacionarnih SPTE enot na rastlinsko olje, z visokimi odkupnimi cenami električne energije iz takih postrojev. Zaradi vprašljive trajnosti, so bile te spodbude odpovedane, tako da danes uporaba rastlinskega olja v stacionarnih kotlih in SPTE enotah, ni široko uporabljena v Nemčiji niti v drugih državah.

Vendar pa je uporaba teh tehnologij uporabna v nekaterih nišnih segmentih. V nekaterih manjših obnovljivih sistemih daljinskega ogrevanja, so potrebni kotli za vršne obremenitve, da bi zagotovili toploto pri največjih potrebah po toploti (glej poglavje 3.7). Kot vršni kotel, so včasih uporabljani kotli na fosilna olja, ki se jih lahko zlahka nadomestil z kotli na rastlinsko olje.



Slika 28 Enota SPTE na repično olje (Vir: Rutz D.)

### 3.3 Geotermalna energija

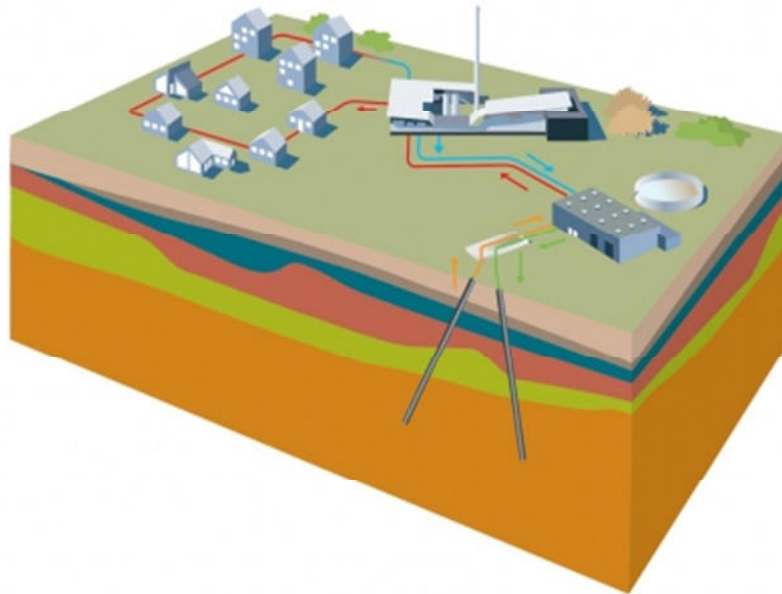
Geotermalna energija je proizvedena in shranjena toplota v našem planet – v Zemlji. Izvira iz nastanka planeta in iz radioaktivnega razpada materialov. Obstaja razlika in temperatura med jedrom planeta in njegovo površino, ki se imenuje geotermalni gradient. Jedro Zemlje ima izredno visoke temperature staljene magme. Temperature na različnih globinah v skorji so različne. Na nekaterih področjih so visoke temperature zelo globoko, na drugim območjih pa so visoke temperature lahko zelo plitvo.

Geotermalna energija se lahko uporablja kot vir energije na več načinov, od velikih in kompleksnih elektrarn do majhnih in razmeroma preprostih črpalnih sistemov. Uporaba geotermalne energije je odvisna od geotermalnega temperaturnega gradient, ki odraža temperaturo na določeni globini. Proizvodnja električne energije iz geotermalne energije je mogoče le pri visokih temperaturah, ki se nahajajo relativno blizu zemeljske površine. Če je temperatura nižja, npr 100 ° C, je težko uporabiti za proizvodnjo električne energije, vendar pa je le-to mogoče uporabiti kot vir za ogrevanje.

Glede na temperaturni gradient, obstajajo različni koncepti za pridobivanje geotermalne toplote. Ponavadi se geotermalno vodo črpa z eno vrtino (proizvodna vrtina) in toplota se uporabi z toplotnim izmenjevalcem ali toplotnimi črpalami. Nato se voda črpa nazaj v zemljo skozi drugo vrtino (injekcijska vrtina). Slika 29 prikazuje ta koncept.



Geotermalne vrtime so precej podobne naftnim in plinskim vrtinam. Enaka tehnologija in oprema se uporablja, vendar imajo običajno geotermalne vrtime večji premer, saj so količine vode, ki jo je treba črpati razmeroma velike. (Dansk Fjernvarme, 2016)



**Slika 29: Koncept geotermije (Vir: Danish Geothermal District Heating, 2016)**

Glavna prednost geotermalnega ogrevanja in hlajenja je zagotavljanje lokalnega in prožnega obnovljivega vira energije, pri minimalnih obremenitvah, za diverzifikacijo energetskih virov in varstva pred nepredvidljivimi in naraščajočimi cenami fosilnih goriv.

25% prebivalstva EU živi na področjih, neposredno primernih za geotermalno daljinsko ogrevanje (GeoDH, n.d.). Trenutno obstaja okoli 250 geotermalnih DH sistemov (vključno s sistemi za soproizvodnjo) v operaciji v Evropi, s skupno instalirano močjo približno 4.400 MW z ocenjeno letno proizvodnjo v višini 13.000 GWh / a (2013). V zadnjih nekaj letih je prišlo do povečanja razvoja geotermalnih sistemov daljinskega ogrevanja, zlasti v Franciji, Nemčiji in na Madžarskem. Obstaja 200 načrtovanih projektov (vključno z nadgradnjo obstoječih naprav), ki nakazujejo, da se bo zmogljivost povečala s 4.500 MW nameščenih v letu 2014 vsaj 6.500 MW v letu 2018. Tako se geotermalna toplota izkorišča v mnogih delih Evrope, in predstavlja velik potencial za nadaljnjo uporabo tega obnovljivega vira energije. Geotermalna toplota je na voljo v mnogih delih Evrope (Slika 30) in DH je metoda, s katero se geotermalna toplota lahko ekonomsko razdeli na stavbe v velikem obsegu.

Slika 30 prikazuje obstoječe in potencialne projekte daljinskega ogrevanja v jugovzhodni Evropi in v Evropi. Karte so interaktivne spletni-zemljevidi in imajo različne plasti, ki jih je mogoče vklopiti in izklopiti, ki prikazuje različne značilnosti toplote, gostota toplotnega toka, rezervoarjev in temperature.



**Slika 30:** Karte, ki prikazujejo obstoječe sisteme daljinskega ogrevanja (rdeče pike) z geotermalno energijo (levo) in potencial za geotermalno energijo (desno); Legenda: temperature  $> 50^{\circ}\text{C}$  pri 1.000 m globine (modra) in porazdelitev temperature  $> 90^{\circ}\text{C}$  pri 2.000 m globine (rdeča); vijolično barvo = prekrivanje obeh plasti. (Viri: [http://map.mfgi.hu/geo\\_DH/](http://map.mfgi.hu/geo_DH/))

Ključna značilnost za geotermalne energije so relativno visoki investicijski stroški, zlasti na območjih, kjer je geotermalna voda globoko pod zemljo. Tako je geotermalna energija je najbolj uporabna na območjih z relativno visokimi temperaturami v sorazmerno majhnih globinah, kjer omogoča pasovno zagotavljanje toplote tudi za relativno velike sistema daljinskega ogrevanja. Druga ključna značilnost, zlasti v zvezi z globokimi vodonosniki, je tveganje, povezano z vrtnjem vrtin 2-3 km globine.

Odvisno od temperature, je morda smiselno kombinirati geotermalno energijo s toplotnimi črpalkami z namenom povečanja temperature. To so lahko bodisi električne toplotne črpalke ali absorpcijske toplotne črpalke, ki jih lahko poganjamo z drugimi obnovljivimi viri energije, kot so jo kotli na biomaso. Tako izkoriščanje geotermalne energije včasih pomeni znatne dodatne vložke, kot so biomasni sistemi ali raba električne energije. To vpliva tudi na stroške obratovanja, ki so razmeroma nizka za geotermijo samo (črpalni stroški), toda vključujejo tudi stroške za električno energijo in / ali biomaso v primeru uporabe toplotne črpalke.

Stroški črpanja se povečujejo z globino. Iz izkušenj iz Danske, je vidno, da je bolj ekonomično uporabiti toplotne črpalke in uporabljati toploto iz plitvejših rezervoarjev, običajno na 1.000-3.000 m globine, kjer so temperature  $30-90^{\circ}\text{C}$ . Ta geotermalni gradient  $30^{\circ}\text{C}$  za vsako 1.000 m globine, je splošno pravilo za Evropo. (Frederiksen & Werner, 2013)

Pri načrtovanju geotermalne elektrarne, je potrebno torej maksimizirati letno proizvodnjo energije, saj je potrebno odplačevati stroške vrtin in objektov. Na podlagi podatkov iz Agencije Danske za energijo, je vidno, da je potrebna letna prodaja vsaj 400-500 TJ geotermalne energije, da je cena ogrevanja z geotermijo lahko konkurenčna trenutnim cenam (izkušnje iz Danske). To se lahko razlikujejo od države do države, odvisno od geotermalnih potencialov.

Potencial globoke geotermije je pomemben. Vendar je raba geotermalne energije v DH trenutno slabo razvita. Štiri ključna področja so bila opredeljena kot pomembna za izboljšanje tega položaja (GeoDH, n.d.):

- Dosledne energetske strategije, katerih cilj je dekarbonizacija sektorja ogrevanja
- Odstranitev regulativnih in tržnih ovir, ter poenostavljenih postopkov za operaterje in oblikovalce politik
- Razvoj inovativnih finančnih modelov za projekte geotermije, ki so kapitalsko intenzivni
- Usposabljanje tehnikov, javnih uslužbencev in odločevalci iz regionalnih in lokalnih oblasti, da bi zagotovili tehnično ozadje, potrebne za odobritev in podporo projektom.

Obstaja več podporni projektov v zvezi z uporabo geotermalne energije za daljinsko ogrevanje in hlajenje, na primer:

- V obdobju 2012-2014 je EU financirala projekt GeoDH<sup>6</sup>. Ta projekt se je osredotočal na netehnične ovire za razvoj geotermalne energije v sistemih daljinskega ogrevanja v 14 državah v Evropi. V projektu je bilo pripravljenih več smernic in video, ki pojasnjuje, osnovni koncept geotermalne energije.
- Splošen oris geotermalne tehnologije in tehnološki načrt za geotermalno toploto in električno energijo iz leta 2011<sup>7</sup>

### 3.4 Odpadna toplota

Odvečno toploto (imenovano tudi odpadna toplota ali presežek toplote) iz industrije ali iz drugih obnovljivih virov energije (npr. bioplin) je zanimiv vir toplote, saj je lahko cena zelo tega vira zelo nizka. Pred uporabo te možnosti, je potrebna analiza pretoka energije v industriji, vključno z določitvijo ravni temperature, kot tudi potencial energetske učinkovitosti.

Izvedljivost uporabe odvečne toplote je vedno odvisna od lokacije industrije, količine razpoložljive toplote in temperaturnega nivoja toplote. Izkoriščanje odvečne toplote je odvidno od količine toplote, ki je industrija sama ne more koristno uporabiti. Izkoriščanje odvečne toplote ne sme vplivati na proces v industriji. Treba je upoštevati, da če je proizvodnja v industriji prekinjen, se prekine tudi oskrba z odvečno toploto. Zato je treba dinamiko obratovanja in specifične industrije treba vzeti v račun.

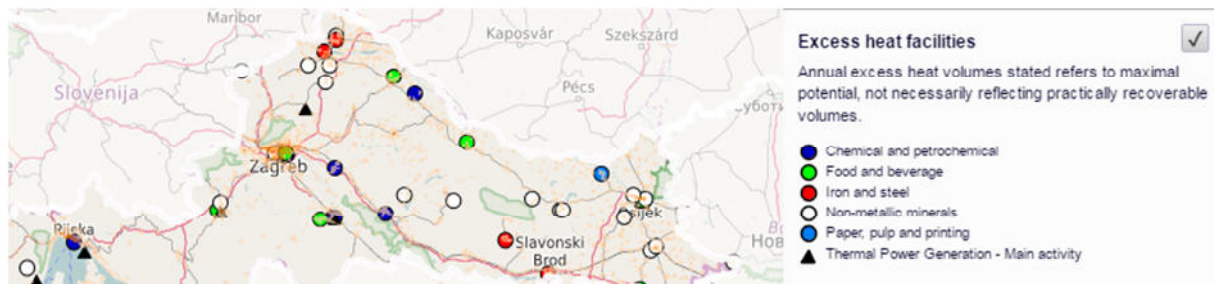
Druga ključna točka je tveganje, sodelovanja z industrijo, ki lahko določen dan ustavi svojo proizvodnjo. Zato je potrebno v sporazumu jasno opredeliti, kako se razdeli tveganje, povezano z naložbo med strankama. Značilno je, da industrija želi amortizacijo naložbe v kratkem času (na primer tri do pet let), kar je razmeroma kratko obdobje za daljinsko ogrevanje.

To je zlasti pomembno v primeru, da je odpadna toplota predstavlja visok delež oskrbe v daljinskem ogrevanju. Primer iz Danske (Skjern Papirfabrik dobavlja toploto sistemu DH Skjern) kaže delež več kot 50% odpadne toplote v sistemu daljinskega ogrevanja. V drugih sistemih daljinskega ogrevanja je značilen precej manjši delež.

Roadmap Europe 2050 predstavlja zemljevide, ki ob energetskih potrebah prikazujejo tudi možnosti za rabe različnih virov energije, vključno z odvečno toploto iz industrije. To je lahko prvi korak, ki temelji za identifikacijo možnih virov toplote.

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

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



Slika 31: Primeri potenciala odvečne toplote na Hrvaškem<sup>8</sup>

Mogoč pristop je tudi, da se obrnete na bližnje večje porabnike energije v industriji in se vzpostavi dialog o možnostih za uporabo odvečne toplote. Običajno industrijo zanima pridobivanje dodatnega dohodka iz odpadne toplote, vendar pogosto ne želijo vložiti preveč truda v to, saj to ni njihova osnovna dejavnost. To pomeni, da mora nastati pobuda na strani daljinskega ogrevanja.

Pri uporabi odvečne toplote se pogosto uporablja tudi toplotna črpalka, da se poveča temperatura na željeno temperaturo v sistemu daljinskega ogrevanja.

Poleg uporabe industrijske odpadne toplote se lahko uporablja tudi toplota iz drugih obnovljivih virov energije, kot recimo iz obstoječih bioplinarn. Zakaj bioplinarne pogosto še vedno ne uporabljajo učinkovite toplote, so opisani v okvirju 5. Prednost uporabe toplote obstoječih bioplinarn je njegova stalna razpoložljivost skozi vse leto in relativno nizki stroški, seveda odvisno od lokalnih specifik. Mnoge bioplinarne so na podeželju "na zelenih poljih" in ne v bližini potencialnih toplotnih potrošnikov. Pri novih bioplinarnih napravah, uje potrebno porabo toplote, in s tem tudi lokacijo bioplinarne, skrbno načrtovati že v času razvoja obrata. Več podrobnosti o bioplinarnah se nahaja v poglavju 3.2.5.

#### Okvir 5: Zakaj nekatere bioplinarne proizvajajo odpadno toploto?

V Evropi, pa tudi v svetu, proizvodnja in uporaba bioplina narašča, zaradi vedno večjega povpraševanja po obnovljivih virov energije, kot alternative fosilnim energentom. Večina kmetijskih in industrijskih rastlin za proizvodnjo bioplina v Evropi se uporablja za proizvodnjo toplotne in električne energije v enotah SPTE. Vendar pa se v mnogih primerih toplota iz SPTE ne uporabi koristno. To je posledica številnih shem podpor za proizvodnjo električne energije iz OVE, ki zanemarjajo učinkovito rabo toplote. Neučinkovitost rabe energije predstavlja ozko grlo v sedanji proizvodnji bioplina, ki povzroča makroekonomske in mikroekonomske izgube in predstavlja problem v zvezi s povečanjem konkurence rabe kmetijskih zemljišč. Več informacij o uporabi odpadne toplote iz bioplinarnih naprav je na voljo v priručniku "Sustainable Heat Use of Biogas Plants - A Handbook" (Rutz et al 2015.).

### 3.5 Električni kotli: Power-to-Heat

Pretvorba iz električne energije v toploto energije poteka pri skoraj 100% učinkovitosti. Vendar pa je proizvodnja električne energije običajno povezana z izgubami energije. Zato je splošna učinkovitost celotne verige v veliki meri odvisna od vira napajanja. Poleg tega je eksergija (= prožnost pri uporabi energije) električne energije višja od toplotne energije, zaradi česar običajno uporaba električne energije za ogrevanje ni priporočljiva.

Uporaba električnih grelcev v sistemih daljinskega ogrevanja je predvsem posledica povpraševanja po sistemskih storitvah na trgu z električno energijo, ne pa posledica

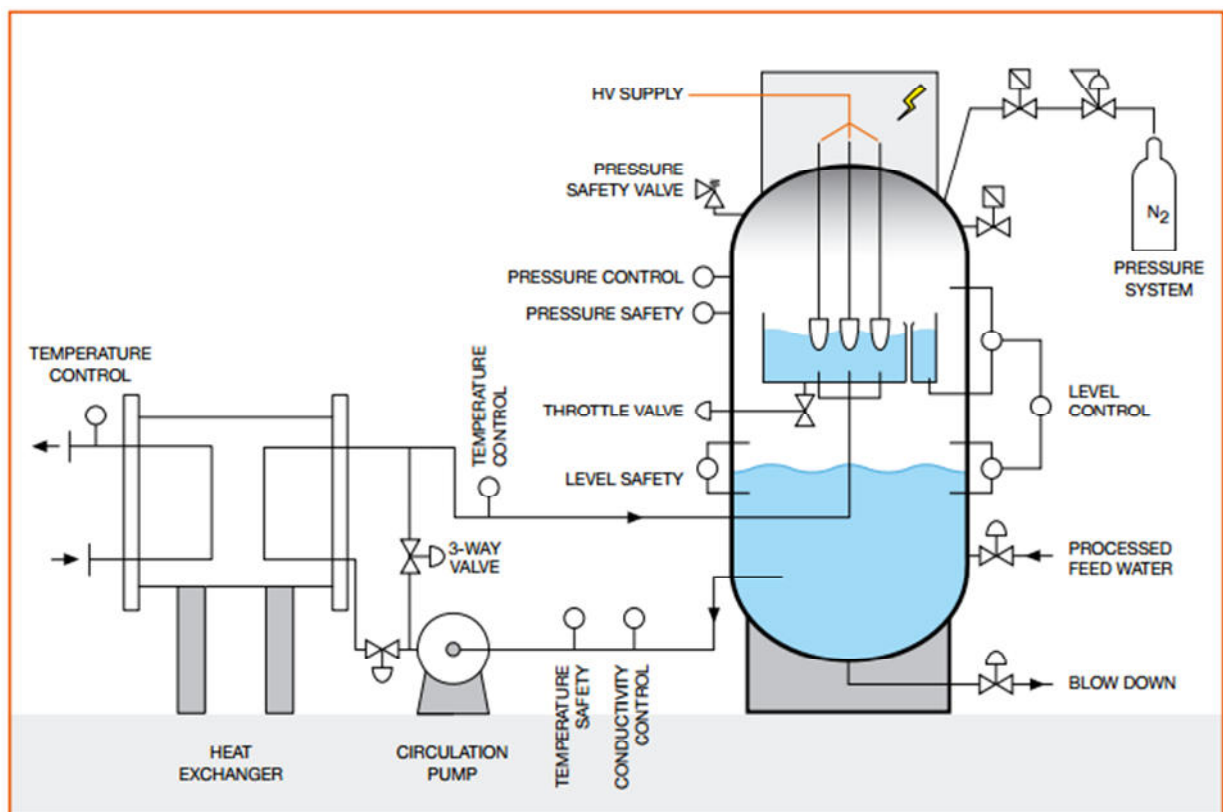
<sup>8</sup> <http://maps.heatroadmap.eu/maps/30662?preview=true#>



povpraševanja po toploti. Zato je uporaba električnih grelcev običajno dopolnilna tehnologija, ki ustvarjajo prihodke na trgu z električno energijo, s čimer se zmanjša končna cena toplote. Električni grelniki vode so lahko del energetskega sistema ter optimizirajo izkoriščanje vetrne energije v času maksimalne proizvodnje električne energije iz tega vira. To lahko omogoča učinkovito uporabo različnih virov toplote energije.

Električni kotli so naprave v območju velikosti MW, ki uporabljajo električno energijo za pripravo tople vode za industrijske namene ali za daljinsko ogrevanje. Običajno so nameščeni kot vršni kotli na enak način, kot oljni ali plinski vršni kotli. Na splošno sta na voljo dve vrsti električnih kotlov:

- Grelni elementi z **električnim uporom**: ta temelji na istem principu kot bojler v običajnem gospodinjstvu. Uporablja se za manjše aplikacije, do 1-2 MW. Ti električni kotli so priključeni na nizki napetosti.
- Grelni elementi z **elektrodami** (slika 32): Uporabljajo se za večje aplikacije (večje kot nekaj MW) in so neposredno povezani s srednje- do visokonapetostnima omrežjem.



Slika 32: Shema delovanja kotla z elektrodami. Toploto proizvaja v zgornji komori skozi omksi upor med elektrodami. Kotel je pod pritiskom s pomočjo inertnega plina, npr. dušik (Vir: PARAT Halvorsen AS<sup>9</sup>)

<sup>9</sup> <http://parat.no/en/products/industry/parat-ieh-high-voltage-electrode-boiler/>



Slika 33: Električni kotel 10 MW in 14.4 m<sup>3</sup> kapacitete sončnega daljinskega ogrevanja v Gram, Danska (Vir: Rutz D.)

Zaradi svoje zelo enostavne zasnove je električni kotel zelo zanesljiva in enostavna tehnologija za vzdrževanje. Kotel nima vgrajenih nobenih zapletenih komponent, ki bi lahko ovirale delovanje in vzdrževanje. Kotel se lahko hitro vklopi in ga je enostavno upravljati. To ne zahteva nobenega sistema za hranjenje goriva in je brez dimnika.

Uporaba električnih kotlov se pogosto izvaja v sistemih DH na Danskem. Tam je nameščeno 45 aplikacij s skupno zmogljivostjo 490 MW. Največje aplikacije so 80 in 93 MW (2015 in 2002). Interaktivni zemljevid, ki prikazuje različne projekte na Danskem, je dostopen v [www.smartvarme.dk](http://www.smartvarme.dk) (v danščini).

### 3.6 Toplotne črpalke

Toplotne črpalke se običajno ne uporabljajo kot primarni vir za ogrevanje v omrežjih DH, ampak za optimizacijo in izboljšanje sistemov, ki temeljijo na drugih obnovljivih virih energije, kot so npr. sončna toplota. Ti sistemi so sposobni uporabljati vire energije pri nizkih temperaturah, povišati potrebne temperaturne nivoje za neposredno uporabo za daljinsko ogrevanje.

Toplotne črpalke se lahko uporabljajo v majhnih modularnih sistemih ogrevanja in hlajenja iz obnovljivih virov, kot **centralne naprave** za proizvodnjo toplote. V tem primeru se uporabi samo eno ali nekaj toplotnih črpalk. Prav tako se lahko toplotne črpalke uporabljajo **decentralizirano** na toplotnih postajah na lokaciji porabnika toplote. V tem primeru ima vsaka povezovalna točka vgrajeno majhno toplotno črpalko poleg toplotnega izmenjevalnika in toplotne postaje. To se lahko uporabi tudi, če je temperatura dovoda nizka zaradi večje učinkovitosti, pri porabniku pa je potrebna tudi topla sanitarna voda. Centralni in decentralizirani primeri toplotnih črpalk v majhnih modularnih DHC sistemih na OVE, so predstavljeni v poročilu primerov dobrih praks Laurberg Jensen et al. (2016).

Toplotne črpalke uporabljajo isto tehnologijo kot hladilniki (glej poglavje 7.2), na osnovi transfera toplote iz stanja z nizko temperaturo v stanje višje temperature s tekočino – t.i. hladilno sredstvo. Toplotne črpalke izkoriščajo toploto iz okolja (vhodno toplotno, vir toplote) in konvertirajo le to na višji temperaturni nivo (proizvodna toplota) v zaprtem procesu. Proces zahteva dodatno toplotno ali električno energijo. Splošna shema procesa toplotne črpalke je prikazana na Sliki 35.

Splošna prednost toplotne črpalke je, da je toplotna črpalka sposobna reciklirati odpadno toploto ali uporabiti energijo iz okolice, kar omogoča izrabo virov toplote, ki bi v običajnih procesih ostala neizkoriščena. Vir toplote, ki se pri tem uporablja mora biti voljo v dovoljšnji

meri in kvaliteti. Spremembe v pretoku in temperaturi toplotnega vira bodo vplivale na delovanje toplotne črpalke. Nihanja lahko povečajo kompleksnost sistema s toplotno črpalko.

Viri toplote so lahko okoliški zrak, površinske vode ali podtalnica, tla (prst) ali odvečna toplota iz industrije. Tipične povprečne letne temperature zraka v severni Evropi znašajo približno 8 °C, medtem ko so v južni Evropi lahko nad 10 °C. Te temperature so podobne temperaturnim nivojem tal in podtalnice. Odpadne toplote iz industrijskih procesov ima lahko veliko višje temperature - včasih omogočajo celo neposredno rekuperacijo toplote. V nekaterih primerih se vhodna toplota lahko podana iz sekundarne vode ali glikola, toda za optimalno delovanje toplotne črpalke, se mora vir toplote priključiti neposredno na uparjalnik toplotne črpalke.

Toplotne črpalke so razvrščene glede na njihovo zasnovo ali operativno načelo, kot sledi:

- Toplotne črpalke, ki jih **poganja kompresor**: Pogon z elektriko ali plin
- **Sorpcijske toplotne črpalke**: Jih poganja plin ali toplota ("toplotno poganjanje" toplotnih črpalk): Absorpcije toplotne črpalke in Adsorpcijske toplotne črpalke

Za obe vrsti tehnologije toplotnih črpalk je potreben vir toplote (v stanovanjskem sektorju so to običajno toplotni viri pri nizkih temperaturah, kot so zunanji zrak ali tla) in procesne energije. Procesna energija za kompresorske toplotne črpalke je elektrika (ali motorji z notranjim izgorevanjem), medtem ko absorpcijske toplotne črpalke poganja toplota; npr. para, vroča voda ali izpušni plini, porabljajo pa tudi malo električne energije.

Toplotne črpalke se razlikujejo tudi po načinu uporabe toplote iz prostega vira in načinih distribucije toplote v objektu.

- **Zrak-zrak toplotne črpalke** uporabljajo toploto iz zunanjega zraka in oskrbujejo objekt s pomočjo zračnih toplotnih izmenjevalcev.
- **Zrak-voda toplotne črpalke** uporabijo toploto iz zunanjega zraka in oskrbujejo objekt na osnovi s hidravličnega sistema porazdelitve toplote (radiator, konvektorji, talno ogrevanje).
- **Zemlja-voda toplotne črpalke** običajno uporabljajo toploto iz tal s pomočjo vodnih cevi in distribuirajo toplote v hiši preko hidravličnega sistema (radiator, talno ogrevanje, itd).

Energetska učinkovitost toplotnih črpalk je običajno navedena v obliki COP faktorja oz. "**koeficienta učinkovitosti**", ki opisuje dobavljeno toploto, deljeno z uporabljenimi energije (goriva v termalnih toplotnih črpalkah ali električna energija). COP 3 pomeni, da toplotna črpalka omogoča trikrat več toplote kot porabi pogonske energije, kar je v primeru kompresorskih toplotnih črpalk električna energija. Dve tretjini dobavljene toplote se zbere skozi vhodno toploto.

Glede na velikost toplotne črpalke, vira toplote, toplote, temperaturnih ravni in praktičnih pogojev, se lahko uporabljajo različne vrste tehnologij toplotnih črpalk. Pomembna tehnična lastnost toplotne črpalke je hladivo - tekočina v sistemu. Fizikalne lastnosti hladilnega sredstva se predvsem navezujejo na njeno vrelišče, saj so fazni prehodi iz tekočine do plina in nazaj njene ključne lastnosti. Obstajajo različni hladilna sredstva, med drugim z fluoroogljikovodiki (HFC) in klorodifluorometan (HCFC). Nadaljnja hladilna sredstva so opisani spodaj.





Slika 34: 440 kW toplotna črpalka v majhnem solarnem omrežju daljinskega ogrevanja v Dollnstein, Nemčija (Vir: Rutz D.)

**CO<sub>2</sub>** toplotne črpalke delujejo v t.i. trans-kritičnem območju tlaka, kar pomeni, da temperature hladilnega medija drsi na topli strani, medtem ko se evaporacija na hladni strani dogaja pri konstantni temperaturi. To pomeni, da je CO<sub>2</sub> posebej primeren v aplikacijah, kjer se toplota dobavlja v sistem pri nizki temperaturi. Najvišja izstopna temperatura sistemov CO<sub>2</sub> je približno 90 °C. Da bi zagotovili dober COP sistema CO<sub>2</sub>, vstopna temperatura medijev ne sme biti višja od približno 40 °C. Primer inštalirane toplotne črpalke z uporabo CO<sub>2</sub> kot hladiva se nahaja v Fjernvarme Marstal, Danska - 1,5 MW - najvišja temperatura 75 °C, kot je prikazano v Poročilu primerov dobrih praks (Laurberg Jensen et al. 2016).

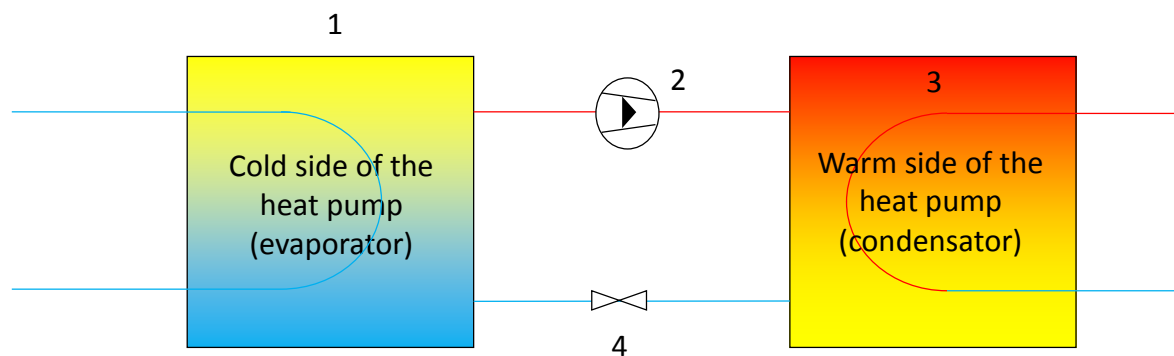
**Amoniak** se pogosto uporablja kot hladilno sredstvo za industrijsko hlajenje, to so velike naprave z visoko učinkovitostjo. Amonijak se običajno uporablja za največje obrate in doseže do okoli 95 °C, z uporabo posebnih component za visoko raven tlaka. Amonijak pa je primeren tudi za nižje ravni temperature, tudi takrat, ko so v uporabi standardni elementi. Kar pomeni manj stroškov naložb ter visoke vrednosti COP. Primeri nameščene naprave, ki uporabljajo amonjak kot hladilno sredstvo so v DH Drammen, Norveška (15 MW. - Max temperatura 90 °C), Skjern Paper Mill, Danska (4 MW - max temperatura 90 °C.) In Bjerringbro daljinsko ogrevanje, Danska (3,7 MW. - max temperatura 70 °C).

**Litijev bromid (LiBr) / Voda** se uporablja v absorpcijskih toplotnih črpalkah, medtem ko se amonijak / voda običajno uporabljajo v absorpcijskih hladilnih sistemih. Najnižja temperatura na strani vira znaša okoli 6 °C, medtem ko je temperatura odvoda lahko znaša do okoli 85 °C. Različne temperature imajo medsebojen vpliv, kar pomeni, da lahko nizke temperature vira omejijo temperature odvoda toplote. Za višje dviganje temperature, je mogoče pridobiti absorpcijske obrate, kjer sta oba sistema vgrajena v en obrat ter povezana zaporedno za dodatno povečanje temperature. Primeri vgrajenih LiBr/vodnih sistemov so Bjerringbro daljinsko ogrevanje, Danska (0,9 MW (hlajenje). - Max temperatura 70 °C) in Vestforbraending, Danska (13 MW (hlajenje). - Max temperatura 80 °C).

Učinkovitost toplotne črpalke se lahko poveča, če jih je mogoče upravljati v t.i. multi-fazah, kjer v korakih tako hladijo kot tudi ogrevajo s čemer se za zmanjšanje toplote izgube. Hladilniki olja, "superheaters" in "subcoolers" se uporabljajo za zmanjšanje razlike v tlaku in s tem, potrebnega mehanskega dela. Lahko se uporabijo tudi visoko učinkoviti motorji, ki jih je mogoče ohladiti z vodo ali s hladilnim sredstvom.

### 3.6.1 Električne toplotne črpalke

Osnovno načelo delovanja kompresorskih toplotnih črpalk je prikazano na sliki 35. Toplotne črpalke sestavljata nizko in visoko tlačni coni, ki odražata nivo tlaka hladilnega sredstva, ki kroži v toplotni črpalki. Vnos vira toplote se nahaja v območju nizkega tlaka, kjer kondenzirano hladilno sredstvo izpareva zaradi toplotnega učinka toplotnega vira (korak 1 in slika 35). Pri tem se toplota iz vira ohlaja. V kompresorskih toplotnih črpalkah se potem tlak hladilnega sredstva dvigne v kompresorju (korak 2), kar povzroči povečanje temperature. Voda v ogrevalnem sistemu (korak 3) se uporabi za regeneracijo hladilnega sredstva, s hlajenjem hladilnega sredstva ter s prenašanjem toplote na ogrevalno vodo (v sistemih ventilacijskih sistemih in drugih sistemih, ki uporabljajo zrak za prenos toplote se toplota namesto na vodo prenese na zrak). Pritisk se pri tem regulira skozi ekspanzijski ventil (korak 4). S tem se ustvarja pretok hladilnega sredstva in posledično kontinuiran process.



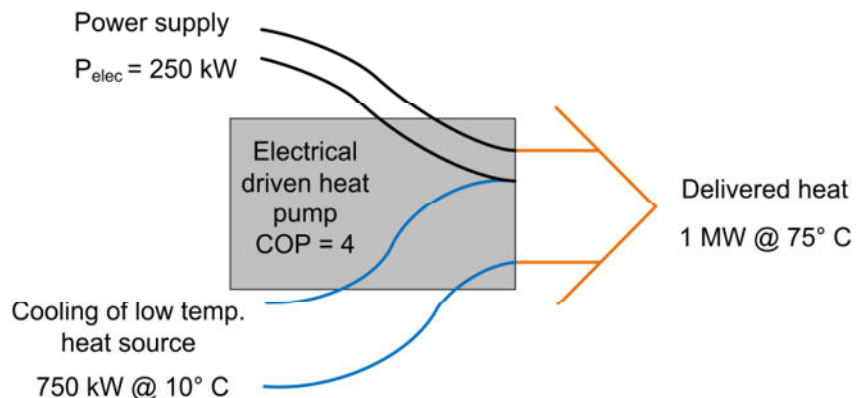
1: evaporator, 2: compressor, 3: condensator, 4: valve

**Slika 35:** Slika kompresorske toplotne črpalke. (Vir: Danish Energy Agency & Energinet.dk, 2015)

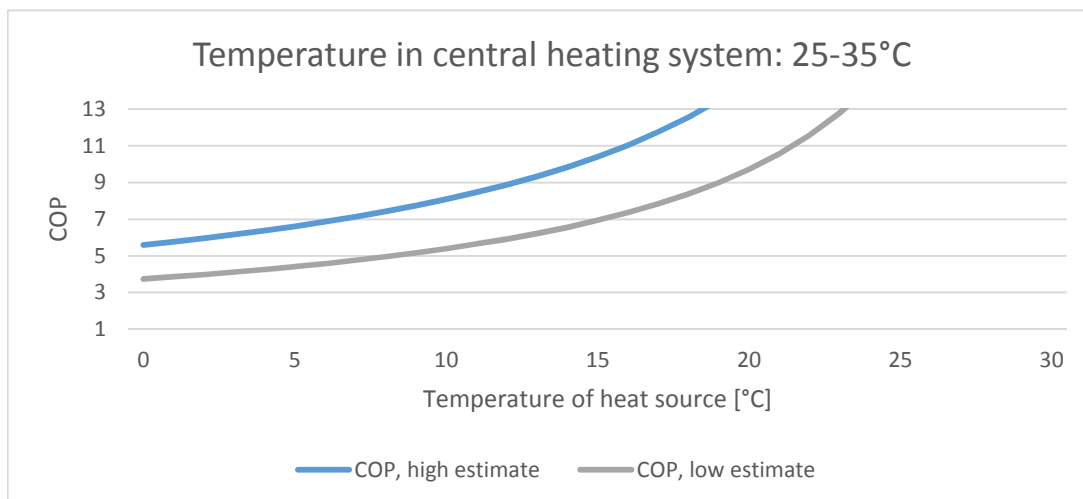
Za kompresorske toplotne črpalke znaša uporabna toplotna moč 3 do 5-kratnik (COP) potrebne električne energije. Ta faktor je odvisna od učinkovitosti posamezne toplotne črpalke, temperature vira toplote in odvoda toplote in temperaturne razlike med virom toplote in odvodom toplote. Pretok energije je ponazorjeno v Sankey diagram na Sliki 36.

COP električnih toplotnih črpalk je funkcija temperature toplotnega vira (v tem primeru temperature okolice) in temperature odvajanja toplote (v tem primeru temperature dobavljena v sistem centralnega ogrevanja). Zato bi morala biti energetska učinkovitost električnih toplotnih črpalk ocenjena glede na lokalne pogoje, skozi Sezonski koeficient učinkovitosti

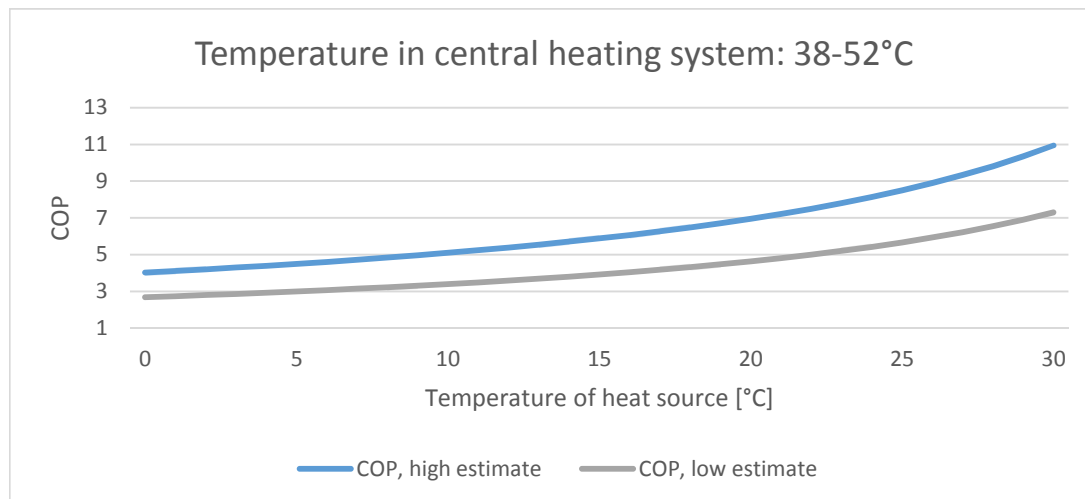
(SCOP), če primerjamo z drugimi alternativami. V naslednji sliki je COP električno gnane toplotne črpalke prikazana v odvisnosti od temperature vira toplote.



Slika 36: Sankey diagram 1 MW toplotne črpalke; Poraba električne energije 250 kW omogoča uporabo 750 kW toplote iz nizko temperaturnega vira pri  $10^\circ \text{C}$ , tako dobavlja 1 MW pri  $75^\circ \text{C}$  (COP je 4) (Vir: Danish Energy Agency & Energinet.dk, 2015)



Slika 37: COP toplotne črpalke kot funkcija temperature vira toplote. Temperaturni nivo centralnega ogrevalnega sistema: 25-35°C (povrat-dovod), nižanje temperature vira za  $5^\circ \text{C}$ . Lorentz-účinkovitost<sub>nizka</sub>: 40%, Lorentz-účinkovitost<sub>visoka</sub>: 60% (Vir: Danish Energy Agency & Energinet.dk, 2016)



**Slika 38:** COP toplotne črpalke kot funkcija temperature vira toplote. Temperaturni nivo centralnega ogrevalnega sistema: 38-52°C (povrat-dovod), nižanje temperature vira za 5°C. Lorentz-účinkovitost<sub>nizka</sub>: 40%, Lorentz-účinkovitost<sub>visoka</sub>: 60% (Vir: Danish Energy Agency & Energinet.dk, 2016)

Kot je prikazano na sliki 37 in sliki 38, temperature v sistemu centralnega ogrevanja (in razlika med povratno in dovodno temperaturo) imajo pomemben vpliv na COP toplotne črpalke. Razpon temperature vira toplote se izbere glede na ocenjene obratovalne zahteve. Upoštevajte, da sta temperatura dovoda in povratka v stavbah ponavadi predmet specifičnih regionalnih dejavnikov, kot so gradbena tradicije, predpisi in udobje oz. navade porabnikov, ki se po Evropi razlikujejo. Zgoraj prikazani temperaturni nivoji so izbrani z namenom prikaza razlike med tipičnimi temperaturnimi nivoji v stavbi s talnim ogrevanjem (25-35 ° C) in sodobnim radiatorskim ogrevalnim sistemom (38-52 ° C).

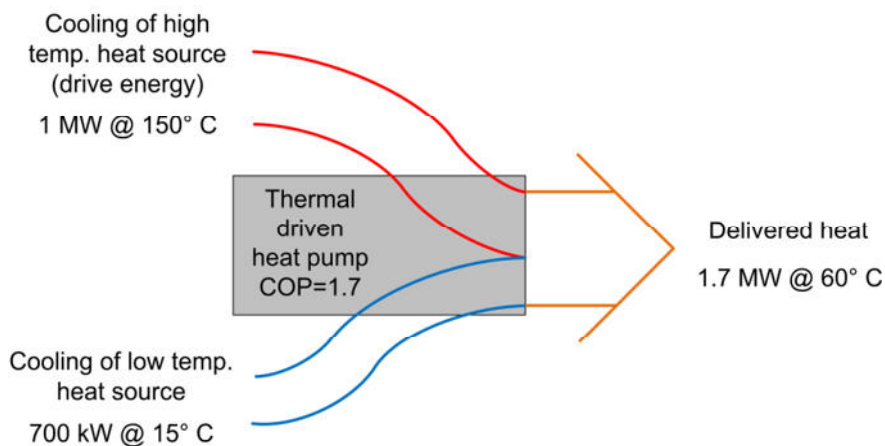
Enako velja tudi za uporabo velikih toplotnih črpalk v sistemih daljinskega ogrevanja. Čim nižja je temperatura dovoda, večji je COP in s tem nižja cena toplote. Temperatura toplotnega vira je pomembna za optimizacijo dobave in s tem povezanih stroškov toplotne energije.

Kompresorske toplotne črpalke, na električni pogon nimajo emisij izgorevanja goriva, kar pomeni, da so ti sistemi lahko nameščeni na lokacijah z omejitvami glede emisij izpušnih plinov. Vendar pa je resnična trajnost energije odvisna od vira proizvodnje električne energije (npr. fosilnih goriv, jedrske energije, obnovljivi viri itd), ki se precej razlikuje glede na državo in tudi niha s časom.

V energetskih sistemih, kjer igra pomembno vlogo električna energija, lahko kompresorske toplotne črpalke uporabljajo električno energijo v ogrevalnih sistemih na zelo učinkovit način. Za procese v katerih se pridobiva toplotna energija iz električne energije, lahko toplotne črpalke zmanjšajo porabo električne energije in zmanjšajo obremenitev električnega omrežja.

### 3.6.2 Sorpcijske toplotne črpalke

**Absorpcijske toplotne črpalke** ne poganja električna energija, ampak toplotni vir, ki deluje kot procesna toplota. Ta toplota obnavlja hladilno sredstvo, ki lahko izhlapi pri nizki temperaturi in s tem izkoristi nizke temperaturne nivoje. V teoriji 1 kJ toplote lahko regenerira približno 1 kJ hladilnega sredstva, kar pomeni, da znaša maksimalni teoretični COP absorpcijske toplotne okrog 2. Zaradi izgub v sistemu, znašajo COP v praksi okoli 1,4 do 1,7. Pretok energije absorpcijske toplotne črpalke je prikazan v Sankey diagramu na sliki 39.



**Slika 39:** Sankey diagram 1.7 MW absorpcijska toplotna črpalka. Vhodna toplotna energija 1 MW omogoča toplotni črpalki izrabo 700 kW energije iz nizkotemperaturnega toplotnega vira pri 15°C. Tako lahko dobavi 1.7 MW pri 60°C (COP znaša 1.7) (Vir: Danish Energy Agency & Energinet.dk, 2015)

Princip delovanja **adsorpcijskih toplotnih črpalk** je podoben delovanju absorpcijskih toplotnih črpalk. Glavna razlika je, da adsorpcija toplotna črpalka uporablja trdni sorpcijski material namesto tekočega, ki se uporablja pri absorpcijskih sistemih. Pogosto uporabljeni materialni pari v adsorpcijskih sistemih so:

- Zeolit - voda
- Silikagel - voda
- Aktivno oglje - metanol
- Aktivno oglje / sol - amonijak

### 3.6.3 Primerjava toplotnih črpalk

Ekonomske značilnosti toplotnih črpalk na plin in električnih toplotnih črpalk je treba vedno primerjati v celotnem gospodarskem obsegu, vključujoč investicijske in obratovalne stroške alternativ, vključno z vsemi stroški potrebnih sestavnih delov za dano alternativno napravo. To je predvsem pomembno zaradi morebitnih razlik v dimenzioniranju vira toplote, kot je prikazano v spodnji tabeli. Količina toplotnega vira za plinsko toplotno črpalko je lahko manjša od vira toplote za električno toplotno črpalko, saj pogonska toplotna energija v plinski toplotni črpalki predstavlja večji del celotne dovedene energije.

Tabela 3: Prednosti in slabosti različnih toplotnih črpalk (Vir: PlanEnergi)

Toplotna črpalka	Prednosti	Slabosti
<b>Električna, zrak-zrak</b>	<p>Lahko dobra možnost v stavbah brez vodnega centralnega ogrevanja</p> <p>Enostavna montaža</p> <p>Nizki investicijski stroški</p> <p>Lahko pokriva tako potrebe po ogrevanju kot hlajenju</p>	<p>Na splošno slaba konverzija iz optimalnega delovanja in delovanjem pri visokih toplotnih zahtevah</p> <p>Ena enota na sobo, če to ni mogoče so potrebne druge tehnologije</p> <p>V obdobjih vlažnih zmrzali, lahko led na zunanjih enotah zmanjšuje učinkovitost</p> <p>Cenejši izdelki lahko povzročajo onesnaževanje s hrupom</p>
<b>Električna, zrak-voda</b>	<p>Višje COP v kurilni sezoni, kot npr. črpalka zrak-zrak</p> <p>Preprostejša namestitvev</p>	<p>Cenejši izdelki lahko povzročajo onesnaževanje s hrupom</p> <p>Učinkovitost je odvisna od zunanje temperature in temperature dovoda v ogrevalni sistem. Tako je najmanj učinkovita v hladnih obdobjih, ko je povpraševanje največje.</p> <p>Večina modelov ima max. izhodna temp. 55-60 °C, kar zahteva dodaten grelec vode za višje temperature in najvišje zahteve.</p> <p>Visoka SCOP lahko zahteva prilagoditev sistema centralnega ogrevanja (to so dodatne investicije)</p>
<b>Električna, zemlja-voda</b>	<p>Višje COP v kurilni sezoni, kot npr zrak-zrak in zrak-voda</p> <p>Manj razlik v COP skozi leto</p> <p>Ista enota lahko pokriva ogrevanje prostorov in pripravo sanitarne tople vode</p> <p>Ni možnosti onesnaženja s hrupom iz zunanje enote</p>	<p>Najdražja tehnologije</p> <p>Dodatna naložba za kolektor toplote iz tal.</p> <p>Visoka SCOP lahko zahteva prilagoditev sistema centralno ogrevanje (to so dodatne investicije)</p> <p>Namestitvev takšnega sistema lahko zahteva dodatna dela in vlaganja (zemeljska dela)</p>
<b>Električna, podtalnica</b>	<p>Visoka temperaturna stabilnost vira energije, zato nizka razlika v COP zaradi nihanja toplotnega vira</p> <p>Druge prednosti enako kot za zemlja-voda</p>	<p>Visoki stroški naložbe</p> <p>Uporaba podzemne vode za energetske namene je lahko omejena</p> <p>Najbližji vodonosnik je morda pregloboko, da bi ga dosegli s preprosto vrtino</p> <p>Varnostni ukrepi za preprečevanje kontaminacije podzemne vode</p>
<b>Električna, zračna ventilacija</b>	<p>Možnost za povečanje učinkovitosti porabe goriva, z recirkulacijo (dela) zraka oz. odpadne toplote</p>	<p>Zahteva prezračevalni sistem, ki je lahko drag ali ga je v določenih zgradbah nemogoče namestiti</p> <p>Toplotna kapaciteta je omejena z odpadno toploto stavbe, vseh energetskih izgub ni mogoče uporabiti</p>
<b>Plinska, absorpcija</b>	<p>Zrela tehnologija, npr. za zamenjavo obstoječih plinskih kotlov</p> <p>Večja učinkovitost kot npr.</p>	<p>Zelo omejena ponudba na trgu</p>



plinski kotli

<b>Plin, adsorpcija</b>	Mogoče enostavno zamenjati plinske kotle	Spodnja meja za vstopno toploto znaša pribl. 2 °C, za zagotovitev spodnjo mejo potrebna sončna toplote ali vir zemeljske toplote
	Zeolit ima GWP=0 (potencial globalnega ogrevanja), za razliko od drugih hladilnih sredstev	Nekoliko nižji izkoristek goriva, kot npr. absorpcijske toplotne črpalke Zelo malo različnih proizvodov na trgu in omejene izkušnje z delovanjem
<b>Plin, kompresor na motorni pogon</b>	Zrela tehnologija za komercialno rabo	Razvoj te tehnologije je trenutno osredotočen na omogočanje komercialne rabe
	Visok sezonski faktor hlajenja v primerjavi z drugimi toplotnimi črpalkami – dobra tehnologija ko potrebujemo tudi hlajenja	Hrup motorja

### 3.7 Vršni in rezervni kotli

Ta priročnik se osredotoča le na komponente za manjše sisteme daljinskega ogrevanja, ki e navezujejo na rabo obnovljivih virov. Vendar, da bi bili projekti izvedljivi so včasih potrebni fosilni kotli (kurilno olje / zemeljski plin), kot vršni ali rezervni sistemi.

**Kotli za vršne obremenitve**, se vključijo šele, če vse ostale komponente ne zadoščajo za pokrivanje koničnih porab po toploti. Te kapacitete to ponavadi potrebne le nekaj dni na leto. Vendar pa so stroški teh zmogljivosti lahko precej visoki. Zato je morda smiselno namestiti poceni vršne kotle, kar lahko naredi projekt izvedljiv. Kotel se lahko upravlja tudi z biometana kot nadomestek zemeljskega plina (glej poglavje 3.2.5) ali z rastlinskim oljem, kot nadomestek kurilnega olja (glej poglavje 3.2.6).

V primeru, da ostale komponente sistema v majhnem omrežju daljinskega ogrevanja zatajijo, se zaženejo **rezervni kotli (back-up kotli)**. Lahko uporabljajo kurilno olje ali plin. Odvisno od celotnega sistema, načrtovanja in poslovnega koncepta, se lahko kot rezervne kapacitete uporabijo tudi sistemi zunanjih ponudnikov.

V nekaterih posebnih primerih majhnih sistemov daljinskega ogrevanja, še posebej, če se uporablja odpadna toplota, upravljavec toplotnega omrežja zagotavlja le osnovno količino toplote in ne pokriva celotnih toplotnih potreb odjemnika. V tem poslovnem modelu je cena energije za potrošnike nižja, saj dobava celotne potrebne toplote ni zagotovljena. Zato morajo ohraniti svoj individualni ogrevalni sistem v njihovi hiši, ki nato deluje kot vršni kotli v času konic. Ta poseben primer je podrobno opisan v Rutz et al. (2015).



Slika 40: Vršni kotli za na ELKO v bioplinarni v Nemčiji (levo) in kotli na plin (desno) (Vir: Rutz D.)

## 4 Tehnologije shranjevanja toplote

Tehnologije za shranjevanje toplote lahko pomagajo zmanjšati odvisnost proizvodnje od povpraševanja in pomagajo uravnorežiti (buffer) nihanja proizvodnje energije. Skladiščenje toplote poveča prožnost izrabe virov energije, ki niso na voljo istočasno kot povpraševanje. Prav tako lahko shranijo poceni energijo, npr. poceni električna energija, ki se lahko pretvori v toploto. Poleg tega shranjevanje pomaga povečati učinkovitost proizvodnih enot. Omogoča npr. kotlom na biomaso in SPTE, da delujejo neprekinjeno.

Namen shranjevanja toplote je proizvodnja toplote ali hlajenja, ko so proizvodni pogoji kar se da učinkoviti in ugodni, npr. proizvodnja sončne toplote čez dan ali proizvodnja električne energije, ko so cene električne energije visoki za SPTE. Velikost shranjevanja je odvisna od časa in količino shranjene energije.

Odvisno od časa, ko se toplota iz skladišča uporabi, se shranjevanje toplote deli na kratkoročno shranjevanje in sezonsko shranjevanje. Kratkoročno shranjevanje uravnoreži potrebe in proizvodnjo toplote za nekaj ur do nekaj dni. To so zalogovniki toplote. Sezonsko shranjevanje je veliko večje, saj uravnoreži proizvodnjo in povpraševanje iz ene sezone v drugo. To se v glavnem uporablja za shranjevanje sončne toplote od poletja do zime.

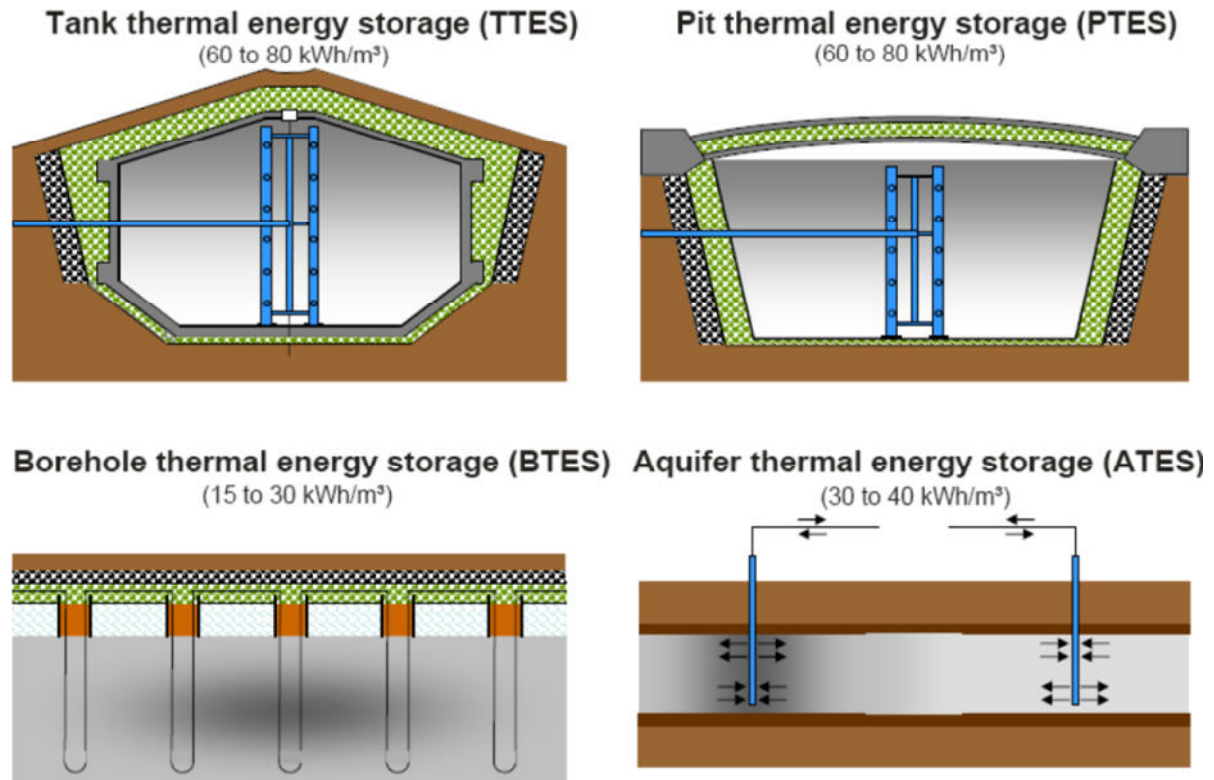
Naslednje vrste tehnologij za shranjevanje so na voljo:

- **Shranjevanje zaznavne toplote:** uporaba kapacitete toplotnega medija. Material za shranjevanje je predvsem voda zaradi svoje visoke specifične vsebnosti toplote na volumen, nizki ceni in nestrupenosti.
- **Latentni hranilniki:** izkoriščajo karakteristike shranjevalnega materiala / medija pri spremembi iz trdnega / tekočega stanja konstantni temperaturi. Uporabljajo t.i. Phase Change Materials (PCM).
- **Termokemični skladišča:** uporabiti toploto z reverzibilno kemijsko reakcijo.
- **Sorpcijske skladišča:** uporaba toplote ad ali absorpcije para materialov, kot zeolite-voda (adsorpcijsko) ali voda-litijev bromid (absorpcija).

V shranjevalnikih zaznavne toplote, se temperatura materiala poveča z dodajanjem toplote. Na ta način je toplota shranjena v materialu in njene lastnosti za shranjevanje so odvisne od toplotne kapacitete uporabljenega materiala kot tudi toplotne izolacije sistema. Za skladiščenje se uporablja predvsem voda. Tehnologija je znana iz npr. zalogovnikov za toplo vodo v stanovanjih. To je najpogosteje uporabljen sistem za shranjevanje in dodatno pojasnjen v poglavju 4.1 in 4.2.

Najbolj pogosto uporabljene tehnologije za shranjevanje zaznavne toplote so (Slika 41):

- **Shranjevanje v jekleni zalogovnik**, TTES (predvsem dnevni zalogovnik)
- **Shranjevanje energije v izolirano jamo**, PTES (dnevno do sezonsko)
- **Shranjevanje termalne energije v vrtino**, BTES (dnevno do sezonsko)
- **Shranjevanje toplote v vodonosnik**, ATES (dnevno do sezonsko)



Slika 41: Koncept shranjevanja toplote (Vir: Steinbeis Forschungsinstitut Solites)

**Latentno shranjevanje toplote uporablja fazno spremembo materiala - Phase Change Materials (PCM)**, ki izvedeno fazno spremembo pri dodajanju toplotne energije.

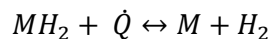
Če je sprememba faze povezana s toplotno transformacijo (kar velja za večino sprememb faze) se toplota shranjeni v transformirani materiala in se lahko tudi sprosti. Lastnosti shranjevanja so odvisne od temperature preoblikovanja in toplotne izolacije.

Posebna aplikacija shranjevanja toplote s PCM je shranjevanje v **premičnih rezervoarjih** (slika 42). Potrebno je opozoriti, da ta tehnologija še ni široko uporabljana. Le redki proizvajalci trenutno ponujajo sisteme za shranjevanje toplote v kontejnerjih.

Latentno shranjevanje toplote pri visokih temperaturah, nad 300°C in nizkotemperaturno latentno shranjevanje toplote pod 0°C v kombinaciji s tradicionalnimi posodami PCM so pogosti primeri tega tipa shranjevanja toplote.

V termokemičnem shranjevanju toplote poteka reverzibilni kemični proces, ki se uporablja za shranjevanje toplotne. Primera je metal-hidridna reverzibilna reakcija spodaj.

Zmogljivost termokemičnega shranjevanja je odvisna od spremembe entalpije in izgube se sčasoma zmanjšajo na nič, če se reverzibilni proces preprečuje s mehansko izolacijo nastalega plina s pomočjo ventila. Regeneracija toplote se doseže z odprtjem ventila, ki omogoča reverzibilno reakcijo.



Equation 2

$\dot{Q}$  *heat required to dissociate the hydride (the hydride splitting is an endothermic process) [W]*

$M$  *Metal*

$H_2$  *Hydrogen*



Slika 42: Kontejner za shranjevanje toplote na prikolici (Augsburg, Nemčija) (Vir: Rutz D.)

Končno, **sorpcijsko skladiščenje** uporablja toploto ad ali absorpcijskega para materialov, kot zeolite-vodo (adsorpcijsko) ali vodo-litijev bromid (absorpcija). Ti sistemi so pridobili veliko zanimanja, zaradi njihove visoke energetske gostote in dolgoročne sposobnosti ohranjanja toplotne energije.

#### 4.1 **Kratko ročno shranjevanje**

Obstaja več različnih tehnologij za kratkotrajno skladiščenje, ki lahko pomagajo optimizirati proizvodnjo toplote in hladu. Najpogosteje uporabljena je rezervoar za shranjevanje toplotne energije, predvsem v jekleni posodi.

Rezervoarji za kratkoročno shranjevanje toplotne energije so običajno izdelani iz nerjavnega jekla, betona ali s steklenimi vlakni ojačana plastika. Ponavadi vsebujejo vodo, kot shranjevani medij. Njihova velikost je odvisna od celotnega obsega sistema, v razponu od gospodinjstev nekaterih sto litrov vode do rezervoarjev za sisteme daljinskega ogrevanja z več sto kubičnih metrov prostornine. Izolacija se določi glede na podnebne razmere, na temperaturne nivoje in njeno uporabo. Nekatere jeklene cisterne za sisteme daljinskega ogrevanja na Danskem uporabljajo 30 - 45 cm mineralne volne, za zmanjšanje toplotnih izgub. Slika 43.





Slika 43: Postavitev jeklenih rezervoarjev Hjallerup District Heating. (Vir: [www.hjallerupfjernvarme.dk](http://www.hjallerupfjernvarme.dk))

Temperaturni nivo v rezervoarjih lahko segajo od zelo nizkih temperature, ki se uporabljajo za hlajenje do vročega skladiščenja, kjer temperatura v zgornjem delu skladiščenja ustreza temperaturi oskrbe daljinskega omrežja.

Kapaciteta je odvisna od temperaturnih nivojev pri shranjevanju. Kapaciteta za smiselno shranjevanje toplote, je prikazana v enačbi 3.. Večja je temperaturna razlika, večja mora biti zmogljivost shranjevanja toplote.

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad \text{Equation 3}$$

$Q$  stored heat

$m$  mass of the storage medium

$c_p$  specific heat capacity of the storage medium

$\Delta T$  difference between the maximum and minimum operating temperature of the storage

Voda je najpogosteje uporabljeni medij za shranjevanje toplote pri temperaturah pod 100°C. Če je pod tlakom, se lahko voda uporablja tudi za shranjevanje toplote pri temperaturah nad 100°C. Voda se običajno izbere zaradi svojih prednosti. Ni strupena, je poceni in ima dobre fizikalne lastnosti za shranjevanje toplote. Specifična toplota vode je približno 4,18 kJ / (kg · K), ki je višja od večine drugih poceni, dostopnih materialov, kot so pesek, železo ali beton.

Temperatura za shranjevanje je običajno temperatura iz kurišča na DH naprave. V večini primerov je naprava za shranjevanje zmožna oskrbovati temperaturo dovoda v DH omrežje. Porazdelitev temperature pri skladiščenju se upravlja s sistemom cevi. Ta sistem je namenjen ohranitvi visoke učinkovitosti shranjevanja v času.

Vertikalna porazdelitev temperature (temperatura plasti) v rezervoarju je koristna, saj je vročo vodo mogoče pridovati iz vrha. To se imenuje toplotna stratifikacija. Nekatere cisterne imajo več odvodnih mest in priklopnih mest za različne toplotne vire, tako da se toplota lahko uporabi iz različnih plasti. Pri uporabi takšnih cistern vode je mogoče uporabiti temperaturo na ravni želenega povpraševanja (na primer iz srednjega dela rezervoarja), ob ohranjanju visoke temperature vode v zgornjem delu rezervoarja, če je temperatura v zgornjem delu rezervoarja višja, kot je potrebno za dovod v omrežje. To je še posebej uporabno, če se uporablja zelo velikimi rezervoarji, kjer je potrebno ohraniti dobro toplotno razslojevanje. Dobra termična stratifikacija se odraža skozi visoko temperaturno razliko od vrha do dna rezervoarja.

Jekleni rezervoarji so najbolj pogosto uporabljajo za shranjevanje; skoraj 300 danskih toplarn poseduje imeti akumulacijske rezervoarje. Jekleni rezervoarji so lahko cilindrične jeklene posode nad tlemi, kar je najpogostejši primer na Danskem. Lahko pa se nahajajo tudi pod nivojem tal. To je na primer videli v Nemčiji, kjer se jeklene cisterne včasih uporablja tudi kot sezonski hranilnik v zvezi s solarnimi sistemi daljinskega ogrevanja. Uporaba rezervoarjev pod nivojem tal omogoča uporabo tal za druge namene.

Cilindrični jekleni rezervoarji so bila prvotno pogosto uporabljeni na Danskem v povezavi s SPTE, da bi se povečali prihodki iz soproizvodnje toplotne in električne energije, v obdobju ko so cene električne energije visoke. Povprečna velikost teh aplikacij je cca. 3.000 m<sup>3</sup>, vsota vseh teh rezervoarjev na Danskem je približno 50 GWh. Zaradi povečane proizvodnje električne energije iz vetrnih turbin na Danskem, se letno delovanje SPTE zmanjšuje. Zdaj se ti rezervoarji uporabljajo tudi za sončne toplarne, in so včasih dopolnjena z dodatnimi rezervoarji. Shranjevanje lahko prav tako pomaga optimizirati delovanje drugih proizvodnih enot (npr. kotlov na biomaso).

#### **4.2 Sezonsko shranjevanje toplote**

Sezonsko skladiščenje toplote uravnateži potrebe in proizvodnjo toplote iz ene sezone v drugo. To se v glavnem uporablja za shranjevanje sončne toplote od poletja do zime. Sezonsko shranjevanje omogoča visoko rabo sončne energije, ampak pomeni tudi večjo naložbo. Sezonsko shranjevanje mora biti zasnovano za pričakovano zmogljivost, saj ni primerno za modularno širitev, kot v primeru solarnega obrata.

Poleg uporabe sezonskega skladiščenja v kombinaciji s sončno toploto se lahko kombinira tudi s toplotnimi črpalkami ali olajša integracijo presežne toplote, npr. iz industrije. Primer takega sistema je toplarna okrožje Gram, Danska (glej CoolHeating Best practice report Laurberg Jensen et al. 2016).

Različne tehnologije za sezonsko skladiščenje in nekateri primeri so (slika 41):

- Shranjevanje v izolirani jami (PTE): Dronninglund, Marstal, Gram (Danska)
- Shranjevanje v vrtine (BTES): Brædstrup (Danska)
- Shranjevanje v vodonosnik (ATES)



Slika 44: Shranjevanje toplotne energije v izolirano jamo v Marstal, Danska (Vir: PlanEnergi)



Slika 45: Rob izolirane jame solarnega DH sistema Gram, Danska (Vir: Rutz D.)





**Slika 46: Shranjevanje toplotne energije v vrtine Brødstrup, Danska (Vir: PlanEnergi)**

Skladiščenje toplotne energije v izolirano jamo se relativno poceni tehnologija, ki je bila razvita v kombinaciji s solarnimi elektrarnami. Število obstoječih izoliranih jam je majhno in tehnologija ima nekaj razvojnega potenciala. Ena od omejitev je današnja raven temperature, kar pomeni, da visoke temperature ( $90^{\circ}\text{C}$ ) skrajšajo življenjsko dobo uporabljene folije. Razvoj visokotemperaturnih PTE ( $90^{\circ}\text{C}$ ) kot tudi nizko temperaturnih pomeni, da se PTE ne more uporabljati samo v kombinaciji s solarno termalno temveč tudi v kombinaciji z npr. presežki industrijske toplote. Tako je na primer v Gram, Danska, kjer industrija zagotavlja (odvečno) toploto in dobi nekaj od te toplote kasneje nazaj.

Shranjevanje toplotne energije v vrtino je relativno nova tehnologija, ki je bila uporabljena v obratu, na Danskem (Braedstrup). BTES lahko dopolni PTE kot sezonski hranilnik toplote na območjih, kjer ni možna aplikacija PTE. BTES-tehnologija je še vedno v fazi razvoja.

Skladiščenje toplotne energije v vodonosnik se lahko uporablja za shranjevanje do  $20^{\circ}\text{C}$ . Ta nizka raven temperature omejuje aplikacijo te tehnologije. Na Danskem obstaja nekaj aplikacij v kombinaciji z daljinskim ogrevanjem. Večina aplikacij so samostojne naprave za velike zgradbe. Obstaja potencial za shranjevanje toplote v globokih rezervoarjev (pod 250 m), vendar je to odvisno od lokalnih pod površinskih pogojev.

## 5 Majhni modularni sistemi daljinskega ogrevanja in hlajenja

### 5.1 Velikost sistema

Sistem za daljinsko ogrevanje (DH) je lahko različnih velikostih od pokrivanja potreb velikega območja, kot je na primer DH sistem Greater Copenhagen, na majhnem prostoru ali vasi, ali sistem ki ga sestavlja le nekaj hiš. V velikih DH sistemih je DH omrežje sestavljeno iz prenosnega omrežja (prenos toplote pri visoki temperaturi / pritisku na dolge razdalje) in distribucijskega omrežja (distribucijo toplote lokalno pri nižji temperaturi / tlaku) (Danska agencija za energijo in Energinet. dk, 2015).

Majhni sistemi daljinskega ogrevanja so lokalni koncepti in oskrbujejo gospodinjstva ter mala in srednja podjetja z energijo iz obnovljivih virov. V nekaterih primerih se lahko kombinirajo z obsežnimi daljinskimi omrežji, vendar je osnovna ideja, da imajo individualne cevovode, ki povezuje relativno majhno število potrošnikov. Pogosto so ti koncepti izvajani v vasi ali mestih. Lahko se napajajo iz različnih virov toplote, vključno s sončnimi kolektorji, biomaso in presežnih virov toplote (npr. toplote iz industrijskih procesov ali bioplinarne). ZA vršne kapacitete se lahko namesti kotle na fosilna goriva ali kot rezervne kapacitete, tudi zato, da se poveča ekonomska izvedljivost celotnega sistema.

Mikro ogrevanje omrežja so običajno nameščeni za manjše število strank, npr. 2 do 10. Prednost mikro omrežij, da bi se ti sistemi gradijo lažje in hitreje, zaradi majhne količine odjemnikov, brez dolgih javnih postopkov. Stranke se dogovorijo o ustreznem obračunavanju toplote in o tem, kdo je upravljavec sistema.

Neodvisno od velikosti omrežja, je pomembno, da sistem v načrtovanju ni predimenzioniran. Velike dimenzije povzročijo večje toplotne izgube in višje stroške naložb.

Pomemben faktor je "gostota toplotnih potreb" omrežja (glej poglavje 6.2.2), ki se izračuna na osnovi letno prodane toplote (MWh / a), deljeno z dolžino omrežja (v meter dolžine cevovoda). Pravilo pravi, da mora biti ta faktor najmanj 900 kWh / m na leto. Cilj mora biti prodaja velike količine toplot pri mreži s čim krajšo dolžino. V primeru, da je gostota toplotnega odjema potencialnega omrežja prenizka, ima lahko prednost individualni sistem gospodinjanskega ogrevanja.

### 5.2 Temperaturni nivo

#### 5.2.1 Izbor temperaturnega nivoja

Večja kot je razlika med dovodom in temperaturo povratka (razlika temperature), boljše je za dobavitelja toplote. Visoka razlika temperature zmanjšuje masni pretok in toplotne izgube ogrevalnega omrežja. Poleg tega je poraba energije črpalk zmanjšana.

Obstaja nekaj pravil je treba upoštevati pri izbiri prave ravni temperature za ogrevanje omrežja:

- Raven temperature v majhnem sistemu daljinskega ogrevanja je odvisna od temperature, ki potrebujejo odjemalci. Če je to potrebna temperatura previsoka ali takšno temperature zahteva samo nekaj strank, je za njih bolje uporabiti individualni sistem ogrevanja ter se jih ne poveže v omrežje.
- Druga pomembna značilnost ogrevalnega omrežja so toplotne izgube. Višja kot je temperatura večje so toplotne izgube.



- Nihajoče temperature dovodni cevi, v enem dnevu, je treba kar se da zmanjšati zato, da se zniža trenja (stres) v ceveh. Pogosto spreminjanje temperature na dovodni cevi ali izklapljanje omrežja povzroča stres in zmanjšuje življenjsko dobo ogrevalnega omrežja.
- Razlika med dovodom in temperaturo povratka majhnega DH omrežje mora biti vsaj 30°K, da bi zmanjšali masni pretok, dimenzije cevi in stroškov za delovanje črpalk.

Temperatura v omrežju je lahko višja ali nižja, v odvisnosti od temperature okolice (Slika 47). V zimskem času, pri najnižjih zunanjih temperaturah ima temperatura dovoda najvišjo stopnjo. V poletnih mesecih je potrebna vsaj temperatura za pokrivanje ravni temperature za pripravo tople sanitarne vode.



Slika 47: Primer dovodne temperature DH omrežja v odvisnosti od temperature okolice. (Vir: Güssing Energy Technologies)

### 5.2.2 Visokotemperaturni sistemi

Visokotemperaturni sistemi se uporabljajo, če so potrebne visoke ravni temperature, npr. za industrijske uporabnike. Takšen sistem deluje z vročo vodo nad 90°C. Visoke temperature povzročajo večje toplotne izgube in nižjo življenjsko dobo DH omrežja.

Sistem daljinskega ogrevanja bi moral biti v bližini industrijskega uporabnika, ki potrebuje visoko temperaturo. Preostali del DH omrežja (na primer za ogrevanje stavb, gospodinjstva) je treba upravljati z nižjo temperaturo.

Industrijski uporabniki pogosto povzročajo višje temperature povratka na omrežje, zaradi slabih hidravličnih naprav ali napačne kontrole. Cilj bi morala biti čim nižja temperatura povratka, da bi zmanjšal masni pretok in toplotne izgube.

### 5.2.3 Srednjetemperaturni sistemi

Srednjetemperaturni sistemi so najpogostejši sistemi. Temperatura dovoda se giblje od 65 ° C do 90 ° C. Te ravni temperature se pogosto uporabljajo za ogrevanje stavb (npr. hiše, pisarne ali javne stavbe), in zagotavljanje sanitarne vode. Obstoječe stare hiše pogosto potrebujejo temperature 80 ° C in več. Novejše stavbe lahko uporabijo temperature dovoda med 50 in 70 ° C, glede na stanje izolacije in na kateri ogrevalni sistem so nameščeni (npr. radiatorji ali talno ogrevanje).

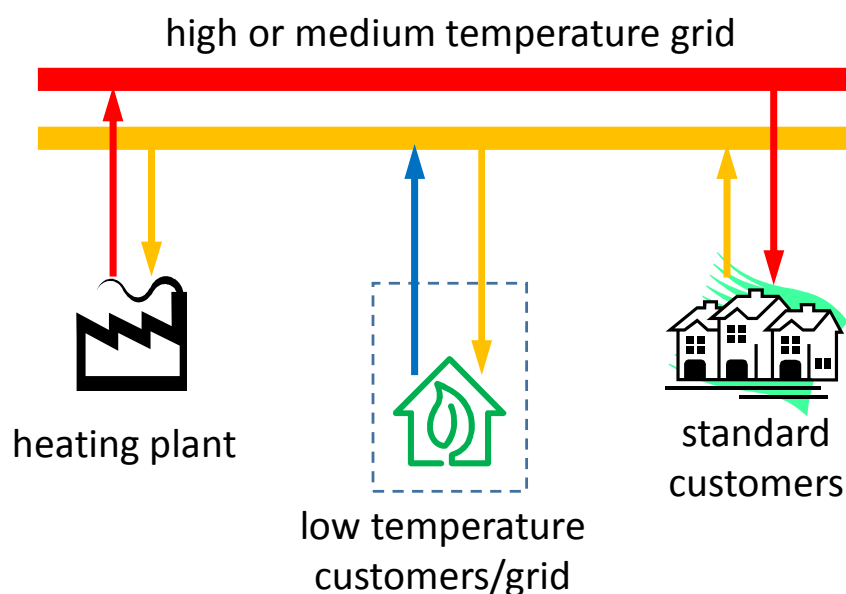
Za pripravo tople sanitarne vode (bojlerja), mora temperatura dovoda DH omrežja vsaj 65 ali 70 ° C za celo leto, da bi preprečili rast Legionele, ki lahko povzroči bolezni.

#### 5.2.4 Nizko temperaturni sistemi

Nizkotemperaturni sistemi (nizke temperature za daljinsko ogrevanje, LTDH) s temperaturami dovoda pod 65 ° C, so vse bolj priljubljeni za stranke z niskimi energetske potrebe. Prednost je v tem, da so toplotne izgube v ceveh nižje in se lahko uporablja polimerne cevi. Poleg tega se lahko v nizkotemperaturni sistem vključi tudi druge vire, kot so toplotne črpalke ali odpadna toplota iz industrije. Na tej ravni temperature, pa je lahko problem Legionela. Tako bodo morda potrebni dodatni elementi, kot so izmenjevalniki toplote za pripravo tople sanitarne vode.

Sistemi za nizke temperature se lahko uporablja tudi kot podsistem visoko ali srednje temperaturnega omrežja (slika 48). Povratno cev lahko uporabimo kot dovodno cev za sistem pri nizkih temperaturah. Po uporabi toplote, se lahko vrne v povratek.

Prednosti LTDH so, da se zniža toplotne izgube omrežja, ki omogoča prihranke energije in nižje stroške. Poleg tega so nizkotemperaturna omrežja lahko vezana na širši nabor virov toplote, vključno z več obnovljivimi viri energije in odvečne toplote iz industrijskih procesov. LTDH se ne šteje za dražje od običajnih DH.



**Slika 48:** Uporaba povratka za nizkotemperaturno omrežje (Vir: Güssing Energy Technologies)

Na primer, v Avstriji obstajajo nizkotemperaturna omrežja, s konstantno temperaturo pretoka 55 ° C, v vsem letu. Sanitarna voda se pripravlja sproti z izmenjevalnikom toplote pri stranki. Kupci so priključeni neposredno na omrežje. V zimskem času, je mreža ogrevana s peletnim kotlom in v poletnih mesecih s toplotno črpalko zrak / voda. Priključene so samo stavbe z nizko energijskimi potrebami (talno ogrevanje in nizko-temperaturni radiatorji), povezane v gosto naseljenem območju, kjer so potrebna kratki cevovodi.

V drugem primeru v Nemčiji (Dollnstein) (glej CoolHeating poročilo primerov dobrih praks Laurberg Jensen et al. 2016), se uporabljajo temperature 20-30 ° C za dovod v poletnih mesecih. Visoke temperature bi povzročilo velike toplotne izgube. Za zmanjšanje teh izgub, se temperatura omrežja zniža na 20-30 ° C, od maja do konca septembra. To omogoča

pokrivanje potreb po toploti v poletno obratovanje v celoti z energijo iz obnovljivih virov (sončna).

Več informacij o temperaturnih sistemih z nizkimi z nekaterimi študijami primerov so na voljo v Köfinger et al (2015).

### 5.2.5 Pomen nizke temperature povrata za DH sistem

Količina toplote uporabljene iz sistema daljinskega ogrevanja je odvisna predvsem od zasnove in prilagoditve "notranjih sistemov" za ogrevanje stavb odjemalca, pa tudi na od delovanja in stanja toplotne podpostaje. Dobro hlajenje pretoka povratka (to je več porabljene toplote) in dobra izvedba podpostaj je v interesu tako dobavitelja toplote kot tudi odjemalca. Nadzor in spremljanje pretoka dovoda in povratnega toka sistema DH je pomembno (Euroheat & Power, 2008).

Cilj bi moral biti, da se zmanjša temperaturo povratka na strani odjemalcev in s tem temperatura povratka sistema DH. To se kaže v nižjem masnem pretoku, črpalnih stroških in višji zmogljivosti toplotne obremenitve omrežja. To so razlogi, zaradi katerih bi morali operaterji DH sistemov pregledovati hidravlično shemo odjemalcev in spodbuditi odjemalce, da prilagodijo svoje ogrevalne sisteme za zmanjšanje temperature povratka.

### 5.2.6 Nadzor temperaturnih nivojev

Nadzor pripomore k zmanjšanju pretoka in povratka temperature ter hkrati ohranja velike temperaturne razlike. Z namenom zmanjšanja toplotnih izgub v omrežju, za optimizacijo proizvodnje toplote, za varčevanje goriva in zmanjšanje emisij CO<sub>2</sub>, mnogi obrati uporabljajo programsko opremo za temperaturno optimizacijo. Programi za optimizacijo se lahko povežejo s programi za izračune na omrežju in SCADA sistemi (Supervisory Control and Data Acquisition) iz toplarne.

Program za optimizacijo pridobi ustrezne podatke iz zunanjih pogojev in merilnih podatkov iz omrežja, na primer, na temperaturo dovoda. Števci se ponavadi namestijo na "šibke" točke v mreži. Zbrani podatki lahko vključujejo podatke o vremenskih napovedi, ogrevalnih potrebah in izmerjene temperature v omrežje. Podatki so obdelani v kratkih časovnih presledkih. Na ta način se lahko določi število operativnih parametrov se določi (ali celo v krajših časovnih intervalih) ter se zagotovi, da se operacija izvaja čim bolj učinkovito.

Na splošno, programi uporabljajo naslednje parametre za izračun temperature dovoda:

- Vreme
- Pretok
- Temperatura povratka
- Vzorci porabe sanitarne tople vode
- Delavnik / vikend / počitnice

Učinek optimizacije temperature bo:

- Nižje povprečne temperature v dovodu in povratu
- Nižje izgube omrežje
- Optimizirana hitrost pretoka distribucijskih črpalk

### 5.3 Cevi

Omrežje daljinskega ogrevanja ali mreža je sestavljena iz povezanih cevi za ogrevanje (cevi dovoda), skozi katero teče vroča voda, ki se transportira od proizvajalca toplote do potrošnika. Ohlajeno vodo od potrošnikov se prevaža skozi cevi (povratnih cevi, cevi povratni tok) nazaj k proizvajalcu toplote. Cevi je treba skrbno izbrati, da bi povečali skupno učinkovitost sistema in zmanjšali izgube. Premer cevi in uporabljen material za cevi so glavne značilnosti, ki jih je treba upoštevati.

#### 5.3.1 Tip in premer cevi

Tip in premer cevi sta odvisna od razdalje, tlaka in količine toplote, ki se transportira do potrošnikov. Premer lahko sega od 16 mm do kapacitet za več kot 600 mm.

Za glavne, primarne cevi omrežja, servisne cevi in transportne cevi za prenos, se uporabljajo pred izolirane cevi za daljinsko ogrevanje. Te cevi imajo sendvič konstrukcijo, v katerem so vključene tri plasti (slika 49). Cev medija ali nosilna cev ogrevalnega medija, navadne vode. Plast izolacije, ki zmanjša toplotne izgube. Plašč cevi ali jopič cevi, ki ščiti izolacijski sloj.

V manjših dimenzijah so boljše fleksibilne cevi v večjih dimenzijah so pogosto potrebne jeklene cevi.

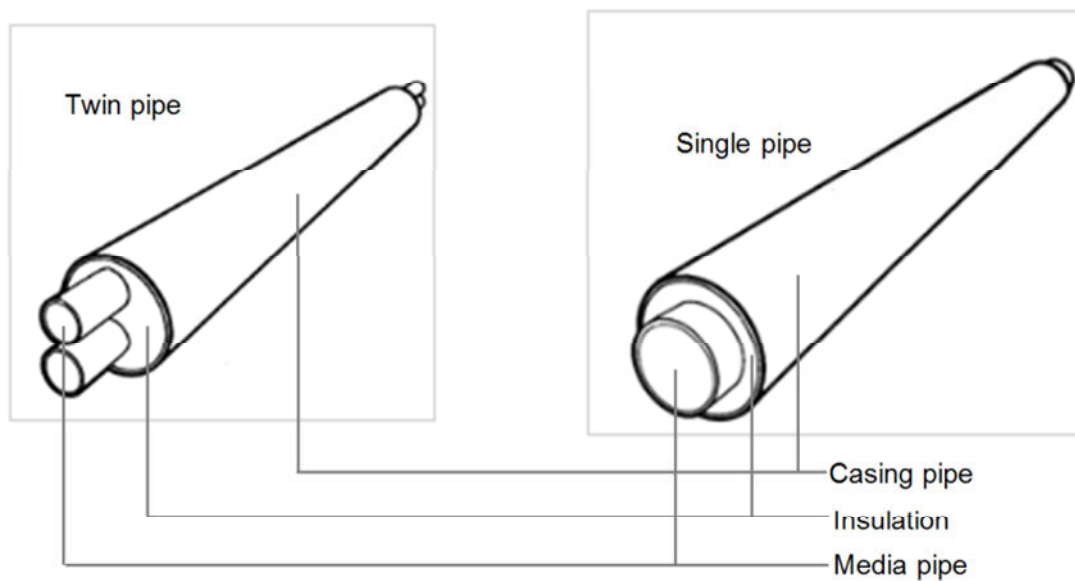
Zlasti pri manjših premerih cevi, je bolj uporabiti dvojne cevi namesto posameznih cevi. Pri dvojnih ceveh, sta dovod in povratek združena v eni sami cevi. Sestoji iz dveh cevi v istem ohišju. To zmanjšuje toplotne izgube v primerjavi z vgradnjo dveh posameznih cevi, kot tudi nižja stroške gradnje. V zelo velikih dimenzijah (> Ø219 mm), kot v velikih distribucijskih daljnovodih, dvojne cevi niso na voljo.

Cev medija je običajno narejena iz polimerov, alu-PEX, bakra ali jekla. Za večje cevi z visokimi pritiski se pogosto preferira jeklo kot cev medija, saj je jeklo najbolj vzdržljiv material za velike količine in pritiske. Za manjše cevi so pogosto v uporabi polimerne cevi, saj so bolj prilagodljive in jih je lažje namestiti.

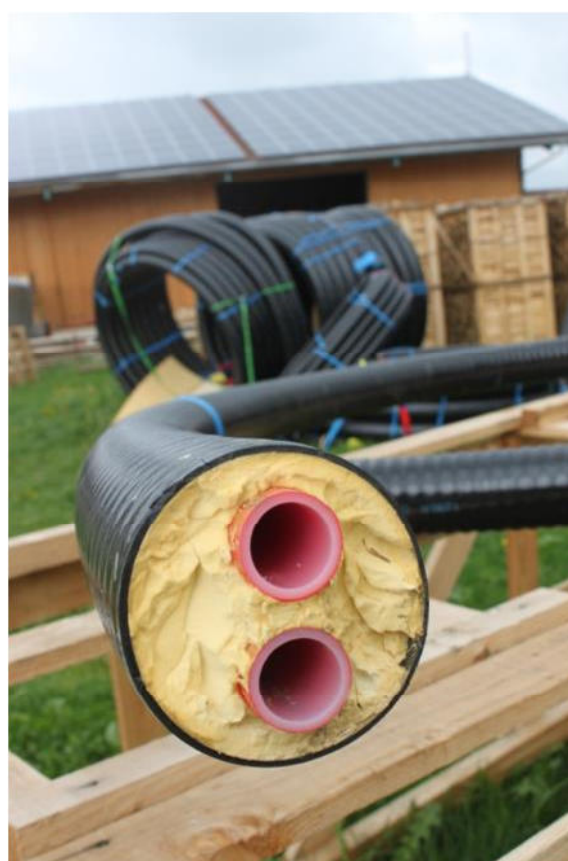
Ohišje za cevi je izdelano iz gladkih ali valovitih polimerov kot polietilen nizke gostote (PEL) ali polietilen visoke gostote (PEH). Izolacija je izdelana iz poliuretanske pene (PUR) ali mineralne volne.

Tako gibke cevi, kot tudi jeklene cevi naj vključujejo difuzorje med izolacijo in zunanjim polietilen (PE) ohišja, da bi ohranili nizko toplotno prevodnost, nespremenjeno v daljšem časovnem obdobju.

V sodobnih ceveh, so pogosto nameščeni opozorilni sistemi uhajanja vode. Saj puščanje cevi vodil v zmanjšane izolacije, visoke toplotne izgube in izgubo vode. Bistvo tega sistema so kabli (dva integrirani žici, slika 51), nameščeni v izolacijo cevi, ki pošilja podatke s krmilno enoto opozorilnega sistema uhajanja.



Slika 49: Prerez cevi daljinskega sistema ogrevanja (Vir: Slika iz Isoterm)



Slika 50: Primeri starih jeklenih cevi (levo) in dvojne polimerne cevi (desno) (Vir: Rutz D.)





Slika 51: Enojna jeklena cev z dvema žicama za sistem opozarjanja na puščanje vode (Vir: Rutz D.)

### 5.3.2 Izbor cevi

Pri načrtovanju sistemov daljinskega ogrevanja, je treba upoštevati veliko dejavnikov je treba in taki sisteme je zato najbolje dimenzionirati z uporabo namenske programske opreme za načrtovanje. Pogosto proizvajalci cevi ponujajo takšna orodja. Poleg tega proizvajalci pogosto ponujajo tabele s podatki o ceveh s posebnimi značilnostmi cevi, kot so material, izolacija, toplotne izgube, premer, itd. Osrednja značilnost je premer cevi, saj vpliva na zmožnost transporta toplote. Značilno je, da so dimenzije cevi določene na osnovi vrednosti padca tlaka in kapacitete cevi, ki temeljijo na Colebrook in White formuli pri temperaturi vode 80 ° C.

Priporočljivo je, da pred in med gradnjo se posvetujete s proizvajalcem cevi ali inženirjem.

### 5.3.3 Namestitvev cevi

Na splošno so lahko cevi nameščene v tleh in nad tlemi. Cevi nad tlemi se običajno vidijo šele v odnosu do velikih daljnovodov in če cevi morajo prečkati mostove ipd.

Za vse ostale glavne cevi omrežja so cevi običajno nameščene pod zemljo. To zahteva nekaj previdnosti in ukrepov med namestitvijo v izogib poškodb na ceveh. Kot je opisano v poglavju 5.3.1, se navadno namestijo predizolirane "sendvič" cevi. Ta cev se obnaša kot ena integrirana enota, kadar temperatura v cevi niha to vpliva na premike materialih cevi. Temperaturna nihanja na splošno obremenjujejo cevi, ki pa morajo zdržati te napetosti.



**Slika 52: Namestitev cevovoda do objektov (Vir: ThermoFlex Isolierprodukte GmbH)**



**Slika 53: Vrtalni stroj (Vir: Rutz)**

Napetosti, ki se kopičijo v nosilnih ceveh se določijo na osnovi sposobnosti cevovoda, da se prosto razteza in oži kot odziv na nihanja temperature, tlaka v cevi in teže cevi. (Isoplus, 2016)

"Yield strength" ali "yield point" oz. meja plastičnosti je lastnost materiala definirana kot napetost, pri kateri se material začne plastično deformirati. Pred to točko se bo material elastično deformiral in se vrnil v svojo prvotno obliko, ko se odstrani napetost. Ko ta točka dosežena, bodo nekatere deformacije trajne in nepovratne. V preteklosti je bil Yield strength omejitveni dejavnik pri oblikovanju sistemov daljinskega ogrevanja z uporabo polimerov v glavnih ceveh (Isoplus, 2016). Vendar pa so danes, tehnologije cevi tako razvite, da je mogoče celo preseči mejo plastičnosti pri sodobnih ceveh.

Za različne cevi veljajo različne metode vgradnje, da bi zagotovili dolgoročno delovanje sistema. Primeri načinov namestitve cevi vključujejo širitev zavojev (ki zahtevajo dodatno opremo, kot so L, Z in U ovinke), toplotno prednapenjanje (predogrevanje cevi), predhodno napenjanje elementov in hladno polaganje cevi (Isoplus, 2016) (tabela 4).

Table 4: Metode polaganja cevi (Vir: Isoplus, <http://en.isoplus.dk/laying-rules-163>)

Metoda polaganja	Prednosti	Slabosti
<b>Metoda 1</b> <b>Širitev zavojev</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manjše napetosti v sistemu</li> <li>- Manj stroge zahteve za vzporedni izkop</li> <li>- Relativno visoke hitrosti instalacije. Jarek se lahko sproti zakopava, takoj ko je cevovod položen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potrebo po širitvi ovinkov</li> <li>- Povečan padec tlaka</li> <li>- Dodatne komponente</li> <li>- Dodatne odmikanje cone</li> </ul>
<b>Metoda 2</b> <b>Pred ogrevanje</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manjše napetosti v sistemu</li> <li>- Manj stroge zahteve z vzporednim izkopom</li> <li>- Enostaven sistem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jarek mora biti odprt dokler se sistem ne predogreje</li> <li>- Potreba po toplotnem viru med predogrevanje</li> </ul>
<b>Metoda 3</b> <b>Pred napenjanje elementov</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manjše napetosti v sistemu</li> <li>- Manj stroge zahteve z vzporednim izkopom</li> <li>- Relativno visoke hitrosti instalacije. Jarek se lahko sproti zakopava, takoj ko je cevovod položen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potreba po elementih za prednapenjanje cevi</li> </ul>
<b>Metoda 4</b> <b>Hladno polaganje</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Enostavno, nekomplificirano brez dodatnih stroškov</li> <li>- Relativno visoke hitrosti instalacije. Jarek se lahko sproti zakopava, takoj ko je cevovod položen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potrebni previdnostni ukrepi, ki so posledica visokih osnih napetosti</li> <li>- Velik začetni premik. Neprimerno za velike dimenzije in visoke temperature</li> <li>- V določenih primerih lahko zahteva dodatno ojačane komponente</li> </ul>

V uporabi so različni nacionalni standardi za namestitve cevi. Nekateri evropski standardi, ki jih je treba upoštevati, so:

- EN 253: fiksni 2013 Pre-izolirani cevni sistemi: 2009 + A1
- EN 448: 2009 priključki, daljinsko ogrevanje
- EN 488: 2011 Jekleni ventili za daljinsko ogrevanje
- EN 489: 2009 Povezovanje cevi medija, jeklo
- EN 13941: 2009 + A1: 2010 Projektiranje in izvedba
- EN 14419: Sistemi 2009 za spremljanje in nadzor
- EN 15698: 2009 Pre-izolirana sistem z dvojno cevjo

Cevi se lahko bodisi zakopana v zemljo z bagrom (Slika 52) ali na osnovi horizontalnega usmerjenega vrtanja (imenovano tudi HDD) (Slika 53). HDD je krmiljen način polaganja podzemnih cevi, kanale in kablov brez jarkov, v plitvem loku vzdolž poti vrtine z uporabo površinskega vrtalnega stroja, z minimalnim vplivom na okolico. Usmerjeno vrtanje se uporablja kjer izkop ali izkopavanje ni praktično. Primeren je za različne talne razmere in situacije, vključno s preходом cest, krajine in rek. Izvedene so bile namestitve z usmerjenim vrtanjem do dolžine 2.000 m. Cevi lahko izdelane iz materialov, kot so PVC, polietilen, polipropilen, modularne litine in jekla, če se cevi lahko potegne skozi izvrtine. Usmerjeno vrtanje ni praktično, če obstajajo praznine med skalami ali so plasti kamnin nepopolne. Najboljši material je trdna skala ali sedimentni material. Obstajajo različne vrste glav, ki se

uporabljajo v postopku, in so odvisne od geološke zgradbe tal. (Wikipedia, 2014, Rutz et al. 2015)

Še posebej v primeru, tlakovanih cest je HDD je primeren, saj se negativni vplivi za prebivalstvo lahko zmanjša in s tem poveča sprejem (Rutz et al. 2015).

#### 5.3.4 Toplotne izgube

Toplotne izgube omrežja (glej poglavje 6.2.3) so odvisne predvsem od oddaljenosti od omrežja in se precej razlikujejo od sistema do sistema. Izgube toplote cevi so podane s strani proizvajalca cevi za standardne pogoje v  $W/m$ .  $\Phi = 11 W / m$  na primer. Izgube toplote so odvisne od hidravličnih razmer, temperature tekočine, temperature zemlje in izolacije cevi (materiala cevi in debeline materiala).

Včasih, proizvajalci cevi vključujejo odstotek toplotnih izgub za njihove izdelke. Vendar je za načrtovanje daljinskega ogrevanja omrežja priporočljivo, da uporabljate absolutne številke, saj to odraža tudi toplotne izgube pri različnih toplotnih obremenitvah.

#### 5.3.5 Stroški

Težko je prikazati podatke o specifičnih investicijskih stroških za toplovodno omrežje, saj je naložba odvisna od dolžine omrežja, izolacije, dimenzij, in če omrežje poteka preko obstoječe infrastrukture, kot so na primer ceste. Naložba v same cevi šteje za približno eno tretjino celotne cene daljinskega ogrevanja omrežja. Največji del investicije so stroški za zemeljska dela (jarki,...). To so izkušnje iz Danske, ampak tudi v drugih krajih je lahko delo cenejše, kar bo znižalo stroške investicije.

### 5.4 Medija prenosa toplote

Medij transporta toplote je tekočina, ki prenaša toploto iz toplarne po ceveh do odjemalcev. V sistemih daljinskega ogrevanja se navadi uporablja voda. Kakovost vode ima velik vpliv na delovanje sistema. Tako mora biti kvaliteta vode pomemben vidik za zaščito sistema pred korozijo. V naslednjih poglavjih so predstavljeni vidiki kakovosti vode.

#### 5.4.1 Plini v vodi<sup>10</sup>

Najpomembnejša plina, ki vplivata na kakovost vode v sistemih daljinskega ogrevanja sta kisik ( $O_2$ ) in dušik ( $N_2$ ).

Kisik v vodi povzroča korozijo nelegiranih in nizko legiranih cevi iz železa, še posebej, če je voda slana. Da bi se izognili velikim količinam kisika v vodi, mora biti sistem zatesnjen in zaprt dostop kisika.

Dušik je neaktiven plin v vodi, vendar povzroča težave z materialom, ko je njegova koncentracija tako visoka, da se tvorijo mehurčki prostega dušikovega plina. To se zgodi, če se topnost plina zmanjša, ko se temperatura medija poveča in tlak zniža ob istem času.

Motnje cirkulacije, hrup in erozija korozija so lahko posledice. V toplotnih podpostajah zrak in plini lahko prehajajo skozi rezervoarje ekspanzijskih posod, ter se izpustijo v ozračje. Kisik (in majhne količine dušika) lahko vstopijo skozi difuzijo iz prepustnih membran ali skozi plastične cevne sisteme. Poleg tega pri nizkih tlakih v zaprtih sistemih zraka lahko vstopi skozi tesnila in avtomatske vakuumske odklopnike. (Euroheat & Power, 2008)

<sup>10</sup> This chapter is based on Euroheat & Power, 2008

### 5.4.2 Druge komponente v vodi<sup>11</sup>

V topli vodi, topni lug reagira s hidrogenkarbonati in tvori kalcijev karbonat, kar ima za posledico tvorbo vodnega kamna (kalcijevega karbonata). povečan obseg teh nanosov ovira delovanje toplotnega izmenjevalnika in zmanjšuje njegovo toplotno kapaciteto. V nekaterih primerih pride do pregrevanja in posledično se lahko pride do poškodb v sistemu. Za zaščito sistema proti oblikovanju kamna, je treba vodo mehčati.

Anioni iz vodotopnih snovi, zlasti klorida in sulfatov, v prisotnosti kisika privedejo do lokalne korozije (tudi razpok) v nelegiranih kovanih materialih. Koncentracija klorida do 50 mg/l običajno ne povzročajo nikakršnih poškodb. Vendar pa je v nekaterih kritičnih razmerah (na primer v primeru povečane koncentracije pod pokrovi, v porah ali v določenih stolpcih), kloridni ioni v nerjavnem jeklu lahko privedejo do depozitov in korozije. Glede na to, da je nevarnost korozije odvisna od več dejavnikov (npr. materiala, medija, delovnih pogojev), splošne mejne vrednosti ni mogoče opredeliti. V vsakem primeru je priporočljiva kar se da nizka koncentracija klorida. Tudi klorid povzroča korozijo aluminija.

Netopne in topne organske snovi lahko škodujejo tehnologijam za čiščenje vode, enako velja tudi za mikro-biološke reakcije v procesu kroženja vode. Le tem se je treba izogibati v sistemih daljinskega ogrevanja.

Začasno preprečevanje korozije starih armatur, cevovodov in talnega ogrevanja, se uporabljajo snovi na osnovi olj ali maščob. Kot film ali pokrov na materialih, olja lahko vplivajo na toplotni izmenjevalnik. Prav tako motijo delovanje regulatorja in varnostne opreme. Olja in maščobe so hranila za mikroorganizme in lahko celo povzročijo mikro-biološko korozijo. Zato je zelo priporočljivo, da bi se izogibamo uporabi olj in maščob v DH sistemih.

### 5.4.3 Parametri vode<sup>12</sup>

Sistem za daljinsko ogrevanje mora biti zaprt, tako za zrak in hladno vpijanje vode za preprečevanje korozije. Zato je potrebno vzdrževanje tlaka. Drug vidik je, da magnetit - kot produkt korozije - gradi homogeno površinsko plast z visoko odpornost proti koroziji na kovinskih površinah. Ta zaščitna sloj nastane le pri temperaturah, višjih od 100 ° C.

V skladnosti s standardnimi vrednostmi za kemično obdelavo vode (glej tabelo 5) lahko uporabljamo nelegirane kovane materiale, nerjaveče jeklo in baker, ločeno ali v kombinaciji. Dele iz aluminija ali aluminijeve zlitine, se ne sme uporabljati v neposrednem stiku z obtočno vodo, sicer lahko pride do alkalno povzročene korozije.

Uporaba železa in bakra lahko privede do nalaganj in napak na območjih z nizkimi pretoki. Izkušnje kažejo, da so koncentracije železa  $\leq 0,10$  mg / l in bakra  $\leq 0,01$  mg / l, v normalnem območju.

Euroheat & Power priporoča, da se aluminija ne uporablja sploh v nobenem od sistemov DH, vključno s sekundarno stranjo.

Za DH sisteme obstajata dve različni možnosti, in sicer z majhno vsebnostjo soli in visoko vsebnostjo soli. Za varno in gospodarsko delovanje obtočne vode morajo biti izpolnjene spodaj navedeni standardi. V izrednih primerih/situacijah (npr. zagon, poškodbe), je možno kratkoročno odstopanje od teh rednosti.

<sup>11</sup> This chapter is based on Euroheat & Power, 2008

<sup>12</sup> This chapter is based on Euroheat & Power, 2008



Tabela 5: Standarde vrednosti kvalitete vode za DH sisteme (Vir: Euroheat & Power, 2008)

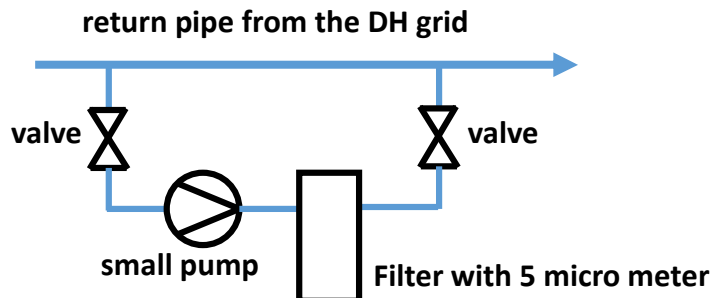
Parameter	Enota	Vrednost
Električna prevodnost	$\mu\text{S/cm}$	100-1,500
pH	n.a.	9.5-10
Kisik	mg/L	<0.02
Alkalnost	mmol/L	<0.02

#### 5.4.4 Praktične izkušnje<sup>13</sup>

Standardna oprema za zagotavljanje potrebne kvalitete vode DH sistema je naprava za mehčanje vode, uporaba filtra, in dodajanje kemikalij. Uporaba obratne osmoze običajno ni potrebna, je precej draga in lahko povzroči težave pri delovanju.

Plastične cevi (na primer pri talnem ogrevanju), lahko povzročijo oksigenacijo in nastanek blata. To lahko poškoduje DH omrežje. To je razlog, zakaj je smiselna uporaba toplotnih izmenjevalnikov (posredni sistem), za ločevanje sistema. DH omrežja brez visoke stopnje uhajanja vode običajno nimajo težav s kisikom (rja).

Na DH istemu je potrebno namestiti 5 mikro meterski filter in obvod ter črpalke, kot je prikazano na sliki 54.



Slika 54: Črpalka z filtrom in obvodom (Vir: Güssing Energy Technologies)

Poleg tega bi bilo dobro namestiti v filter magnet, da odstranimo magnetit iz vode. Magnetit lahko uniči črpalke.

Kemična dodatek (npr. IWO VAP 25 FW) se lahko uporabi za vezavo ogljikove kisline in kisika v vodi. Pri tem nastane zaščitni sloj, ki pokrije cevi. Vezano blato se pri tem sprosti in odstrani na filtru.

Vzdrževanje se običajno opravi enkrat na leto, zunanje podjetje preveri kakovosti vode, mehčanje vode, dozirno napravo za kemikalije in filtre.

## 5.5 Priklop odjemalcev

Omrežje daljinskega ogrevanja transportira ogrevalni medij do odjemalcev ter transportira ohlajen medij nazaj do toplarne. Za prenos toplote so odjemalci neposredno ali posredno (preko toplotnih izmenjevalnikov) povezani z omrežjem. Povezovalna točka se lahko definira s tehničnega vidika kot tudi iz pravnega vidika. Ponavadi, centralno ogrevanje stavbe pripada

<sup>13</sup> This section is based on Kotlan (2016)

(pravno) lastniku stavbe, medtem ko DH omrežje pripada upravljavcu omrežja. Toplota postaja je lahko v lasti lastnika stavbe ali lastnika omrežja, odvisno od poslovnih modelov in pogodb.

### 5.5.1 Toplotne podpostaje

Toplota podpostaja je naprava, ki prenaša toploto iz DH omrežja do odjemalcev. Običajno so hiše povezane z daljinskim omrežjem (Avstrija, Nemčija) s pomočjo toplotnega izmenjevalnika (posredni sistem). Ta oprema se nahaja v toplotni podpostaji v hišah, kot je prikazano na sliki 55. Na Danskem se pogosto uporablja neposredna sistem, brez uporabe toplotni izmenjevalnikov.



**Slika 55:** Toplotne podpostaje z toplotnim izmenjevalcem, kontrolno enoto, ventili in toplotnim števcem (levo) (Vir: Güssing Energy Technologies) in toplotna podpostaja (vključuje toplotni izmenjevalec) v Achental, Germany (Vir: Rutz)

Toplotne postaje so običajno sestavljene iz toplotnega izmenjevalnika (posredni sistem), kontrolne enote za regulacijo temperature dovoda za hišo, motoriziranega ventila in merilnika toplote. Uporaba uravnoteženih motoriziranih ventilov je standard, da bi se zagotovilo nižje nihanje in da se določi največji pretok, ko je ventil popolnoma odprt. S to prilagoditvijo, je mogoče omejiti pretoka (toplotno moč) toplote postaje do pogodbeno zajamčene vrednosti.

Glede na zakonodajo, je morda potrebno namestiti uradno kalibriran toplotni števec. Merilnik toplotne energije se kalibrira periodično. Ponavadi so stroški ogrevanja sestavljeni iz stroškov za uporabljeno toploto (€/kWh), potrebne toplote za maksimalno obremenitev (€/kW na mesec), in stroškov merjenja (€/a).

Nadzorni sistem (temperatura, odpiranje ventila in količina porabe toplote), je danes standardna. To se doseže bus-sistemom za vse podpostaje. Ta nadzorni sistem se lahko uporablja tudi za regulacijo diferenčnega tlaka v glavni črpalki DH sistema. Poleg tega, spremljanje pomaga prepoznati stranke z visoko temperaturo povratka in se lahko izvedejo ustrezne sankcije.

Prednost posrednega sistema je, da sta voda daljinskega ogrevanja in ogrevalna voda odjemalca ločeni in ne pride do oksigenacija iz plastičnih cevi odjemalcev, ki lahko poškoduje DH mrežo.

### 5.5.2 Ogrevalni sistemi objektov

Ogrevalni sistem objekta je potrebno prilagoditi, da bi povečali skupno učinkovitost sistema daljinskega ogrevanja. Vodila glede podpostaj izdaja Euroheat & Power (2008).

Hidravlična napeljava v stavbi potrošnika bi morali omogočiti nizke temperature povrata v DH omrežje. Če so povratne temperature previsoke, lahko pri odjemalcu izvedemo spremembe nekaterih delov. To je treba vključiti tudi v pogodbe.

Potrošniki običajno uporabljajo radiatorje, talno ogrevanje, stensko ogrevanje za distribucijo toplote v sobe. Radiatorji potrebujejo višjo temperaturo kot drugi ogrevalni sistemi (velike površine). Tla, stene in ogrevanje s stropom omogočajo v nižje temperature povrata v omrežje in znižajo stroške črpanja.

Če se v objektih uporabijo plastične cevi za ogrevanje, je potrebna posredna povezava odjemalcev (toplotni izmenjevalnik), da se prepreči oksigenacija in kopičenje blata v DH omrežju.

### 5.5.3 Sanitarna topla voda

Poleg ogrevanja prostorov, se lahko toplota iz DH omrežja uporabi tudi za pripravo sanitarne tople vode (STV). V večini ogrevalnih omrežij v Nemčiji ali na Danskem je dobava toplote za pripravo STV sestavni del storitve. V nekaterih drugih državah, zlasti v južni Evropi DH omrežja delujejo le v zimskem času, in ne opravljajo storitve oskrbe s STV. V tem primeru je potrebna druga oprema za pripravo sanitarne tople vode.

Priprava in zagotavljanje sanitarne vode mora zagotavljati zdravstveno varnost. Patogeni, kot so bakterije in legionele (okvir 6), lahko povzročijo zdravstvene težave. Njihov pojav ni poseben problem, povezan samo s sistemom daljinskega ogrevanja, saj se lahko pojavijo v vseh sistemih s toplo vodo. Onesnaženje z legionelo se lahko zgodi v gospodinjstvu v sistemu ogrevanja in distribucije toplote, se pravi v sistemu vodnih cevi pitne vode in hranilniku. Lastnik sistema za pripravo STV je odgovoren za zagotavljanje zdravstvene varnosti.

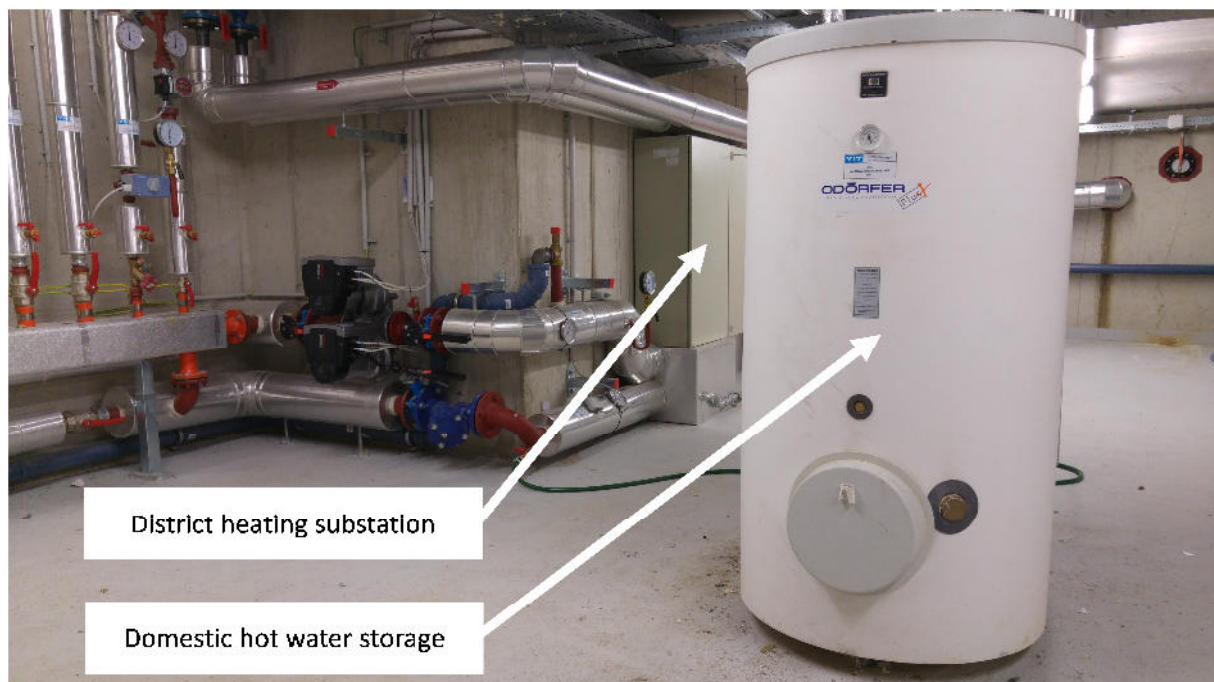
## Okvir 6: Kaj je Legionela?

Legionela je patogena skupina Gram-negativne bakterije, ki vključuje vrsto *L. pneumophila*, ki povzročajo legionelozo, ki vključuje vse bolezni, ki jih povzroča legionela. To vključuje tudi bolezen tipa pljučnice imenovano Legionarska bolezen in blagi gripi podobno bolezen imenovano Pontiac mrzlica. Bakterija se ne prenaša z osebe na osebo in veliko ljudi, ki so izpostavljeni bakterije ne zbolijo. Legionela se lahko pojavi pri domačih vodnih sistemih, praviloma v majhni koncentraciji. Povečevanjem koncentracije predstavlja tveganje za zdravje. Okužmo se prek vdihavanja razpršene vode, onesnažene z legionelo - torej ne iz pitne vode, ampak iz npr. prhe.

Svetovna zdravstvena organizacija (WHO, 2007) navaja sledeče vplive temperature na preživetje legionele:

- Nad 70 °C Legionella umre skoraj v trenutku
- Pri 60 °C 90% umre v 2 minutah (decimalni čas redukcije (D) = 2 minuti)
- Pri 50 °C 90% umre v 80-124 minut, odvisno od seva (decimalni čas redukcije (D) = 80-124 minut)
- 48-50 °C lahko preživijo, vendar ne razmnožujejo
- 32 do 42 °C idealno območje rasti
- 25 do 45 °C območje rasti
- Pod 20 °C lahko preživi, tudi pod lediščem, vendar so v mirujočem stanju

V sistem sanitarne tople vode, mora biti raven temperature biti dovolj visoka, da se prepreči razmnoževanje. Obstajajo različne tehnične aplikacije za preprečevanje rasti legionele.



Slika 56: Primer rezervoarja, zalagovnika za STV (Vir: Güssing Energy Technologies)

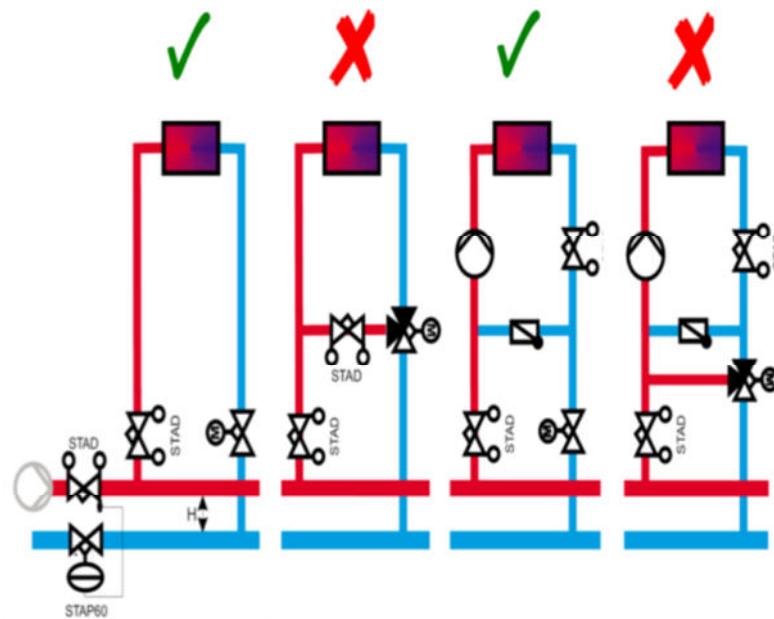
#### 5.5.4 Povezava sistema daljinskega ogrevanja in sistema porabnika

Ogrevni sistem porabnika mora biti priključen na sistem daljinskega ogrevanja na učinkovit način. Hidravlični sistem na strani porabnika mora biti dobro prilagojen. Sistem potrošnika ne bi smel dvigniti temperature povratka sistema daljinskega ogrevanja. To pomeni, da dotok ogrevanja porabnika ne sme biti direktno meša s povratnim tokom.

Slika 57 predstavlja primerne in neprimerne primere hidravličnih distribucijskih sistemov, ki se uporabljajo na strani potrošnika. Praktične izkušnje kažejo, da je tretji sistem najpogostejši sistem, ki je enostaven za načrtovanje in ki deluje brez hidravličnih problemov. Pri priključitvi hidravličnega sistema potrošnika v sistem DH poskusimo zagotoviti priklop v skladu s prakso iz slike 57. Če sistem ni primeren, ga je treba spremeniti. Poleg tega je treba paziti, da sistemi, vključno z izmenjevalnikom toplote, cevmi, ventili in motorizirani ventili niso predimenzionirani.

Slika 58 prikazuje primer distribucije toplote na strani potrošnikov za poslovno stavbo, ki je oskrbovana s toploto iz daljinskega ogrevanja.

Pogosto, imajo porabniki že nameščene sončne ogrevalne sisteme na svojih stavbah, ko se načrtuje priklop na DH omrežje. Integracija teh sončnih kolektorjev je odvisna od različnih vidikov, kot so vrsta, velikost in starost sončnega sistema. Če so sončni kolektorji nameščeni na stavbi potrošnika, jih je treba praviloma uporabiti za pripravo tople sanitarne vode. Če je bilo načrtovano tako, da se vključijo v ogrevalni sistem, je treba uporabiti rezervoar za shranjevanje- zalogovnik. Solarni sistem lahko oskrbuje zalogovnik toplote in če je temperatura prenizka, lahko toplota DH omrežja poskrbi za vzdrževanje zelene temperature.



Slika 57: Hidravlična distribucija primerna za DH sisteme na strani porabnika (Vir: Güssing Energy Technologies, based on Tour & Andersson Ges.m.b.H., 2005)





Slika 58: Distribucija toplote v obratu, ki ga oskrbuje DH sistem (Vir: Güssing Energy Technologies)

## 6 Načrtovanje manjših sistemov daljinskega ogrevanja

Načrtovanje manjših sistemov daljinskega ogrevanja, je ključnega pomena, saj določa splošno uspešnost, učinkovitost in gospodarnost omrežja. Sistem mora upoštevati trenutne potrebe toplote, pa tudi prihodnje razširitve ali, v primeru velikih prenovah stavb, zmanjšanje odjema. Prav tako je treba omogočiti modularnost, tako da se potrošniki, ki ne želijo biti povezani v tem trenutku, lahko še vedno povežejo v prihodnosti.

Za zelo majhne sisteme lahko načrtovanje izvedejo pobudniki projekta, tudi če nimajo tehnične izobrazbe. To je mogoče storiti v sodelovanju s proizvajalcem cevodov, ki pogosto zagotavljajo osnovna orodja za načrtovanje za svoje sisteme. Več obstoječih projektov kaže, da lahko takšni sistemi delujejo zelo dobro. Vendar pa je strokovno sodelovanje s podjetjem, ki se ukvarja z načrtovanjem DH sistemov zelo priporočljivo, še posebej, če pobudniki projekta ne premorejo nobenega tehničnega znanja. To velja še posebej za bolj kompleksne sisteme, ki vključujejo več virov ogrevanja.

### 6.1 Ocena potreb

Pomemben predpogoj za načrtovanje vročevodnega omrežja je dobra zbirka podatkov o ogrevalnih potrebah porabnikov, ki bodo priključeni na sistem. Poleg trenutnih potreb je prav tako treba oceniti prihodnje povpraševanje po toploti. Pravilnost podatkov lahko bistveno vpliva na gospodarnost projekta. Za oceno potreb po ogrevanju, se lahko uporabi več virov podatkov.

- Meteorološki podatki o regiji
- Zemljevidi s standardom stavbe (izolacija) hiš
- Načrti energetskega organov/agencij
- Raziskava med potencialnimi potrošniki
- Preiskava na kraju samem

Če definirano širše območje, kjer je treba povezati porabnike, se lahko izvede bolj podrobno načrtovanje. Idealno je če je mogoče tudi definirati lokacija za toplarno. Zemljevidi so potrebni za prve korake načrtovanja. Če so potencialni odjemalci locirani na zemljevidu, je mogoče pripraviti prvi osnutek izrisa DH omrežja. Tako je če mogoče oceniti dolžino cevodov. To je mogoče povezati z informacijami o vrstah stavb, toplotnimi potrebami glede na vrsto stavb ali starost stavb.

Po pripravljalnem delu, je potrebno oceniti potrebe vsakega potencialnega zasebnega, javnega ali komercialnega (industrija) odjemalca. To lahko pridobimo z vprašalnikom, ki naj vključuje:

- Naslov kupca, za lokacijo na zemljevidu
- Obstoječi sistem ogrevanja (npr nafta, plin, les, električni grelci)
- Dodatno ogrevanje objektov (npr posamezne peči, električni grelci)
- Ogrevani prostor stavbi v m<sup>2</sup> (na primer 110 m<sup>2</sup> ogrevane površine)
- Obstoj energetskih izkaznic in podatki le-teh
- Izolacija objekta (npr 10 cm toplotne izolacije)
- Načrtovana obnova zgradb
- Letna potreba po energiji za ogrevanje (npr 14 m<sup>3</sup> trdega lesa; 2100 litrov kurilnega olja, 2.700 m<sup>3</sup> zemeljskega plina; 18.000 kWh električne energije)
- Vrsta priprave sanitarne tople vode (npr električni kotel, centralni ogrevalni sistem)

- Število ljudi, ki živijo v gospodinjstvu za oceno energije za pripravo tople sanitarne vode
- Vrsta sistema ogrevanja v stavbi (npr radiator, talno ogrevanje, stensko ogrevanje)
- Obnašanje ponočni / podnevi
- Potrebno maksimalno temperaturo za ogrevalni sistem

Drug način ocenjevanja porabe toplote se lahko naredi s preverjanjem preteklih računov za ogrevanje. Priporočljivo je, da preverite račune za več preteklih let. Ta metoda je primerna predvsem, če se bo povezalo le nekaj porabnikov in so potrebe po toploti majhne (Rutz et al. 2015).

Najbolj zanesljiva metoda za oceno toplotnih potreb, je z merjenjem, kar je nujno predvsem za večje porabnike. Merjenje je lahko izvedeno na uro, dan ali mesečno. V obstoječih večjih objektih, sistemi ogrevanja pogosto že vključujejo nadzor, od koder se zlahka pridobijo podatki o potrebah (Rutz et al. 2015).

### 6.1.1 Toplotne potrebe objektov

Ko so podatki potencialnih odjemalcev zbrani, se lahko izračuna celotna poraba toplote. Tako se lahko izračunajo teoretične kapacitete za omrežje, v katerem bi bili priključeni vsi potencialni porabniki. Drugi izračun lahko vključuje samo potrošnike, ki so že izrazili pripravljenost za povezavo v omrežje. Ti izračuni lahko pomagajo, da se določi, ali je projekt izvedljiv (a) s potrošniki, ki so že izrazili pripravljenost za povezavo, ali (b) samo z dodatnimi odjemalci, ki še morebiti niso izrazili svojo pripravljenost.

Izračun toplotnih potreb celotnega omrežja se izvede z dodajanjem potrebo po toploti vseh potencialnih potrošnikov. Pri izračunih je potrebno upoštevati specifično vsebnost energije pri sedanjem individualnem ogrevalnem sistemu, pa tudi učinkovitost obstoječega ogrevalnega sistema. Nekateri primeri so prikazani v tabeli 6.

**Table 6: Primeri ocene toplotnih potreb treh različnih odjemalcev**

Porabnik No.	Letna poraba	Specifična energetska vrednost	Letna učinkovitost	Letne potrebe za DH omrežje
1	14 m <sup>3</sup> lesa	946 kWh/m <sup>3</sup> 25% vsebnost vode	65%	8,608 kWh
2	2,100 l ELKO	10 kWh/l	75%	15,750 kWh
3	2,700 m <sup>3</sup> plina	10 kWh/m <sup>3</sup>	80%	21,600 kWh

### 6.1.2 Vršne potrebe objektov

Največja obremenitev se lahko oceni na osnovi letnega števila polnih obratovalnih ur. Število polnih obratovalnih ur opisuje izračunano količino ur v enem letu, ko sistem ogrevanja deluje s polno zmogljivostjo.

Za ogrevanje, vključno s pripravo tople sanitarne vode, je potrebnih približno 1.600 polni obratovalnih ur pri povprečnih razmerah v Avstriji. Samo za ogrevanje je v Avstriji potrebno približno 1.400 ur. Vrednost števila polnih obratovalnih ur za ogrevanje je odvisna od vremenskih razmer, kot tudi na stanja učinkovitosti sistema in izolacije stavb. Tako so lahko vrednosti v drugih državah drugačne.

Drug izraz uporabljan v tem kontekstu je faktor izkoriščenosti, ki opisuje razmerje med dejanskim outputom v določenem obdobju in potencialnim obsegom proizvodnje, če bi bilo mogoče, da sistem deluje s polno zmogljivostjo ves čas.

Ob letnih vrednostih porabe toplote iz tabele 6, so vršne potrebe prikazane v tabeli 7.

**Table 7: Primeri izračuna vršnih potreb**

Odjemalec	Letne potrebe za DH omrežje	Proizvodnja STV	Ocena števila polnih obratovalnih ur	Potrebna vršna kapaciteta
1	8,608 kWh	Da	1,600 h/a	5.4 kW
2	15,750 kWh	Ne	1,400 h/a	11.3 kW
3	21,600 kWh	Da	1,600 h/a	13.5 kW

Za izračun energetske porabe stavb se uporablja standard EN ISO 13790: 2008-09 o "energetski učinkovitosti stavb - Izračun rabe energije za ogrevanje in hlajenje". Ta standard določa metodo za določanje letne porabe energije za ogrevanje in hlajenje stavb (stanovanjskih ali nestanovanjskih) ali dele njih.

Pogosto je precej velika razlika med temi izračunani in obstoječimi obremenitvami kotlov v gospodinjstvih. To je pokazatelj, da je obstoječi sistem ogrevanja prevelik.

Največja obremenitev na DH omrežju mora vključevati faktor istočasnosti, ki je odvisen od števila odjemalcev in od dejstva ali so odjemalci namestili lokalne rezervoarje ali samo toplotne izmenjevalnike. Mogoče je uporabiti tudi izklop nočnih zastojev za nižanje koničnih obremenitev DH omrežja. S tem se nekoliko poveča splošna potreba po toploti, vendar pa se zmanjša maksimalna obremenitev, ki je tudi povezana z najvišjimi stroški. Vendar pa ta metoda tudi poveča udobje kupcev.

### 6.1.3 Toplotne potrebe industrije

Toplotne potrebe industrije so odvisne od različnih dejavnikov, vključno z velikostjo in profila proizvodnje industrije. Ni standardne ocene toplotnih potreb v industriji. Nekatere industrije so spremljajo podatke o porabi toplote. Te podatke je mogoče uporabiti za oceno porabe toplote za sistem DH. Če podatki niso na voljo, jih je treba izmeriti.

Treba je ugotoviti, porabo toplote, vršne obremenitve in dnevne/sezonske obremenitve, kot tudi zahtevano temperaturo. Potrošniki z visokimi nihanjem porabe so je lahko izziv za kotle (npr. kotle na biomaso) iz toplarne in masni pretok DH omrežja. Hidravlično shema je treba pregledati in po potrebi prilagoditi, da bi se izognili visokim temperaturam povrata.

Potrebno je vložiti prizadevanja za pridobivanje podatkov industrijskih porabnikov za manj težav kasneje, med delovanjem DH sistema.

## 6.2 Načrtovanje omrežja DH sistema

Ko se oceni energetske potrebe, je treba podatke analizirati in dodati morebitne dodatne informacije. Naslednji korak je izris zemljevidov, izračun delež pokritosti in gostoto toplote, kot tudi dimenzioniranje omrežja. Vse to je opisano v naslednjih poglavjih.

### 6.2.1 Zemljevid omrežja

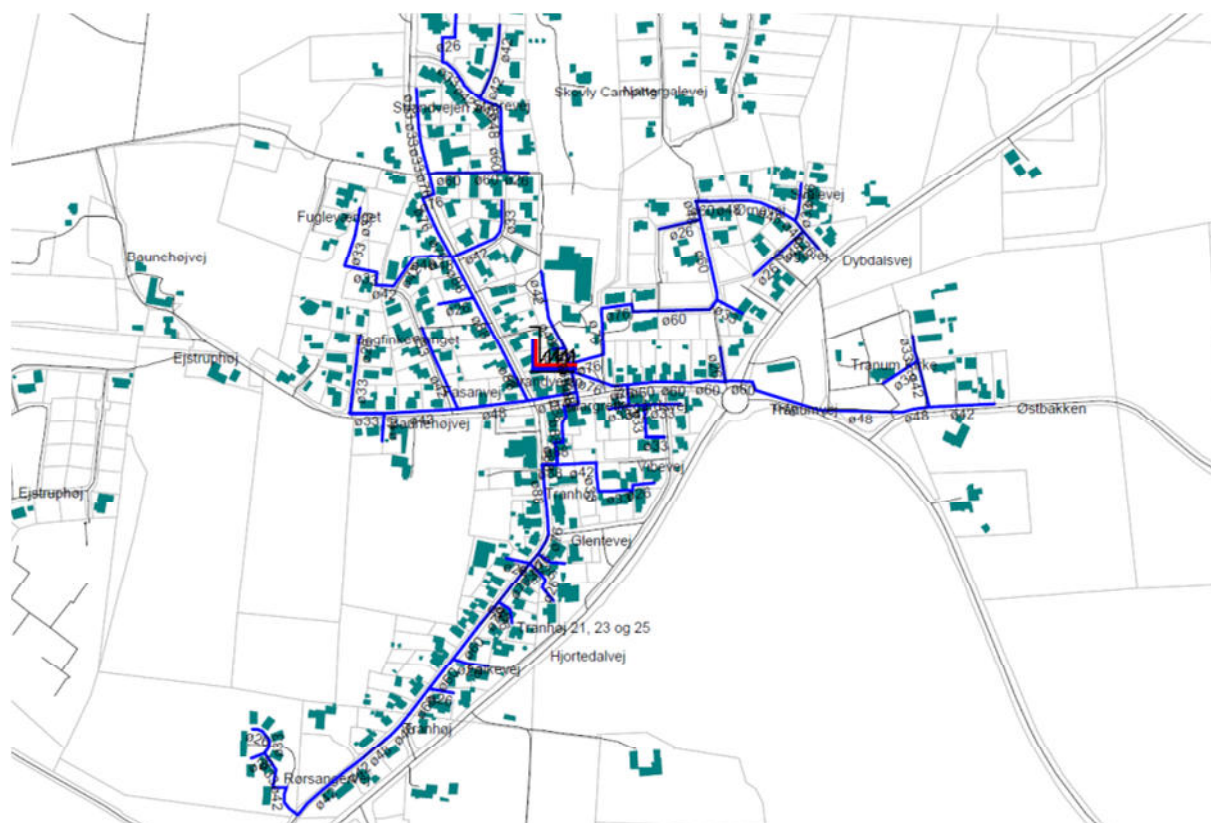
Po prvih ocenah na potrebo po toploti, je potrebno ogrevalno omrežje oblikovati. To mora vključevati konkretno načrtovanje cevne sistema z uporabo zemljevidov. Kot prvi korak, se lahko uporabi spletna kot je Google Earth kje je mogoče meriti razdalje.

S čimer se lahko razišče različne možnosti glede velikosti sistema in katere odjemalce bomo povezali. Odvisno od temperature, razdalje in faktorja gostote toplote, nekateri potencialni uporabniki ne morejo biti povezani, da bi povečali izvedljivost sistema. Po drugi strani pa je lahko priporočljivo v nekaterih posebnih primerih povezati tudi potrošnike, za katere je povezava s tehničnega vidika vprašljiva. To se lahko zgodi na primer, če je treba povezati pobudnike/podpornike, posebne industrije ali druge pomembne porabnike, ki so ključni akterji za izvedbo celotnega projekta.

Na koncu je potrebno definirati eno ali več možnih lokacij za toplarno. Iz tehničnega vidika bi morale biti razdalje od toplarne do porabnikov kar se da majhne. Iz socialnega vidika pa to pogosto ni mogoče.

Po osnovni zasnovi omrežja se lahko uporabijo napredna orodja za detajlno načrtovanje omrežja. To je mogoče narediti z profesionalno opremo kot je Termis. Primer načrtovanja omrežja z orodjem Termis je prikazan na sliki 59.





Slika 59: Primer omrežja daljinskega ogrevanja simulacija z orodjem Termis (Vir: PlanEnergi)

### 6.2.2 Stopnja priključitve in gostota odjema

Količina toplotnih potreb je povezana s številom odjemalcev, priključenih na omrežje. Zato je stopnja priključitve ključni parameter, ki vpliva na gostoto odjema. Stopnja priključitve je število priključenih potrošnikov v odnosu do potencialnih potrošnikov. Stopnja priključitve ni kazalnik absolutne porazdelitve toplote. Zato je gostota odjema boljši kazalnik.

Gostota odjema (glej poglavje 5.1), je pomembna značilnost DH omrežja, ki se lahko uporablja kot kazalnik ekonomske izvedljivosti projekta. Na splošno velja, višja gostota odjema, večja je ekonomska izvedljivost sistema. Gostota odjema se lahko nanaša bodisi na območje površine področja priklopa ali dolžino omrežja (gostota odjema).

Gostota odjema na območje priklopa je letno dobavljena količina toplote v mreži daljinskega ogrevanja, deljena s površino priključenega naselja.

$$\text{Heat density} = \frac{\text{Annual heat consumption [MWh/a]}}{\text{Area of the connected settlement [ha]}} \quad \text{Equation 4}$$

Območje naselja ima značilno gostoto stavb in njihovega statusa energetske učinkovitosti. Gostota zgradb v naselju je opredeljena z razmerjem površine območja in površine stavb. Razmerje gostota stavb v Nemčiji npr 0.2 za eno gospodinjstvo hišo v vasi in 1,5 za večstanovanjske stavbe v mestnem naselju do 2,4 za večnadstropne stavbe, v centru mesta. Gostota odjema na območju poselitve se lahko razlikujejo od 60 MWh/ha/a za pasivne hiše naselja v podeželskem okolju do 3.600 MWh/ha/a za slabo izolirano področje priklopa v centru mesta. DH omrežja so običajno ekonomsko izvedljiva pri gostoti odjema višji od 150 do 300 MWh/ha/a (Von Hertle et al. 2015).

Gostota odjema (= gostota toplote dolžino omrežja, imenovana tudi linearna gostota toplote) je letno dobavljena toplota omrežju, deljena s dolžino omrežja. Pri čimer je dolžina omrežja le dolžina cevi dotoka.

$$\text{Grid density} = \frac{\text{Annual heat consumption [kWh/a]}}{\text{Length of the pipeline of the DH grid [m]}} \quad \text{Equation 5}$$

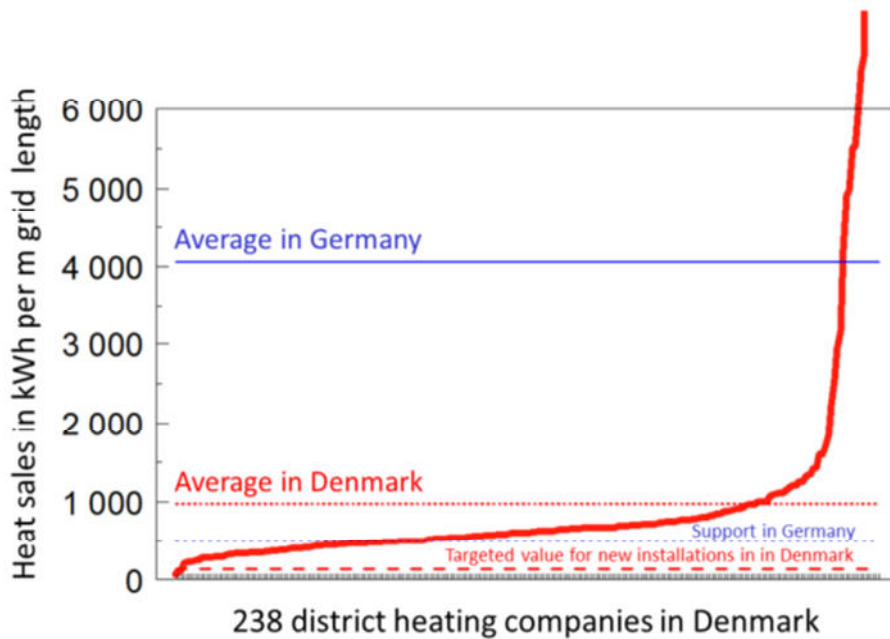
To lahko ilustriramo na primeru, v katerem je ocena letnih potreb po toploti za DH omrežje 638.000 kWh na leto. Prvi osnutek DH omrežja na zemljevidih odraža 570 m cevovoda (dolžina jarka; 570 m dotok v cevi in 570 m povratek). Z enačbo v enačbi 5 znaša gostota odjema 1.119 kWh / m na leto.

Ta faktor gostote odjema je ključna vrednost ocene gospodarnosti projekta. Cilj mora biti dobav velike količine toplote na omrežje s kratko dolžino. Vendar pa je izvedljivost vedno odvisna od namenskih okvirnih pogojev. Izvedljivost je tudi pod vplivom cene toplote, temperature in s tem povezanih izgub v omrežju, in od drugih dejavnikov. V odvisnosti od teh dejavnikov, veljajo osnovna pravila za najmanjše vrednosti gostote odjema za ekonomsko izvedljivost projektov v različnih mestih in državah.

Na primer, kot splošno priporočilo v Avstriji, naj bi bila obremenitev omrežja vsaj 900 kWh/m na leto, da bi bil projekt izvedljiv. Če je manj kot 900 kWh/m na leto, je morda možnost, da se ne poveže kupcev z nizko porabo toplote in dolgimi povezovalnimi cevovodi.

V Nemčiji, podpore za neposredne naložbe v manjša ogrevalna omrežja zahtevajo minimalno gostoto odjema najmanj 500 kWh/m, za pridobitev podpore. Srednja gostota odjema za sisteme daljinskega ogrevanja v Nemčiji je 4.000 kWh/m/a (Nast et al. 2009). To ne zajema le manjših ogrevalnih omrežij, temveč tudi velike projekte. Temelji na podatkih pred letom 2009 in le ti so se lahko spremenili v vmesnem času z uvedbo številnih manjših ogrevalnih omrežij.

Na Danskem je srednje gostote omrežja 1.000 kWh/m/a. Obstajajo različna omrežja na Danskem z gostoto odjema pod 500 kWh/m/a. Minimalna vrednost za ekonomsko smiselnost omrežja je na Danskem precej nižja kot recimo v Nemčiji (220 kWh/m/a). Ta razlika med Dansko in Nemčijo, je posledica dejstva, da so mreže daljinskega ogrevanja na Danskem pogosto delujejo pri nižjih temperaturah kot v Nemčiji. (Nast et al. 2009)



Slika 60: Prodana toplota na dolžino omrežja 238 danskih sistemov daljinskega ogrevanja vključujoč povprečje za Dansko in Nemčijo (Vir: Michael Nast, Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.)

### 6.2.3 Dimenzioniranje omrežja

Pomembna značilnost sistema DH je zahtevana raven temperature (glej poglavje 5.2), ki jo potrebujejo porabniki. Pri tem je treba upoštevati sezonskost storitev ogrevanja. Temperature sistema se lahko razlikujejo glede na zimsko ali poletno obratovanje.

Čeprav so sodobni sistemi daljinskega ogrevanja zelo učinkoviti, so toplotne izgube. Izgube je treba ohraniti čim nižje, vendar morajo ocene vedno upoštevati kompromis med izgubami in stroški za izogibanje izgubam. Izgube je treba oceniti, da se določi zahtevano temperaturo dovoda. To bo vplivalo na izbor generatorjev toplote, vključno s kotli za vršne obremenitve. Naslednji parametri vplivajo na izgube toplote v sistemu daljinskega ogrevanja (Rutz et al. 2015).

- Dolžina cevne sistema
- Izolacija cevi
- Tip zemlje
- Debelina pokrova tal nad cevi
- Količina, pretok in temperature vode/medija
- Predvidena temperaturna razlika pri končnem toplotnem izmenjevalniku
- Število toplotnih izmenjevalnikov, ki so priključeni zaporedno

Obstajajo različni načini za prikaz toplotnih izgub sistema daljinskega ogrevanja (Wiese 2007):

- Temperaturna razlika med dovodom in povratom
- Relativna številka ali odstotek toplotnih izgub
- Absolutne številke toplotnih izgub v W/m, kWh/m, kWh/a

Relativne izgube mreže lahko izračunamo, kot je prikazano v enačbi 6 in enačbi 7, kjer je treba razlikovati med izgubami celotnih toplotnih potreb (koliko energije porabniki potrebujejo) in izgubami v celotni dobavi energije (toplota injicirana v omrežje). To razlikovanje je pomembno, saj v nekaterih primerih zakonodaja lahko podpira samo ogrevalna omrežja z izgubami pod pragom bodisi enega ali drugega izračuna. Na primer, bonus CHP v Nemčiji zahteva izgube nižje od 25%, od toplotnih potreb.

Značilne relativne izgube omrežja so v območju od 15-20% toplote. Izguba se lahko zmanjša na približno 7% v velikih sistemih kot npr. v širšem Kopenhagnu na Danskem. Lahko so tudi do 50% pri sistemih z zelo slabimi pogoji (danska agencije za energijo in Energinet.dk, 2015). V nekaterih sistemih, so lahko izgube toplote tako nizko kot 2% dobavljene energije.

$$\text{Network heat losses [\%]} = \frac{\text{Heat supply [kWh/a]} - \text{Heat demand [kWh/a]}}{\text{Heat demand [kWh/a]}} \quad \text{Equation 6}$$

$$\text{Network heat losses [\%]} = \frac{\text{Heat supply [kWh/a]} - \text{Heat demand [kWh/a]}}{\text{Heat supply [kWh/a]}} \quad \text{Equation 7}$$

Potrebno je tudi definirati tok toplotnega transportnega medija (na primer v m<sup>3</sup>/s), kot tudi nivo tlaka (npr v barih) in padec tlaka.

Hidravlični izračuni so potrebni za določitev dimenzije različnih cevi v sistemu daljinskega ogrevanja. Za to lahko uporabimo različne simulacijske programe, kot npr Termis. Ponavadi so potrebni naslednji vnosi za zagon hidravličnih simulacijska orodja:

- Zemljevidi; ceste, zgradbe, višin krivulje, itd
- Katalog cevi; mogoče dimenzije, toplotne izgube, itd
- Obveščanje porabnikov; povpraševanje, temperaturna razlika
- Robni pogoji; Temperatura, tlakov, hitrost toka, itd

Odvisno od programa je lahko potrebnih več informacij, pa tudi odvisno od podrobnosti projekta in projektnih okoliščin.

Pri oblikovanju mreže, so dimenzije običajno zasnovane za zimske obremenitve, vendar je pomembno, da se preveri kapacitete tudi za poletne obremenitve, ker lahko pride do šibke točke v omrežju z zelo nizkim tlakom in pretokom. Na splošno je treba omrežje zasnovati z najmanjšimi možnimi dimenzijami, da bi zmanjšali izgube. Vendar pa se lahko upoštevajo tudi morebitne prihodnje razširitve omrežja.

Možno je, da deluje omrežje daljinskega ogrevanja z nižjimi temperaturami v poletnem obdobju, s čemer se poveča učinkovitost vročevodnega omrežja. V nekaterih primerih bi bilo mogoče zapreti operacijo za kratek čas, da bi se izognili visokim toplotnim izgubam. Vendar pa je to odvisno specifik projekta. Na primer, da je ni mogoče ustaviti delovanja omrežja, če pogodba s odjemalcem zagotavlja tudi dobavo toplote za domačo zagotavljanje STV.

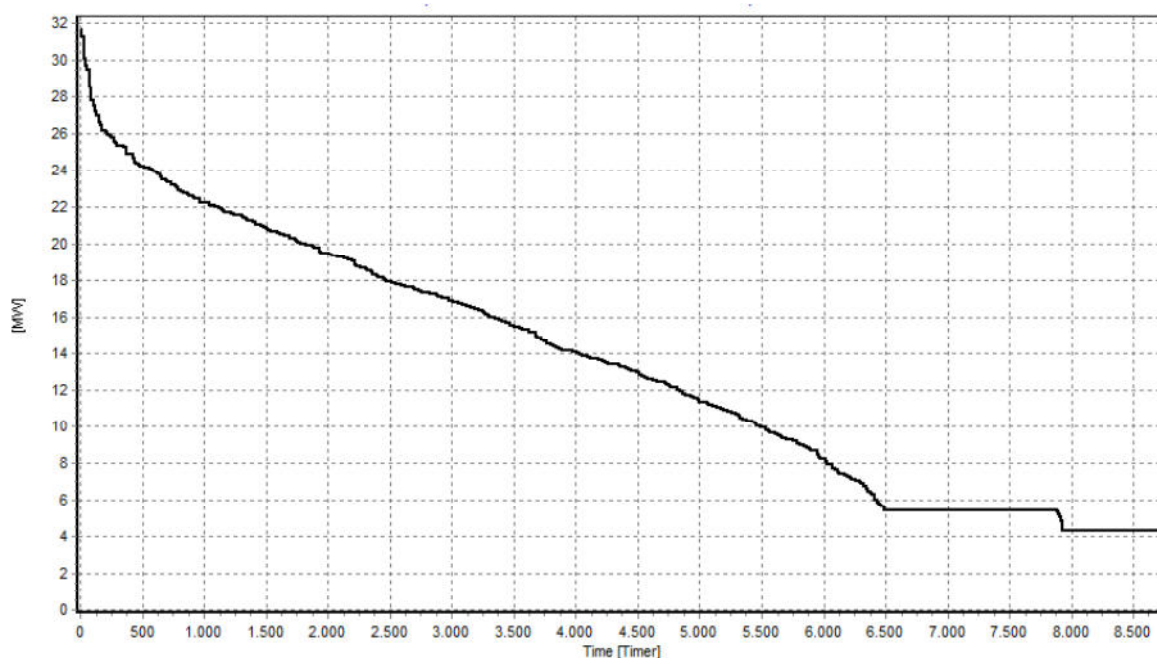
## 6.3 Zasnova toplarne

### 6.3.1 Krivulja toplotnih potreb

Spreminjanje toplotnih potreb v sezoni je ključni podatek iz analiz toplote. Izdelava krivulje obremenitve omogoča pregled sprememb toplotnih potreb. Poleg tega pomaga določiti zmogljivost potrebnih grelnih enot.

Primer krivulje toplotnih potreb za obrat na Danskem je prikazan na sliki 61, ki odraža MW za dano uro leta. Z uporabo krivulje je mogoče dobiti pregled obremenitev v času z vršnimi obremenitvami, vmesno obremenitev in osnovno obremenitvijo. V danem primeru lahko maksimalna obremenitev znaša npr. 1400 - 2800 ur, vmesna obremenitev 2.800 - 6.000 ur in osnovno obremenitev vseh 8,670 ur v letu.

Pri tem je potrebno upoštevati najnižje temperature na lokaciji, saj vplivajo na obseg in trajanje največje obremenitve, kot tudi največjo zmogljivost vgrajenega ogrevalnega sistema. Podatki o podnebnih spremembah so pogosto na voljo pri javnih meteoroloških institucijah. Podnebni podatki se uporabljajo skupaj s podatki stavb (tip stavbe in oblike, raven izolacije, velikost okenskih površin, in namen stavbe), toplotnih potreb in sezonskih specifikacij sistema daljinskega ogrevanja . (Rutz et al. 2015)



Slika 61: Primer krivulje toplotnih potreb, Danska (Vir: PlanEnergi)

### 6.3.2 Dimenzioniranje enot

Poleg ocene potreb in načrtovanje omrežja, mora biti načrtovana tudi stran generiranja toplote. Na strani dobave je nameščenih ena ali več ogrevalnih enot, ki oskrbujejo omrežje s toploto. Pametna kombinacija različnih tehnologij ogrevanja je pomembna značilnost manjših sistemov daljinskega ogrevanja, ki se upravlja z OVE, kot so sončna toplotna energija. Nekatere kombinacije manjših modularnih tehnologij za ogrevanje, so predstavljene kot primeri prikazanih shem, Slika 63, Slika 64 in Slika 65.

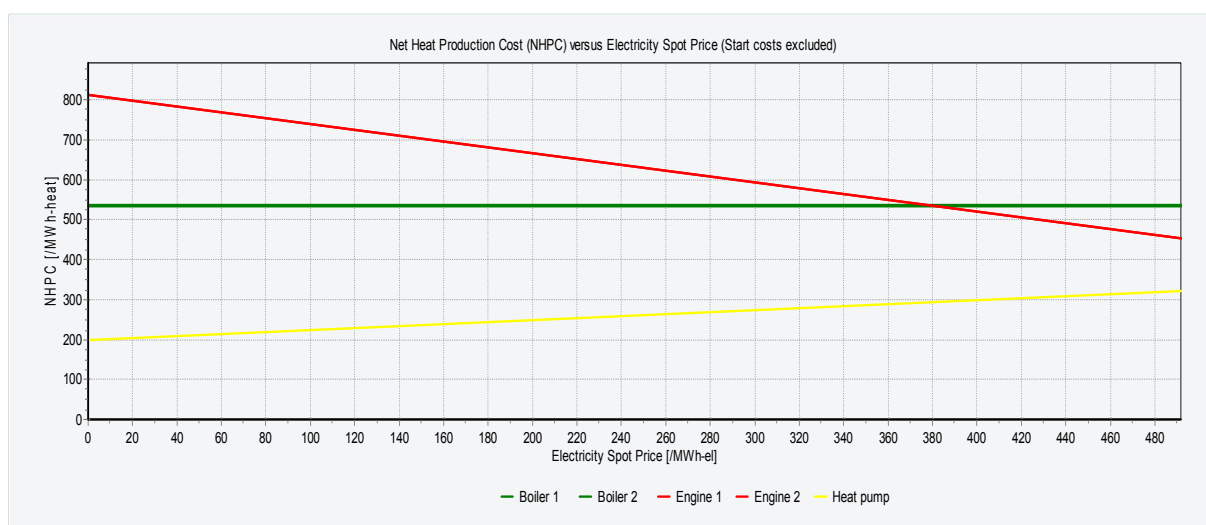


Argument za združevanje več tehnologij, je, da bo sistem bolj robusten v smislu zanesljivosti oskrbe. Kaskadna raba različnih individualnih kurišč vodi v splošno zelo stabilen sistem.

Kombinirani sistem omogoča tudi premik glavne proizvodnje toplote do proizvodnih tehnologij, ki so poceni, kot je sončna energija, pri čemer se delovanje dragih enot lahko zmanjša. Tudi velikost vršnih enot se tako lahko zmanjša. Poleg tega se lahko delovanje enot prilagodi glede na trenutne cene goriva. Na primer, veliko takšnih sistemov na Danskem vključuje kotle na biomaso ali plin, kot tudi električne bojlerje. V primeru, da je trenutna cena električne energije zelo nizka ali celo negativna, se lahko vključi električni kotel. Nekaj primerov, kako je mogoče kombinirati različne tehnologije in vire, je mogoče pridobiti iz CoolHeating poročila dobrih praks (Laurberg Jensen na al. 2016).

Pri kombiniranju različnih tehnologij je pomembna operativna strategija, da se zagotovi najnižjo ceno za proizvodnjo toplote, kot je le mogoče.

Primer operativne strategije za SPTE sistem je prikazan na sliki 62, kjer so neto cene proizvodnje toplote prikazane v odvisnosti od cene električne energije. V tem primeru je sistem sestavljen iz dveh kotlov, dveh SPTE enot (motorji) in toplotne črpalke.



**Slika 62: Primer strategije delovanja (Vir: PlanEnergi)**

Neto cena proizvodnje toplote (NHPC) iz kotlov je konstantna, neodvisna od cen električne energije, saj proizvajajo samo toploto. NHPC enot SPTE na drugi strani pa je odvisna od prodaje električne energije in toplote, proizvodno ceno motorja torej zmanjšuje zvišanje cen električne energije. Nasprotno velja za toplotne črpalke in električne grelce. Pri kombiniranju več tehnologij, je možno, da deluje deluje npr. po ceni električne energije in se uporablja enote za soproizvodnjo, ko je cena električne energije visoka in na primer toplotne črpalke, ko je cena električne energije nizka.

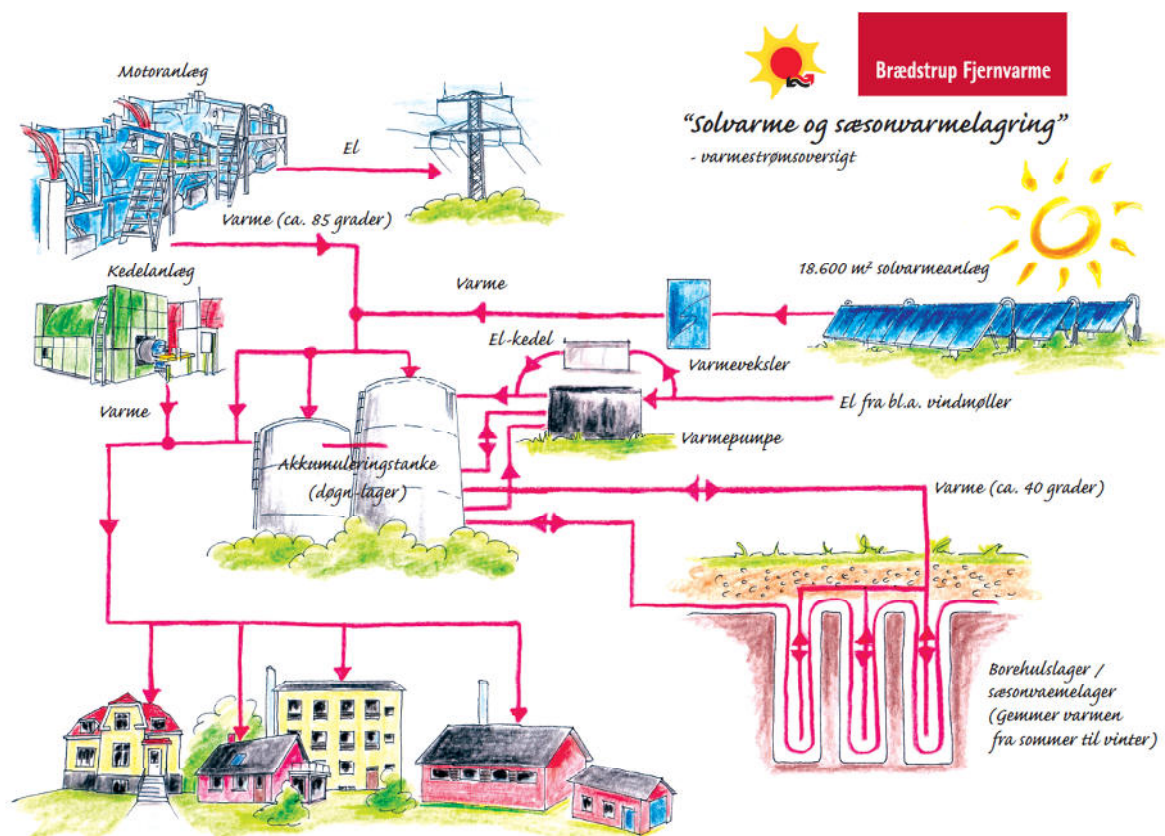
Druga strategija je kombinacija biomase s sončno energijo, da se zmanjša skupne obratovalne stroške. V poletnih mesecih je možno, da se pokrivajo potrebe po toploti s sončno energijo, s čemer se prihrani biomasa v teh mesecih (glej slika 3). S tem bi prihranili stroške za delovanje in vzdrževanje ogrevalnega kotla na biomaso.

Poleg ogrevalnih enot se lahko vključijo tudi pametna skladišča toplote kot pomemben del celotne strategije. Kratkoročno shranjevanje lahko omilijo vršne zahteve. Sezonski hranilniki pa lahko povečajo delež sončne toplote v omrežju daljinskega ogrevanja. Toplotna črpalka je lahko pomemben del takega sistema.

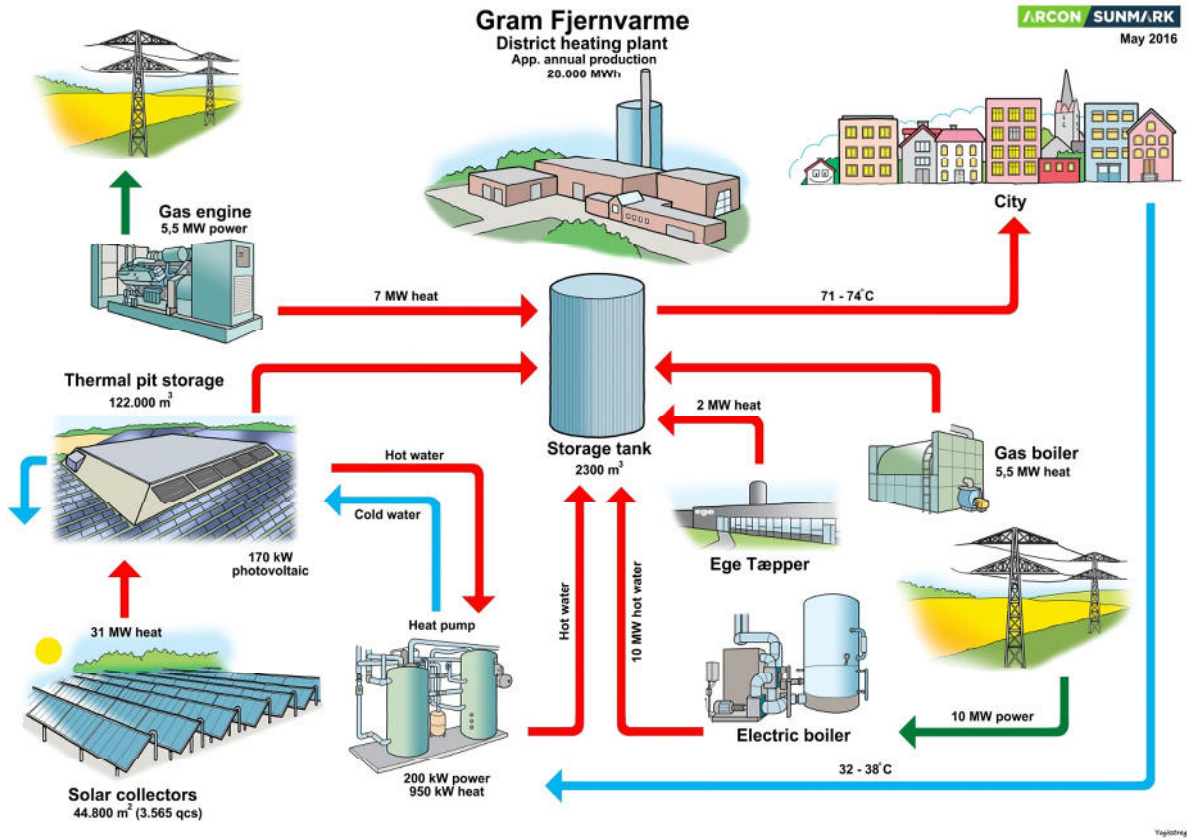
Cena proizvodnja toplote je odvisna od stroškov za gorivo, davkov, cene električne energije in prodaje skupaj s stroški za obratovanje in vzdrževanje. V sistemu s kombinacijo različnih tehnologij, proizvodno ceno toplote določi število obratovalnih ur vsake enote - npr na leto z visokimi cenami električne energije, bo enota SPTE delovala več ur kot v letu z nizkimi cenami električne energije.

Pomembno je analizirati razpoložljive tehnologije, razpoložljive vire in potrebe po toploti, preden investiramo v nove sisteme daljinskega ogrevanja za optimalno delovanje obrata in oskrbo.

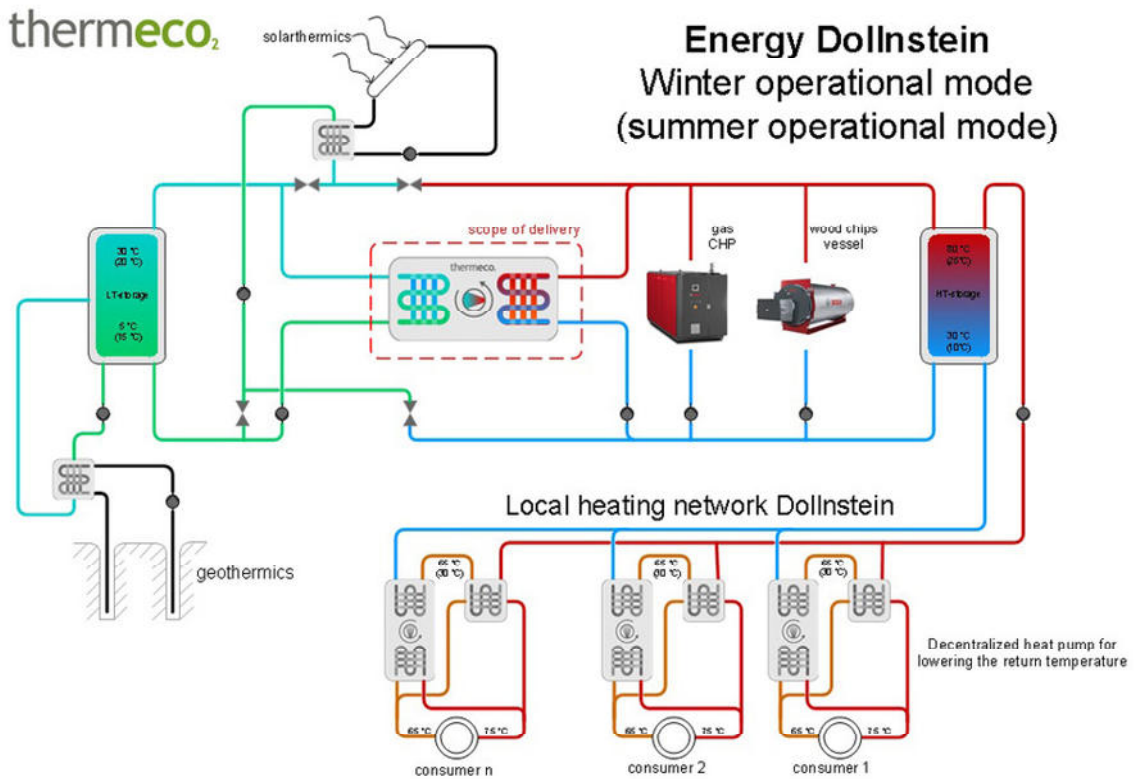
Za dimenzioniranje grelnih enot je koristna krivulja toplotnih potreb (poglavje 6.3.1). Pri podrobnejšem načrtovanju, je priporočljiva uporaba programske opreme za načrtovanje, kot na primer, energyPRO. Ta program lahko zagotovi krivuljo toplotnih potreb, ki temelji na ocenah variacij toplote in na podlagi informacij o lokalnih pogojih, vključno z letnimi toplotnimi potrebami.



Slika 63: Shema sistema DH Bradstrup, Danska (Vir: braedstrup-fjernvarme.dk)

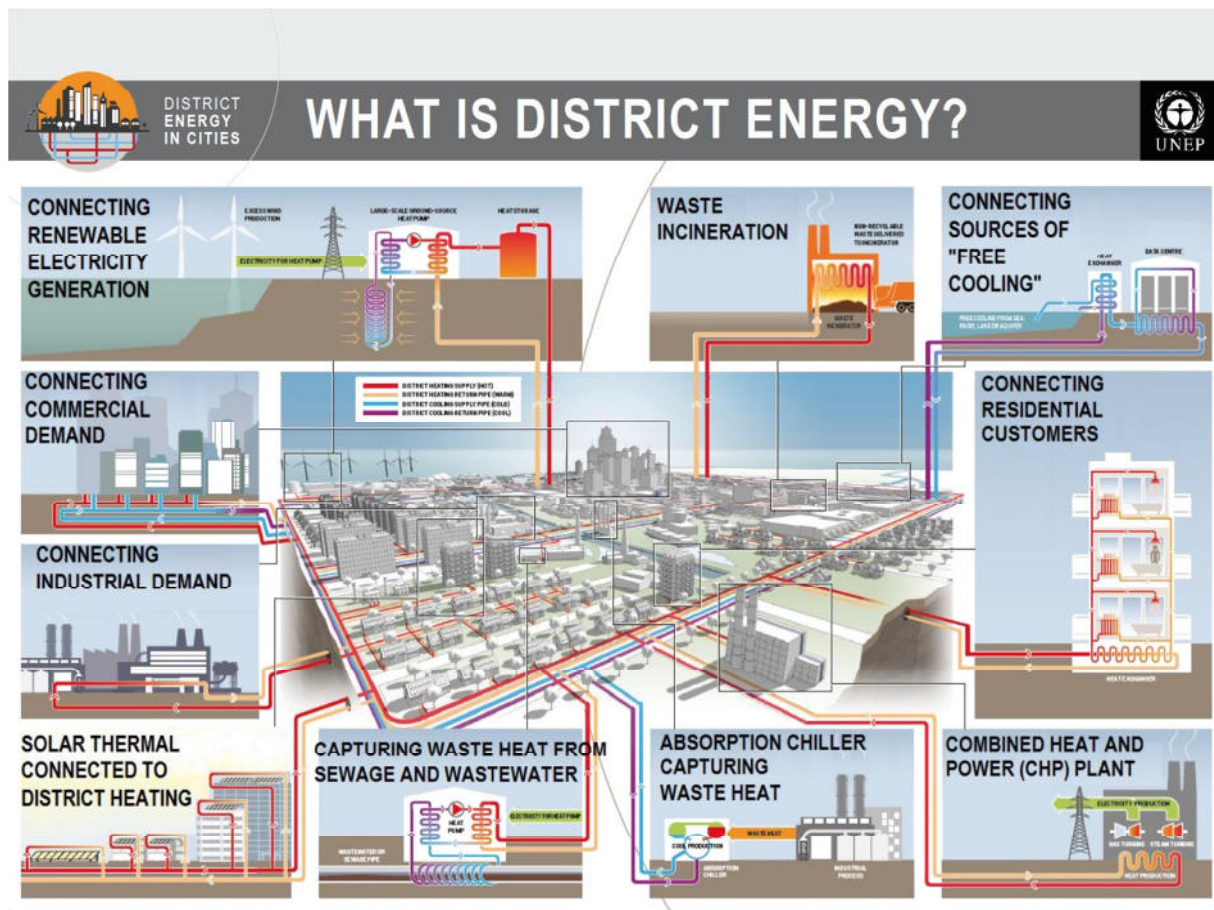


Slika 64: Shema DH sistema Gram, Danska (Vir: <http://www.gram-fjernvarme.dk>)



Slika 65: Operativna shema DH sistema Dollnstein (Vir: Dürr thermea)





Slika 66: Deli večjega DH sistema (Vir: UNEP, [www.districtenergyinitiative.org](http://www.districtenergyinitiative.org))

#### 6.4 Potrebe in navade porabnikov

Poleg tehnične analize toplotnih potreb je prav tako je treba opraviti analizo ne-tehničnih vprašanj. Torej je potrebno raziskati potrebe potrošnikov in njihovega obnašanja, pred naslednjimi koraki načrtovanja.

Potrebno je oceniti pripravljenost potrošnikov za priključitev na omrežje. Motivacija potrošnikov je lahko večplastna. Nižje cene toplote, boljše storitve, podpora ali OVE in večje udobje so lahko potencialna motivacija. Potrošnik mora samo plačati za toploto, ne pa tudi skrbeti za letni nakupov goriva, kot v primeru individualnih sistemov ogrevanja na npr. olje. To udobje za potrošnike, je bistvena značilnost daljinskega ogrevanja, in je element za konkurenčnost daljinskega ogrevanja. Poleg tega se lahko poveča bivalni prostora (kotlovnica ni več potrebna), kar je pomemben argument za sistem daljinskega ogrevanja.

Neposrednim osebni stik s potrošniki in informativni dogodki lahko podprejo ta proces. Glede na stanje načrtovanja, se lahko zbirajo pisma o zavezi potencialnih potrošnikov, ki odražajo pripravljenost za priklop. To je pomembno, saj morebiti v začetni fazi projekta, vsi potencialni odjemniki ne bodo želeli biti povezani, kar zmanjšuje potencialno tehnično potrebo po toploti celotnega prostora.

Ko razvoj projekta napreduje, so potrebne dolgoročne pogodbe med dobaviteljem (utility) in porabnikom zaradi visokih stroškov postavitve in velikih naporov, potrebnih za postavitve sistema daljinskega ogrevanja. V pogodbi so definirani odnosi glede na veljavno zakonodajo, vključno z odločitvami organov in sodišč. Organiziranost ogrevanja v DH mora biti pregledna, in to potrebno jasno sporočiti strankam. To bo omogočilo visoko stopnjo zaupanja med strankami in dobaviteljem, kar je ključno za uspeh projekta daljinskega ogrevanja. Da bi dobili podpisane pogodbe, je smiselno poslati strankam naslednje podatke:

- Pismo dobrodošlice
- Informacije o dobavitelju
- Dogovor o dobavi
- Pogodbeni pogoji za DH dobavo
- Tehnični pogoji za DH dobavo
- Cene

V pogodbi za dobavo toplote, mora biti dogovorjena koncept dobave toplote. Obstajata dva različna koncepta, in sicer dobava osnovne toplote in polna oskrba s toploto.

V konceptu osnovne oskrbe s toploto, operater omrežja dobavlja le razpoložljivo frakcijo od toplarne do potrošnika. Ta model se pogosto uporablja, če se uporablja odpadna toplota iz npr. bioplinskih naprav ali drugih naprav, ki imajo na voljo presežke toplote. Operater ne zagotavlja dobave vse potrebne toplote. Zato je nujno, da je porabnik opremljena tudi z dodatnimi (obstoječimi) kotli, ki jih je mogoče vklopiti v primeru, da je toplota iz DH omrežja nezadostna. To se v glavnem pojavlja v času največjega povpraševanja ali v primeru okvare in vzdrževanja DH sistema. V konceptu osnovne oskrbe, je tveganje operaterja toplotne oskrbe zmanjšano na minimum. Vendar dobavitelj navadno ne dobi visoke cene za to toploto. Odjemalci na splošno imajo korist od zelo nizkih cen toplotne energije v tem konceptu, vendar je treba plačati za namestitev in vzdrževanje dodatnih, lastnih kotlov. (Rutz et al. 2015)

V konceptu zagotovljene oskrbe s toploto, je povpraševanje po toploti v celoti zagotovljeno. To je tipičen model, v primeru postavitve novega projekta daljinskega ogrevanja. Ta model vključuje tudi dobavo v času največjega povpraševanja, npr v mrzlih zimah, pa tudi dobava v času vzdrževanja sistema ali celo okvare. V mnogih pogodbah v Nemčiji, je zagotovljena oskrba s toploto za temperature do  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . V tem sistemu ima operater ogrevanja več investicijskih stroškov, saj mora namestiti in vzdrževati vršne ali rezervne kapacitete. V tem konceptu je tveganje za upravljavca obrata večje, saj mora le ta zagotavljati stalen dotok toplote. Ker je potrošnik v celoti oskrbovan s toploto, lahko dobavitelj tudi zaračuna višje cene toplote. Udobje za potrošnika višje. (Rutz et al. 2015)

Vzporedno s tehnično oceno, je mogoče analizirati tudi vzorce potrošnje morebitnih toplotnih potrošnikov. S tem se analizira sezonske in dnevne vzorce potrošnje ter konične obremenitve.

Treba je upoštevati, da ima vedenje potrošnikov včasih večji vpliv na oskrbo kot tehnična oprema. Toplotne potrebe iste vrste stavb se lahko pomembno razlikujejo zaradi različnih vzorcev vedenja porabnikov. Na primer, različne prezračevalne navade in napačno vzdrževanje sistemov ogrevanja ima lahko velik vpliv na toplotne potrebe. Namestitev in priključitev porabnikov na DH omrežje je lahko priložnost za edukacijo potrošnikov o ukrepih varčevanja z energijo. Nadalje je smiselno obnoviti oprema za ogrevanje v stavbi, kar je običajno v pristojnosti lastnika stavbe in ne operater DH omrežja. To bi lahko ponudili kot dodatno storitev operaterja DH in v tesnem sodelovanju z lokalnimi monterji.

Končno, lahko poslovni modela za daljinsko ogrevanje zagotavlja možnost za neposredno udeležbo potrošnikov. Ti lahko sodelujejo kot investitorji ali delničarji, še posebej pri modelih sodelovanja (cooperative). To lahko poveča splošno sprejemanje projekta.

## **6.5 Ekonomika majhnih sistemov daljinskega ogrevanja**

Celotna gospodarnost majhnega sistema daljinskega ogrevanja je odvisna od mnogih dejavnikov na različnih ravneh. Na primer, na lokalni ravni se stroški za energijo iz obnovljivih virov energije vedno primerjajo s stroški energije iz fosilnih goriv. Če je sistem na obnovljive vire energije cenejši od fosilnega, se bo izvajal ta; če so stroški višji pa projekt pogosto ni realiziran.



Na tem mestu so povzeti samo nekateri vidiki, ki vplivajo na gospodarnost projekta. Dodatne informacije so na voljo v drugih poročilih projekta CoolHeating, kot so Vodila za poslovne modele in orodje za izračun ekonomije. Ključni dejavniki, ki vplivajo na gospodarnost projekta, vključujejo:

- Investicijski stroški
- Delovanja in vzdrževanja (O & M) stroški
- Toplotne potrošnikov
- Cene (na primer biomasa) goriva
- Cene fosilnih goriv
- Davki
- Kakovost in trajnost opreme
- Poslovni model
- Lastništvo omrežja

## 7 Tehnologije hlajenja

Z naraščajočim globalnim segrevanjem postajajo tudi potrebe po hlajenju je vse bolj pomembne. Vendar pa je že danes, povpraševanje po energiji za hlajenje je precej visoko. Glavne aplikacije hlajenja so:

- Klimatizacija javnih in zasebnih stavb
- Klimatizacija industrijskih stavb (npr. strežniške sobe)
- Hlajenje kmetijskih industrijskih in živilskih proizvodov
- Hlajenje za prehrabeno industrijo in industrijo pijač
- Hlajenje za kemično industrijo

Odkvisno od potrebne ravni hladilnih zmogljivosti in temperature so obnovljivi viri energije lahko zelo primerni za hladilne storitve. Za mnoge aplikacije, je hlajenje v toplem poletnem obdobju, v času intenzivnega sončnega obsevanja posebej potrebno. Tako bi lahko hlajenje s sončno toploto in odpadno toploto iz drugih procesov povečalo skupni delež trajnostne oskrbe z energijo.

Za hlajenja z OVE se lahko uporablja prosto hlajenje, absorpcijske in adsorpcijske hladilne naprave ter toplotnih črpalk. Različne tehnologije so predstavljene v nadaljevanju.

### 7.1 Prosto hlajenje

Prosto hlajenje je hlajenje po nizki ceni ("prosto") z nizko temperaturo okolice, npr. zraka, zemlje ali vodnih teles. Hlajenje pri tem ni popolnoma "zastonj", saj so potrebne majhne količine energije za delovanje ventilatorjev, črpalk ali krmilnih naprav. Vendar pa naravne klimatske razmere pomagajo prihraniti stroške in emisije toplogrednih plinov. Mogoči so sledeči viri naravnega hlajenja:

- Hladna voda iz morja, rek ali jezer
- Hlad noči
- Hlad visokih nadmorskih višin
- Hlad iz tal ali geotermije

Odkvisno od sistema in zahtev, lahko prosto hlajenje uporablja en vir hlajenja ali v kombinaciji z drugimi tehnologijami, kot npr. običajnih hladilnikov. V primeru variabilnega vira hladu (hladen zrak v nočnem času), se lahko izognemo rabi obstoječih običajnih hladilnikov v nočnem času. Običajni hladilniki se lahko uporabljajo v času največjega povpraševanja po hladu.

Preprosta uporaba prostega hlajenja je klimatizacija stavb, ki imajo toplotno črpalko (zemlja), ki se uporabljajo v zimskem času za ogrevanje prostorov. Poleti imajo tla povprečno temperaturo 8-12°C, ki se lahko uporablja neposredno v sistemu centralnega ogrevanja v zgradbi - za hlajenje. Še posebej, če centralno ogrevanje uporablja plošče velikih površin ali talno ogrevanje se lahko hlad zemlje uporablja, da se ohladi stavbo. Pozornost je treba nameniti, da se radiatorjev ne hladi pod temperaturo rosišča ker kondenzira voda lahko poškoduje stavbo.

Prost način hlajenja predstavlja tudi zasnova stavbe na način, da se zgradba ohladi z nizko temperaturo zraka v nočnem času.

## 7.2 Kompresorski sistemi hlajenja

Kompresorski sistemi so najbolj pogosto uporabljajo za klimatizacijo v stavbah in avtomobilih. Uporabljajo se tudi v domačih in komercialnih hladilnikih, v kemični industriji, v skladiščih za shranjevanje hrane v hladilnikih tovornjakov, itd

Uporabljajo kroženje tekočega hladilnega sredstva, ki absorbira in odstranjuje toploto iz prostora, se ohladi in nato odvaja to toploto drugje. Bistvo tega sistema je kompresor, ki deluje na električno energijo. Poleg tega sistem vključuje kondenzator, ekspanzijski ventil in uparjalnik.

V procesu tekoče hladilno sredstvo vstopa v kompresor kot nasičena para. Tu se stisne na višji tlak pri čemer se temperatura dvigne. Vroča, pare pod pritiskom se imenuje pregreta para. To paro ohladimo z zrakom (ali vodo), ki vodi do kondenzacije hlapov. Zgoščeno tekoče hladilno sredstvo se imenuje nasičena tekočina. Le ta vstopi v ekspanzijski ventil, kjer se pritisk hitro zmanjša. Rezultati tega znižanja tlaka je uparjenje tekočega hladilnega sredstva. To znižuje temperaturo tekočine/pare hladiva, kar vodi do želenega hladilnega učinka. Hladilna tekočino ponovno vstopi v kompresor in zapre zanko.

Glavna prednost teh hladilnih naprav je njihova preprostost in zanesljivost, kot tudi njihova uporaba v velikem obsegu v milijardah sistemov. Trenutna pomanjkljivost so visoke potrebe po električni energiji za poganjanje kompresorjev. Ker so stroški električne energije pogosto visoki so operativni stroški kompresorskih hladilnikov veliki.

V nasprotju z adsorpcijskimi ali absorpcijskimi hladilnimi napravami, ki je glavni vir energije za kompresorske hladilne naprave elektrika, medtem ko so drugi sistemi delujejo predvsem s toploto (iz na primer sončnimi kolektorji). Ko se cene električne energije iz fotovoltaičnih (PV) sistemov občutno zmanjšujejo v zadnjih letih, hlajenje s tradicionalnimi kompresorskimi hladilnimi napravami lahko tekmujejo z bolj inovativnimi adsorpcijskih ali absorpcijskih hladilnih naprav, ki so sedaj precej manj uporabljajo v sektorju hlajenja.

## 7.3 Absorpcijski hladilniki<sup>14</sup>

V nasprotju z uporabo pretežno električne energije v kompresorskih napravah, absorpcijski hladilniki predvsem uporabljajo vire toplote, ki je lahko sončna toplota ali odpadna toplota, kot glavni energije za postopek hlajenja. Absorpcijski hladilniki so alternativa kompresorskim sistemom, kjer je elektrika nezanesljiva, draga, ali ni na voljo, če je hrup iz kompresorja problematičen, ali če je na voljo presežna toplota, kot je to v primeru bioplinskih naprav. Na splošno so za absorpcijske hladilnike značilne naslednji glavnih prednosti v primerjavi s kompresorskimi hladilniki (Skagestad & Mildenstein, n.d.):

- Nižje električne zahteve za delovanje
- Nižje ravni hrupa in vibracij med delovanjem
- Sposobnost uporabiti toploto in jo pretvoriti v hladu
- Rešitve hlajenja običajno ne predstavljajo nevarnosti za tanjšanje ozonske plasti atmosfere.

Tako, absorpcijske kot kompresorske hladilne naprave uporabljajo tekoče hladilno sredstvo, običajno z zelo nizkim vreliščem (pogosto manj kot  $-18^{\circ}\text{C}$ ). V obeh vrstah naprav se toplota odstiranja iz enega sistema in s tem se ustvarja hladilni učinek, ko tekoče hladilno sredstvo izhlapeva. Glavna razlika med obema sistemoma je način spremembe hladilne tekočine iz plinaste faze nazaj v tekočino. Kompresorski hladilnik spremeni plina v tekočino s povečanjem ravni tlaka skozi (električni pogon) kompresorja. Absorpcijski hladilnik pa spremeni plin nazaj v tekočino z absorpcijo hladilnega sredstva v drugi tekočini s pomočjo

<sup>14</sup> For the elaboration of this whole chapter the BiogasHeat Handbook (Rutz et al. 2015) was used. Several parts of the text are taken from this source.

toplote. Druga razlika med obema vrstama je hladilo. Kompresorska hladilna sredstva so običajno klorofluoroogljikovodike (HCFC) ali fluorirani ogljikovodiki (HFC), medtem ko absorpcijskih hladilnih običajno uporabljajo amonijak ali litijev bromid (LiBr).

Uporaba absorpcijskih hladilnikov je odvisna od temperature toplote, uporabljenega hladilnega sredstva in transportnega medija, kot tudi na želeno temperature hlajenja. LiBr / absorpcijski H<sub>2</sub>O sistemi so sposobni hlajenja do 6°C in NH<sub>3</sub> / H<sub>2</sub>O absorpcijskih sistemi od 0 °C do 60°C.

Za primerjavo učinka hlajenja se uporablja delež uporabljene energije (EPR), ki je podobna mera kot COP toplotnih črpalk. Je razmerje hladilne zmogljivosti ( $\dot{Q}_C$ ) z vhodno toplotno kapaciteto ( $\dot{Q}_H$ ). o. Pri čimer je zmogljivost črpalke ( $P_P$ ) zanemarljiva. EER absorpcijskih hladilnih sistemov je ponavadi manj kot 1. Tipični realni EER za komercialno dostopne hladilnike je razponu od 0,65 do 0,8 za enote z enojnim učinkom in 0,9 do 1,2 za enote z dvojnimi učinkom (Skagestad & Mildenstein, n.d.).

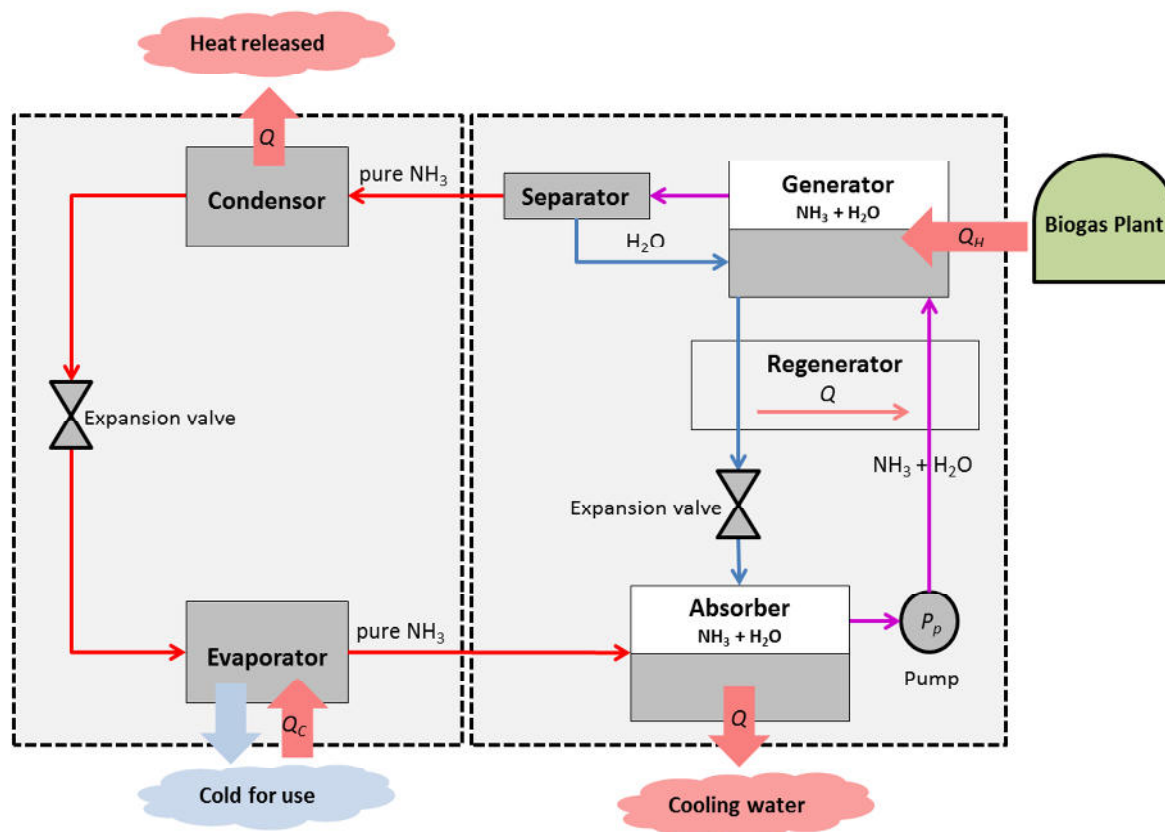
$$EER = \frac{\text{Cooling capacity}}{\text{Input capacity}} = \frac{\dot{Q}_C}{\dot{Q}_H + P_P} \approx \frac{\dot{Q}_C}{\dot{Q}_H} \quad \text{Equation 8}$$

*EER*    *Energy efficient Ratio*

$\dot{Q}_C$     *Cooling capacity [kW]*

$\dot{Q}_H$     *Heat input capacity [kW]*

$P_P$     *Electric input capacity (pump) [kW]*



Slika 67: Proces tipičnega absorpcijskega sistema amonijak-voda, ki uporablja OVE (Vir: Rutz et al. 2015)

Splošni postopek tipične amonijak-voda absorpcijske hladilne naprave je prikazan na sliki 67. V tem procesu amonijak ( $\text{NH}_3$ ) služi kot hladilno sredstvo in voda ( $\text{H}_2\text{O}$ ) kot transportni medij. V uparjalniku hladilo čistega amonijaka v tekočem stanju proizvaja hladilni učinek. Absorbira toploto iz snovi, ki jo ohladili in se upari. Od tod se uparjeni amonijak črpa v absorber. V absorberju je že prisotna šibka raztopina amonijaka v vodi. Voda, ki se uporablja kot transportni medij v raztopini je nenasičena in ima sposobnost, da absorbira več plinastega amonijaka. Kot amonijak iz uparjalniku vstopa v absorber, se zlahka absorbira v vodo in se oblikuje močna raztopina amonijaka v vodi. Med procesom absorpcije se sprošča toplota kar zmanjša sposobnost absorpcije amonijaka v vodi; zato se absorber hladi s hladilno vodo. Zaradi absorpcije amonijaka nastaja v absorberju močna raztopina amonijaka v vodi. Ta solucija se črpa s črpalko pri visokem tlaku v generator, v katerem se segreva s pomočjo vira toplote (v tem primeru: iz bioplinske naprave), medtem se amonijak uparja. Amonijakova para zapusti generator, vendar pa so pri tem prenesejo tudi nekateri vodni delci zaradi močne afinitete vode za amonijaka. Zato se prenese tudi skozi separator. Voda se regenerira v regeneratorju in potuje skozi ekspanzijski ventil potuje v generator. Šibka raztopina amonijaka / vode gre nazaj iz generatorja v absorpcijo. Čista amonijakova para vstopi v kondenzator pri višjem tlaku, kjer se hladi z vodo. Pri tem se spremeni v tekoče stanje in gre nato skozi ekspanzijski ventil, kjer njena temperatura in tlak hitro padeta. Amonijak se na koncu ponovno vnese v uparjalnik, kjer se proizvaja hladilni učinek. S tem je cikel zaprt.





Slika 68: Zračno hlajeni hladilnik, ki uporablja toploto iz obrata za sežiganje smeti v Avstriji (Vir: Rutz D.)

#### 7.4 Adsorpcijski hladilniki

Adsorpcija je oprijem atomov, ionov, ali molekul iz plina, tekočine ali raztopljene trdne snovi na površino. Ta postopek je podoben postopku absorpcije. Adsorpcijske hladilne naprave vedno uporabljajo tekočine (plinaste) in trdne snovi, medtem ko absorpcijske hladilne naprave vedno uporabljajo dva tekočini (plina).

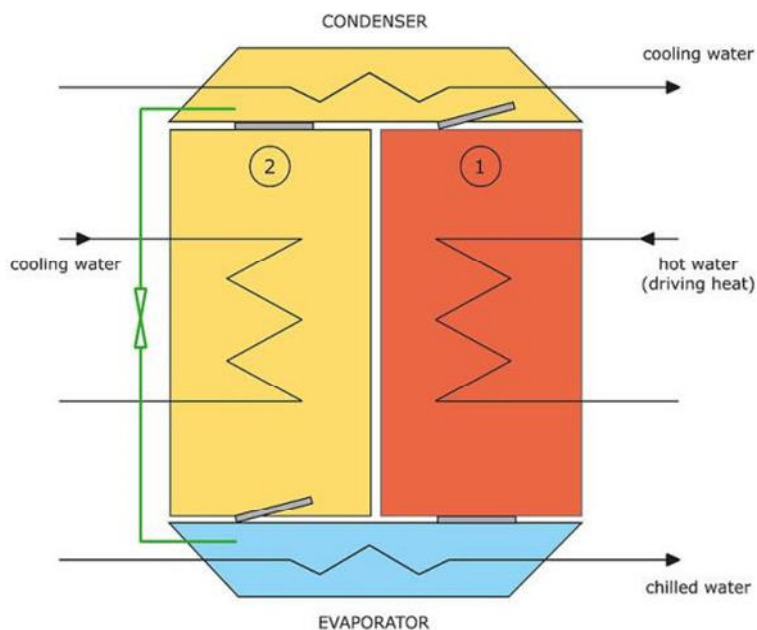
Adsorpcijske hladilne naprave uporabljajo trdne sorpcijske materiale namesto tekočine. Dve glavni tehnologije, ki so na voljo na trgu danes, uporabljata silikagela ali Zeolit kot sorbent in vodo kot hladilno sredstvo. Pri kombiniranju adsorbenta s hladilnim sredstvom, adsorpcijske hladilne naprave uporabljajo toploto, kot na primer iz solarnih kolektorjev, da se zagotovi hladilni učinek.

Sistem je sestavljen iz dveh oddelkov (adsorpcijskih komor) (slika 69) (SOLAIR Project, 2009), ki obratujeta v izmeničnem načinu (slika 70). Dva predelka vsebujejo trdne sorbente, ki v svojem nevtralnem stanju adsorbira hladilno sredstvo. Pri segrevanju se desorbira v obliki hladilne pare, ki jo nato ohladimo in utekočinimo. Ta hladilna tekočina nato zagotavlja ohlajevalni učinek na uparjalniku, ko absorbira zunanjo toploto in se spremeni nazaj v paro. V končni fazi se hladilna para (re)adsorbira v trdno snov. Z uporabo dveh komor v šaržnem načinu je mogoče doseči neprekinjeno hlajenje.

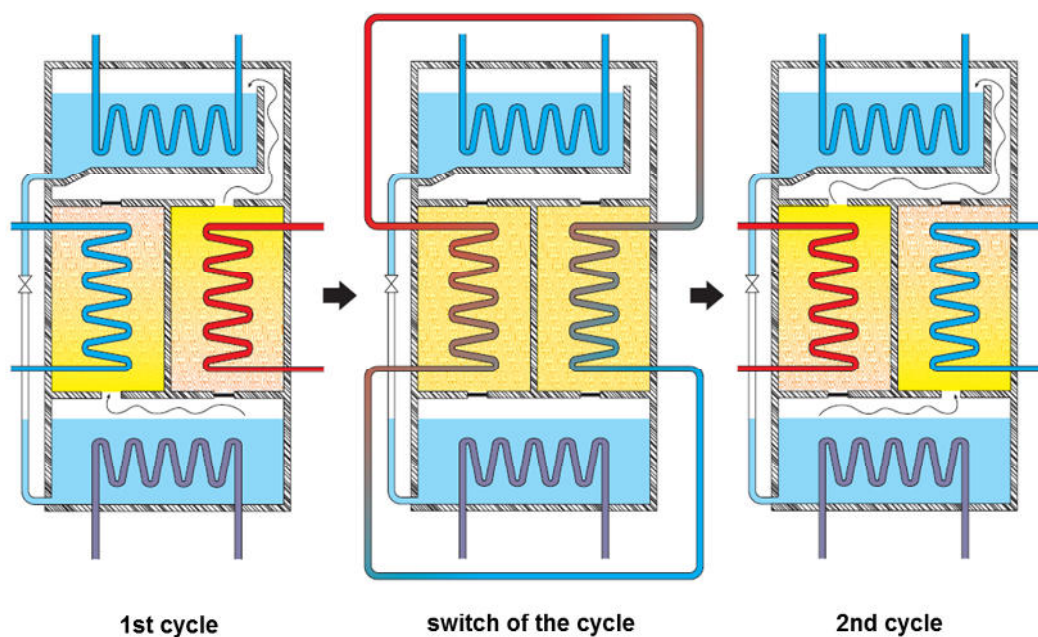
Do danes, le nekaj azijskih in evropskih proizvajalcev proizvaja adsorpcijske hladilnike. V tipičnih pogojih delovanja pri temperaturi vhodne toplote od  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  imajo sistemi koeficient učinkovitosti (COP) okoli 0,6, vendar je mogoče obratovanje tudi pri temperaturi pribl.  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Zmogljivost hlajenja sega od 5,5 kW do 500 kW. (SOLAIR Project, 2009)

Adsorpcijske hladilne naprave imajo enake prednosti kot absorpcijski hladilniki. Preprosta mehanska konstrukcija adsorpcijskih naprav in njihova robustnost je pomembna prednost. Ni nevarnosti kristalizacije in tako ni omejitev pri temperaturah. Ni črpalke in porabe električne energije je zmanjšana na minimum. Slabost je razmeroma velik obseg in teža. Poleg tega je

zaradi majhnega števila proizvedenih sistemov, cena adsorpcijskih sistemov trenutno še vedno visoka. Velik potencial za izboljšave se pričakuje pri gradnji toplotnih izmenjevalcev v adsorber, kar bi zmanjšalo obseg in težo v prihodnjih generacijah adsorpcijskih naprav. (SOLAIR Project, 2009)



Slika 69: Shema adsorpcijskega hladilnika (Vir: Solair Project 2009)



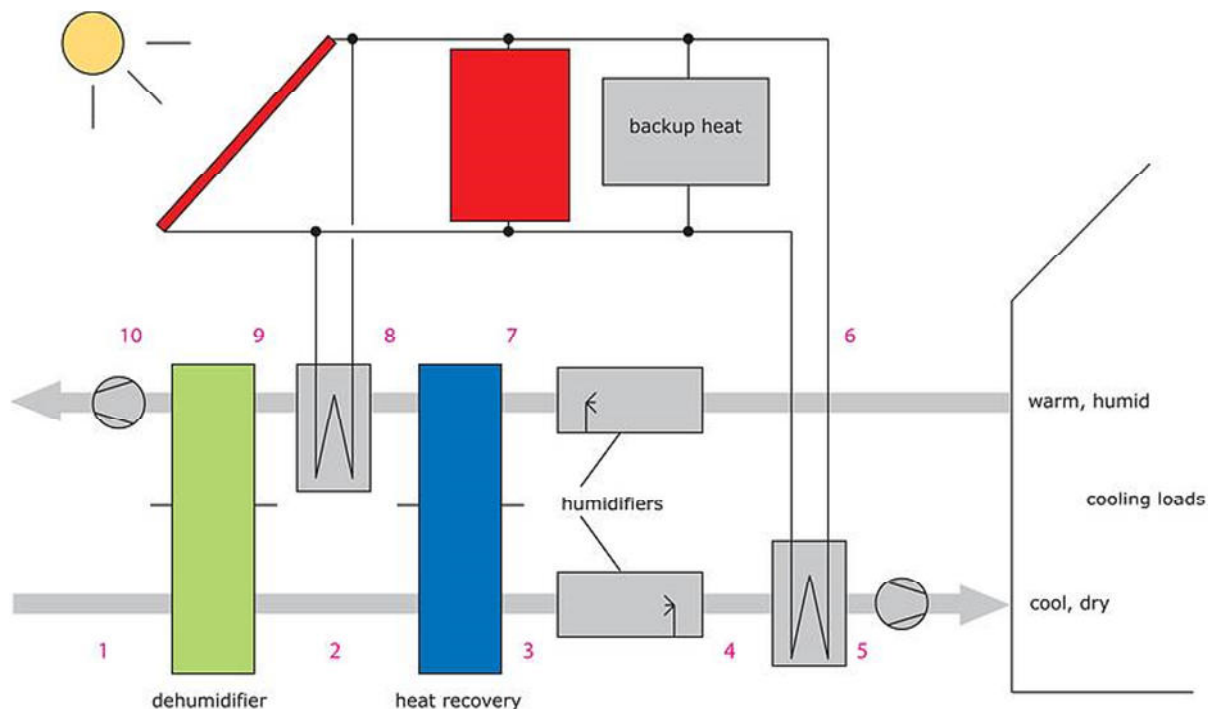
Slika 70: Princip delovanja adsorpcijskega hladilnika in prikaz cikla (Vir: na osnovi Holzmann 2010)

## 7.5 Hladilni sistemi Desiccant / sušilni hladilni sistemi

Sušilno hladilni sistemi so sistemi odprtega cikla, ki uporabljajo vodo kot hladilno sredstvo v neposrednem stiku z zrakom. Toplotno poganjan hladilni krog je kombinacija hlajenja z izhlapevanjem z razvlaževanjem s sušilnim, tj higroskopskim materialom. Za ta namen lahko uporabimo tekoči ali trdni materiali. Izraz "odprta" se uporablja za označevanje, da se hladilno sredstvo zavrže iz sistema, ko zagotavlja hladilni učinek in novo hladilno sredstvo vstopi na njegovo mesto v odprti zanki. Zato možno uporabiti le vodo kot hladilno sredstvo z neposrednim stikom z okoliškim zrakom. Tehnologija se danes uporablja z uporabo vrtljivega sušilnega kolesa (razvlaževalna kolesa), ki so opremljene s silikagelom ali litijevim kloridom kot sorbentom. (SOLAIR Project, 2009)

Topel in vlažen zrak vstopa v počasi vrteče sušilno kolo in se razvlaži z adsorpcijo vode (1-2). Ker se zrak segreje, zaradi adsorpcijske toplote pride skozi rekuperacijsko kolo (toplotni izmenjevalnik) (2-3), kar ima za posledico znatno predhlajenje toka svežega zraka. Nato se zrak navlaži in s tem nadalje hladi z nadzorovanim vlažilci (3-4) po nastavljenih vrednosti temperature dovodnega zraka in vlažnosti. Sončna toplotna energija se lahko uporablja tudi pozimi za ogrevanje (5). Pri procesu ohlajanja, se tok odpadnega zraka navlaži (6-7), blizu nivoja nasičenosti, s čemer se ohladi kolo za rekuperacijo toplote (7-8). Na koncu je potrebno regenerirati sorpcijskega kolo (9-10) z uporabo toplote v relativno nizkem temperaturnem območju od 50°C - 75°C, da se omogoči neprekinjeno delovanje postopka razvlaževanja. Posebna zasnova sušilnega cikla je potrebna v primeru ekstremnih zunanjih pogojev, kot npr obalna območja v Sredozemlju. Nova tehnologija je sušilni hladilni sistem, ki uporablja raztopino vode in litijevega klorida kot sorbent. (SOLAIR Project, 2009)

Sušilno hladilni sistemi lahko uporabljajo sončno toplotno energijo iz sončnih kolektorjev na strehi stavbe, pa tudi toploto iz malega ali mikro ogrevalnega omrežja, ali iz tehnološke odpadne toplote.



Slika 71: Shema sušilno hladilnega sistema (Vir: Solair Project 2009)

## 8 Tehnologije shranjevanja hladu<sup>15</sup>

Shranjevanje hladu je v bistvu enakovredna tehnologijam za skladiščenje toplote, opisanim v poglavju 4. Tako, v kolikor so zaželeno nizke temperature, se lahko uporablja shranjevanje hladu na enak način, kot je shranjevanje toplote. Obstajata dve vrsti shranjevanja hladu:

- Znižanje temperature v skladiščenih proizvodih v mrzlem skladišču s uporabo hladilnega sistema
- Namenska proizvodnja ledu ali hladne vode, shranjene v posodi, jami ali v geoloških rezervoarjih

Potrebno je upoštevati vpliv različnih temperatur na kakovost različnih vrst skladiščenih proizvodov, saj so nekateri izdelki občutljivi na temperaturne spremembe.

Pogosto se uporablja zaloge leda, ki pa postajajo manj pogosti, saj hladilni sistemi postajajo vse bolj učinkoviti.

Tradicionalna proizvodnja ledu zahteva tudi precej velike temperaturne razlike (hladilni sistemi pri temperaturi  $-10^{\circ}\text{C}$  ali manj so običajna praksa). Kombinacija vode kot hladilnega sredstva in ledu kot hladno medija za shranjevanje hladu lahko privede do zelo učinkovitih sistemov za proizvodnjo in skladiščenje ledu. Raziskave in razvoj so potrebne na področju proizvodnje ledu na osnovi čiste vode, polnjenja in praznjenja shranjevanja ledu in merjenja shranjene količine ledu.

Vodna para ima velike potencialne kot okolju prijazno hladilno sredstvo in se uporablja v več projektov.

---

<sup>15</sup> The text on cold storages is reproduced and adapted on the basis of Schrøder Pedersen et al. (2014)

## 9 Integracija hladilnih sistemov

Hlajenje ali klimatizacija stavb in drugih aplikacijah s sončno toplotno energijo je še posebej zanimiva v vročem podnebjju, kjer veliko povpraševanje po hlajenju, kar korelira z visokimi temperaturami okolice, saj je višek proizvodnje v istem času kot največje povpraševanje. Skladišča hladu v podnebno vročih območjih, kot tudi mnogi industrijski procesi hlajenja, potrebujejo zelo veliko energije, ko je sončno obsevanje na maksimumu (Morgenstern, 2016). Na splošno se lahko z uporabo sončnih kolektorjev za hladilne aplikacije namesto električnih hladilnih aplikacij lajša pritisk na električno omrežje ob največjih obremenitvah.

Tudi z drugimi poceni viri toplote, kot so na primer z odpadno toploto iz bioplinskih enot SPTe, lahko uporaba tehnologij, ki temeljijo na hlajenju s toploto (adsorpcijo in absorpcijo) postane ekonomsko zanimiva. Prav tako je lahko vse bolj uporabno brezplačno hlajenja in sušilno hlajenje. Hlajenje s sončno energijo iz sončnih elektrarn, lahko te tehnologije dopolnjuje.

Vendar pa so na splošno solarne tehnologije hlajenja je razmeroma drage, še posebej, če se uporablja samo za hlajenje prostora (Kempener, 2015).

### 9.1 Hlajenje s toploto iz DH sistema

Na področjih, kjer potreba po hlajenju ni zelo visoka in če izbrani potrošniki potrebujejo hlajenje, se lahko uporablja toplota iz manjših modularnih sistemom daljinskega ogrevanja na obnovljive vire, pa tudi toplota iz večjih toplovodnih omrežij za delovanje decentraliziranih absorpcijskih sistemov na lokaciji potrošnika. Pri tem se toplota prenaša preko ogrevalnega omrežja do potrošnika in šele tam pretvori v hlajenje. Glavna prednost tega pristopa je, da so v poletnih mesecih številnih majhnih sistemov daljinskega ogrevanja ne splača poganjati zaradi nizkega povpraševanja po toploti. Vključevanje decentraliziranih hladilnikov, ki uporabljajo toploto iz ogrevalnega omrežja, lahko ustvarijo potrebo po toploti tudi v poletnih mesecih, zaradi česar je ogrevalno omrežje lahko bolj donosno. Ponavadi, v poletnih mesecih, ko je vrhunec hlajenja, je poraba toplote za ogrevanje prostorov nižja.

### 9.2 Majni sistemi daljinskega hlajenja<sup>16</sup>

Daljinsko hlajenje je podobno daljinskemu ogrevanju, vendar distribuira ohlajeno vodo namesto toplote. Ohlajeno vodo se proizvaja na centraliziran način in nato razdeli. Čeprav povpraševanje za hlajenje stalno narašča zaradi višjih standardov udobja in višjih temperatur povezanih s podnebnimi spremembami, daljinsko hlajenje ni v takem razmahu, kot se uporablja kot daljinsko ogrevanje. Več evropskih mestih je uvedlo daljinske sisteme hlajenja, da bi zmanjšali emisije toplogrednih plinov.

Vir hlajenja je lahko absorpcijska hladilna naprava, kompresorski hladilnik in drugih vir, kot recimo prosto hlajenja. Različne hladilne sisteme lahko uporabljamo tudi v kombinaciji. Odvisno od pogodbe sklenjene s potrošniki, se ohlajena voda se lahko zagotovi tako za osnovno in kot tudi za celotno povpraševanje. Zaradi višjih investicijskih stroškov absorpcijskih hladilnih naprav, lahko dodatne kompresorske hladilne naprave uporabimo v času največjega povpraševanja, da bi zagotovili celotno oskrbo. Zasnovo daljinskega sistema hlajenja definirajo sledeči dejavniki (Rutz et al 2015):

- Razlika v temperaturi med dovodom in povratom
- Hitrost pretoka

<sup>16</sup> For the elaboration of this whole chapter the BiogasHeat Handbook (Rutz et al. 2015) was used. Several parts of the text are taken from this source.



- Tlak v omrežju in tlačna razlika med dovodom in povratom

Uspešno izvajanje hlajenja v sistemih daljinskega ogrevanja je v veliki meri odvisna od sposobnosti sistema proizvodnje visokih temperaturnih razlik ( $\Delta T$ ) med dotokom in povratom medija (Skagestad & Mildenstein n.d.).  $\Delta T$  je navadno omejena na 8-11°C. Sistemi običajno prilagodijo temperaturo ohlajene vode, glede na zunanjo temperaturo okolice. Daljinske sisteme hlajenja lahko razdelimo v tri skupine glede na temperaturo medija (ibid.):

- Navadni sistemi z ohlajeno vodo: 4 °C do 7 °C
- Sistemi z ledeno vodo: + 1 °C
- Sistemi z ledeno goščo: -1 °C

Zaradi majhnih temperaturnih gradientov med cevmi in prstjo, ni potrebno izolirati teh cevi. Podzemne hladilne cevi distribucijskega omrežja so običajno zakopane na globini okoli 60 cm. V primeru zelo toplega podnebja in nadzemnih cevi, je potrebna izolacija.

Najvišja dovoljena hitrosti toka je definirana glede na padec tlaka in morebitne motnje sistema. Na splošno se je hitrostim višjim od 2,5-3,0 m/s treba izogibati, razen če je sistem posebej izdelan in zaščiten, da se omogoči višje hitrosti toka (ibid.).

### 9.3 Izbrani primeri

Za razliko od majhnih, decentraliziranih ogrevalnih omrežij na obnovljive vire, je veliko manj primerov dobrih praks za majhne, decentralizirane sisteme daljinskega hlajenja. Nekateri primeri so predstavljeni spodaj. Predstavljeni primeri niso nujno majhni, decentralizirani ali na obnovljive vire, vendar kažejo, različnih velikosti in aplikacije za hlajenje, ter uporabljajo različne tehnologije. Dober pregled solarnih hladilnih primerov je na voljo v projektu SOLAIR ([www.solair-project.eu/175.0.html](http://www.solair-project.eu/175.0.html)), primer hlajenje je vključen tudi v poročilu dobre prakse v CoolHeating projektu (Laurberg Jensen et al . 2016).

#### 9.3.1 Solarno hlajenje vinske kleti v Banyuls sur Mer, Francija<sup>17</sup>

Groupement Interproducteurs du Cru de Banyuls ([www.terresdestempliers.fr](http://www.terresdestempliers.fr)) je proizvajalec vin v Banyuls sur Mer, France. Da lahko shranijo okoli 3 milijone steklenic vina pri primerni temperaturi, so analizirali energetske potrebe in namestili sistem solarnega hlajenja v letu 1990.

Potrebe po hlajenju stavbe, ki je sestavljena iz pritličja in dveh kletnih nivojev ustreza obdobjem sončnega obsevanja: poleti, so potrebe po hlajenju je najvišje. Potrebna temperatura v pritličju znaša 22 °C, v prvem nivoju kleti 19 °C in v drugi stopnji kleti 17 °C.

Hladilni sistem je sestavljen iz 130 m<sup>2</sup> vakuumskih SSE na strehi. Usmerjenih na jug / jugozahod in so neposredno pritrjene na streho pri naklonu 15 °C. Sistem vključuje 1.000 litrski hranilnik vroče vode za kratkoročno shranjevanje. Steklenice za vino same delujejo kot dolgoročni hranilnik hladu. Sistem poseduje absorpcijsko hladilno napravo z nazivno hladilno močjo 52 kW, kot tudi hladilni stolp z nazivno močjo 180 kW.

#### 9.3.2 Solarno hlajenje z adsorpcijskim hladilnikom Fraunhofer ISE, Freiburg, Nemčija<sup>18</sup>

Stavba inštituta Fraunhofer za solarne energetske sisteme (ISE) Inštitut je energijsko učinkovita pasivna gradnja. Izjema je kuhinjska menza, kjer je potrebno aktivno hlajenje zraka zaradi visokih notranjih obremenitev. To se naredi s pomočjo majhne toplotno gnane adsorpcijske hladilne naprave.

<sup>17</sup> Information taken from: <http://www.solair-project.eu/185.0.html>

<sup>18</sup> Information taken from: <http://www.solair-project.eu/175.0.html>

Hladilni sistem za menzo je sistem zaprtega cikla adsorpcijske hladilne naprave. Toploto zagotavlja solarni sistem in ogrevalni sistemom zavoda. Poleti sistem deluje v načinu hlajenja.

### 9.3.3 Daljinsko hlajenje v Chemnitz, Nemčija<sup>19</sup>

Mesto Chemnitz v Nemčiji ima omrežje daljinskega hlajenja od leta 1973. Omrežje je dolgo približno 5 km in distribuira hladno vodo različnim javnim zgradbam in nakupovalnim centrom. Sistem je sprva deloval s pomočjo kompresorskih hladilnikov. Sistem je bil prenovljen v začetku 1990, ko so bili nameščeni absorpcijski hladilniki.

V letu 2007 je dodan inovativni rezervoar za shranjevanje hladne vode, za zmanjševanje koničnih obremenitev. Skladišče je visoko 17 m, ima premer 16 m in prostornino 3.500 m<sup>3</sup>. Zmogljivost hladilnice je 32 MWh.

Osrednji hladilni absorpcijski sistem s toploto iz SPTTE elektrarne v Chemnitzu. Ta sežigalnica ima tri toplotne enote, ki jih poganjajo z lignitom ali oljem. Čeprav ta energija temelji na fosilnih gorivih je tukaj prikazana za prikaz daljinskih hladilnih sistemov. Sistem je teoretično mogoče upravljati tudi s toploto iz obnovljivih virov. Vroča voda se transportira preko toplovoda iz obrata do centralne enote absorpcijske hladilne naprave.

Absorpcijski hladilniki uporabo toplote za hlajenje vode do 5 ° C. Ta voda se črpa v izoliranih ceveh do odjemalcev, na katerih posebni izmenjevalniki zagotavljajo hlajenje stavb. Ogreto vodo približno na 13 ° C, se transportira nazaj k centralni enoti hlajenja.

### 9.3.4 Daljinsko hlajenje Dunaj, Avstrija<sup>20</sup>

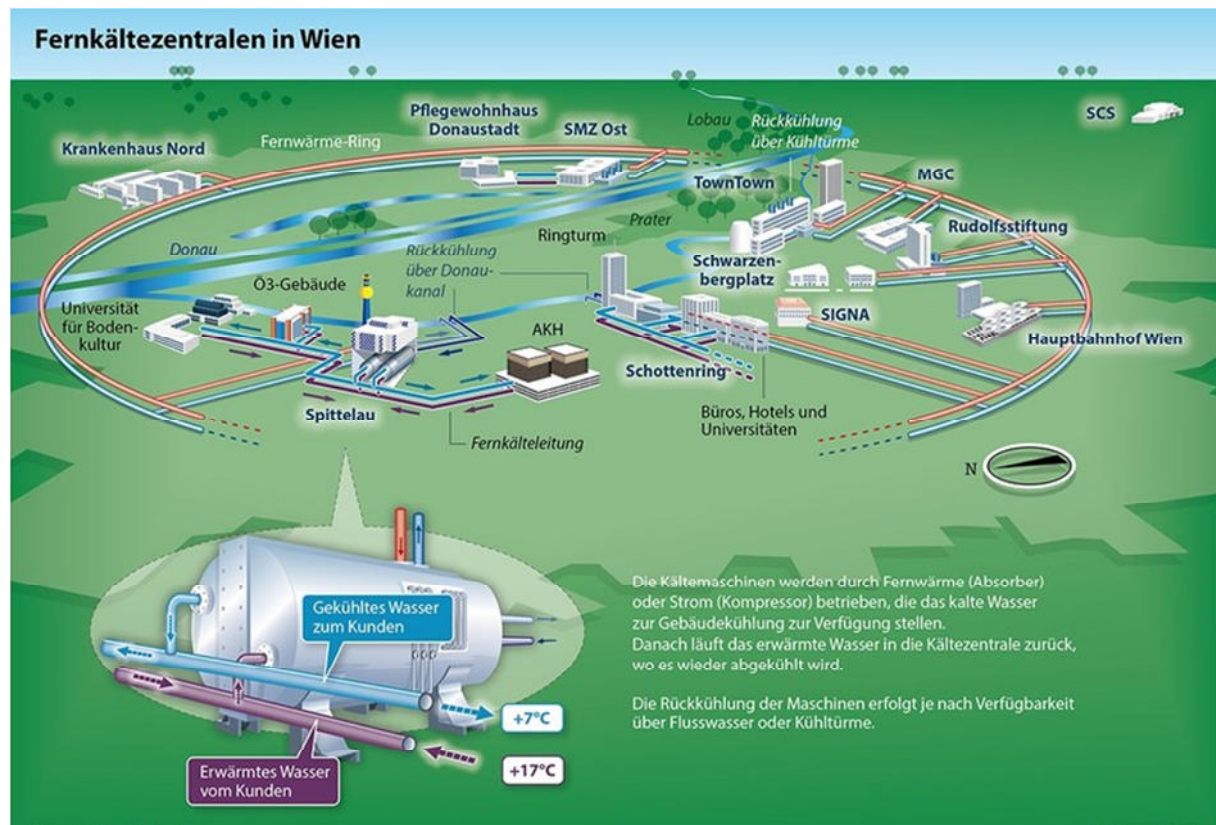
Na Dunaju odpadno toplote, ki se proizvaja v elektrarnah sežigalnice odpadkov uporabljajo ne le za ogrevanje, ampak tudi za daljinsko hlajenje. Wien Energie ponuja dve rešitvi za uporabnike, ki potrebujejo hlajenje:

- Decentralizirani rešitev: Wien Energie namesti hladilni sistem neposredno pri odjemalcu.
- Centralizirano rešitev: Uporablja se centralna enota za hlajenje, ki oskrbuje več kupcev hkrati s pomočjo daljinskega omrežja za hlajenje.

Kot je prikazano na sliki 72, je daljinski sistem Dunaj sestavljen iz več manjših hladilnih omrežij in posameznih hladilnih sistemov, ki so med seboj povezani. Različne centralne hladilne enote vključujejo absorpcijsko, kompresorsko hlajenje ali kombinacijo teh tehnologij. Različni deli sistema povezujejo bolnišnice, nakupovalna središča, železniške postaje in naselja.

<sup>19</sup> Information taken from: <http://www.eins.de/ueber-eins/netze/fernkaelte/>  
<https://www.inetz.de/startseite/netzanschluss/haushalt-gewerbe/fernkaelte/>

<sup>20</sup> Information taken from: <http://www.eins.de/ueber-eins/netze/fernkaelte/>  
<https://www.inetz.de/startseite/netzanschluss/haushalt-gewerbe/fernkaelte/>



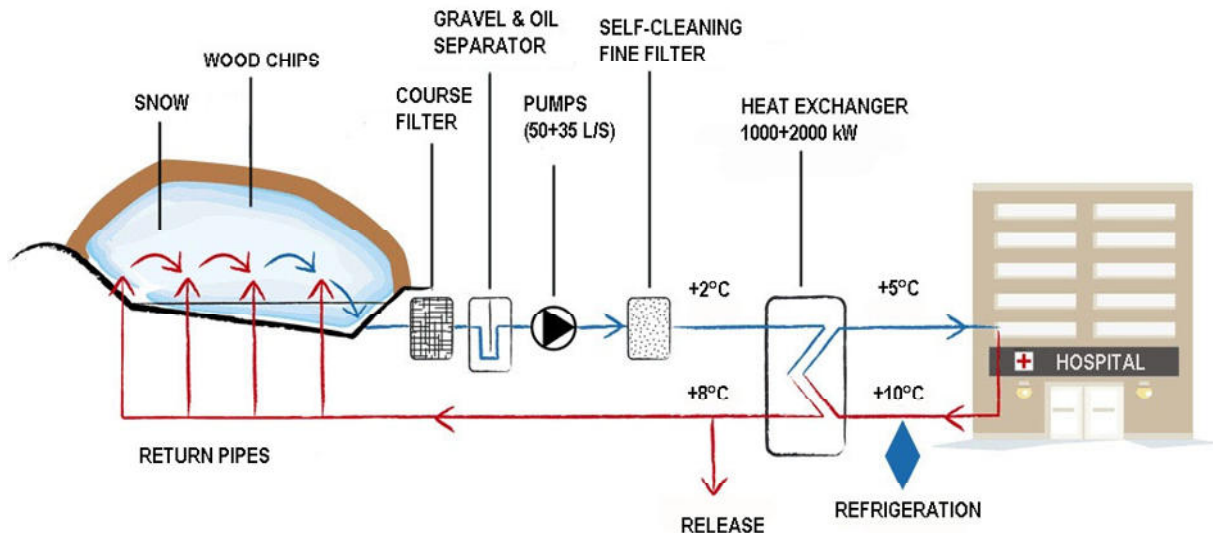
Slika 72: Daljinsko hlajenje na Dunaju (Vir: APA-Auftragsgrafik/Wien Energie GmbH)

### 9.3.5 Snežno hlajenje v Sundsvall, Švedska<sup>21</sup>

Bolnišnica županije Sundsvall na Švedskem se hladi z obsežnim obratom na sneg. Obrat, ki je v uporabi od leta 2.000, je prvi te vrste na svetu. Bolnišnica je velika stavba, ki obsega približno 190.000 m<sup>2</sup> in zahteva močan sistem, da bi ohranili udobno klimo ter obvarovali različne tehnične naprave pred pregrevanjem.

Konvencionalni hladilni sistem je bil uporabljen do leta 2000. Vendar pa se je občinski svet Västernorrlandu od preloma tisočletja zavezal, da bo v uporabi bolj okolju prijazna in alternativna rešitev z uporabo naravnega vira, ki je zlahka na voljo za na severu Švedske - sneg. Preden je bil zgrajen hladilni sistem na sneg je že obstajal depozitni prostor za sneg. Ta prostor je občina Sundsvall uporabljala predvsem za odmetavanje snega. Ta lokacija se je izkazala za idealen kraj za izgradnjo novega objekta za hlajenje.

<sup>21</sup> Information from: <http://www.lvn.se/v1/in-english1/in-english/environment-and-energy/energy-factor-2/snow-cooling-in-sundsvall/>



**Slika 73: Hlajenje s snegom bolnišnica Sundsval (Vir: Snowpower AB, <http://www.snowpower.se>)**

Objekt je opremljen s 7 m globokim skledastim bazenom, ki se ga napolni s snegom pozimi. Sneg bazen je izdelan iz vodoodpornega asfalta, ki zagotavlja izolacijo tal. Spomladi in poleti je skladišče prekrito s plastjo lesenih sekancev, da bi preprečili taljenja snega zaradi povečane zunanje temperature. V času zime z manj snežnimi padavinami se lahko uporabi sklop snežnih-topov za zagotovitev, da je v bazenu dovolj snega. Uporaba snežnih-topov je še vedno bolj energetsko učinkovita rešitev kot z običajnim hladilnim sistemom.

Objekta je sestavljen iz treh glavnih delov; skladiščenja snega, črpališča in toplotnega izmenjevalnika. Sneg, ki se tali se črpa skozi toplotni izmenjevalnik, kjer voda hladi tehnično opremo, kot tudi prezračevalni zrak. S tem postopkom, voda doseže višjo temperaturo. Na poti nazaj, se uporablja za taljenje snega. Z uporabo snega za hlajenje v bolnišnici se je zmanjšala potreba po električni energiji za hlajenje za več kot 90%.

## Glossary and Abbreviations

*The Glossary and Abbreviations list describes and defines various specific or common expressions, terms and words, which are used in this handbook. A major aim of this list is to facilitate translations of the handbook into national languages. Several expressions are adapted from Wikipedia.*

**a:** see Year

**Absorption:** process in which atoms, molecules, or ions enter some bulk phase (gas, liquid, or solid material). This is a different process from adsorption, since molecules undergoing absorption are taken up by the volume, not by the surface (as in the case for adsorption).

**AD:** see Anaerobic digestion

**Adsorption:** the adhesion of atoms, ions, or molecules from a gas, liquid, or dissolved solid to a solid surface

**Ammonia:** A gaseous compound of hydrogen and nitrogen,  $\text{NH}_3$ , with a pungent smell and taste.

**Anaerobic digestion:** Also called digestion or fermentation: A microbiological process of decomposition of organic matter, in the complete absence of oxygen, carried out by the concerted action of a wide range of micro-organisms. Anaerobic digestion (AD) has two main end products: biogas (a gas consisting of a mixture of methane, carbon dioxide and other gases and trace elements) and digestate (the digested substrate). The AD process is common to many natural environments and it is applied today to produce biogas in airproof reactor tanks, commonly named digesters.

**ATES:** Aquifer thermal energy storage

**Barrel of oil equivalent (boe):** The amount of energy contained in a barrel of crude oil, i.e. approx. 6.1 GJ, equivalent to 1,700 kWh. A "petroleum barrel" is a liquid measure equal to 42 U.S. gallons (35 Imperial gallons or 159 liters); about 7.2 barrels are equivalent to one tonne of oil (metric).

**BiogasHeat:** Project (Development of sustainable heat markets for biogas plants in Europe) funded by the Intelligent Energy for Europe Programme of the European Commission in which this handbook was elaborated.

**Biogas:** Gas resulting from anaerobic digestion consisting of mainly methane and carbon dioxide, but also of hydrogen sulphide, water and smaller fractions of other compounds

**Biomethane:** Upgraded biogas to natural gas quality with  $\text{CH}_4$  content >95%

**BTES:** Borehole thermal energy storage

**Capacity:** The maximum power that a machine or system can produce or carry safely (the maximum instantaneous output of a resource under specific conditions). The capacity of generating equipment is generally expressed in kilowatts or megawatts.

**Carbon dioxide:**  $\text{CO}_2$  is a naturally occurring chemical compound composed of two oxygen atoms covalently bonded to a single carbon atom. It is a gas at standard temperature and pressure and exists in Earth's atmosphere in this state, as a trace gas at a concentration of 0.039% by volume.

**CHP:** Combined heat and power: (Syn. Co-generation): The sequential production of electricity and useful thermal energy from a common fuel source. Reject heat from industrial processes can be used to power an electric generator (bottoming cycle). Conversely, surplus heat from an electric generating plant can be used for industrial processes, or space and water heating purposes (topping cycle).

**$\text{CO}_2$ :** see Carbon dioxide

**Coefficient of performance (COP):** The coefficient of performance or COP (sometimes CP), of a heat pump is the ratio of the change in heat at the "output" (the heat reservoir of interest) to the supplied work. The COP was created to compare heat pumps according to their energy efficiency.

**Co-generation:** see combined heat and power generation (CHP)

**Condensing boiler:** Condensing boilers are water heaters with high efficiencies (typically greater than 90%) which are achieved by using the waste heat in the flue gases to pre-heat the cold water entering the boiler. They may be fuelled by gas or oil and are called condensing boilers because the water vapour produced during combustion is condensed into water, which leaves the system via a drain.



**Cooling:** Cooling is the transfer of thermal energy via thermal radiation, heat conduction or convection thereby changing the temperature from the targeted system from higher temperature levels to lower temperature levels.

**COP:** see Coefficient of performance

**CPC:** Compound Parabolic Concentrator

**CSP:** Concentrated solar power

**DH:** District heating

**DHC:** District heating and cooling

**DHW:** Domestic hot water supply

**Digestate:** The treated/ digested effluent from the AD process. (Syn. AD residues, digested biomass, biogas digested slurry)

**Digester:** (sometimes also called digester) closed tank, usually vertical or horizontal cylinder form, or garage (for dry digestion), in which the anaerobic digestion process takes place

**Digestion:** see Anaerobic Digestion

**District cooling:** District cooling is a system for distributing chilled water or water/ice mixtures from a centralized location for residential and commercial cooling such as air conditioning.

**District energy:** Combination of district heating and cooling concepts

**District heating:** District heating is a system for distributing heat (by hot water or steam) generated in a centralized location for residential and commercial heating requirements such as space heating and water heating.

**EER:** see Energy efficient ratio

**Electrolysis:** Electrolysis is a method of using a direct electric current (DC) to drive an otherwise non-spontaneous chemical reaction. For instance, electrolysis can split water into its elements hydrogen and oxygen.

**Energy efficient ratio (EER):** the ratio of cold output to electricity input for a specified source.

**Energy service company (ESCO, ESCO):** An energy service company is a commercial business providing a broad range of comprehensive energy solutions including designs and implementation of energy savings projects, energy conservation, energy infrastructure outsourcing, power generation and energy supply, and risk management.

**Enthalpy:** Enthalpy is a measure of the total energy of a thermodynamic system. It includes the internal energy, which is the energy required to create a system, and the amount of energy required to make room for it by displacing its environment and establishing its volume and pressure.

**Entropy:** Entropy is a measure of how evenly energy is distributed in a system. In a physical system, entropy provides a measure of the amount of energy that cannot be used to do work.

**ESCO:** see Energy Service Company

**Exergy:** In thermodynamics, the exergy of a system is the maximum useful work possible during a process that brings the system into equilibrium with a heat reservoir. When the surroundings are the reservoir, exergy is the potential of a system to cause a change as it achieves equilibrium with its environment. Exergy is the energy that is available to be used. After the system and surroundings reach equilibrium, the exergy is zero. Determining exergy was also the first goal of thermodynamics.

**Feedstock:** Any input material into a process which is converted to another form or product.

**Flat plate collector:** Most common solar thermal collector

**Flow:** Transport medium of a certain quantity and temperature which flows from the heat source to the heat sink.

**Fossil fuel:** Fossil fuels are formed in millions of years by natural processes such as anaerobic decomposition of dead organisms.

**Free cooling:** Free cooling is cooling at low cost ("free") by using the low ambient temperature, e.g. from air, soil or water bodies.

**Global warming potential:** GWP is a relative measure of how much heat a greenhouse gas traps in the atmosphere. It compares the amount of heat trapped by a certain mass of the gas in question to the amount of heat trapped by a similar mass of carbon dioxide. A GWP is calculated over a specific time interval, commonly 20, 100 or 500 years. GWP is expressed as a factor of carbon dioxide whose GWP is standardized to 1. For example, the 20 year GWP of methane is 72, which means that if the same mass of methane and carbon

dioxide were introduced into the atmosphere, that methane will trap 72 times more heat than the carbon dioxide over the next 20 years.

**Greenhouse gas (GHG):** Gases that trap the heat of the sun in the Earth's atmosphere, producing the greenhouse effect. The two major greenhouse gases are water vapour and carbon dioxide. Other greenhouse gases include methane, ozone, chlorofluorocarbons, and nitrous oxide.

**Grid pipes:** DH pipes that distribute the heat to the consumers, who are connected by service pipes.

**GWP:** see Global warming potential

**H<sub>2</sub>:** see Hydrogen

**H<sub>2</sub>S:** see Hydrogen sulphide

**Heat:** Heat is energy transferred from one system to another by thermal interaction. In contrast to work, heat is always accompanied by a transfer of entropy. Heat flow from a high to a low temperature body occurs spontaneously. This flow of energy can be harnessed and partially converted into useful work by means of a heat engine. The second law of thermodynamics prohibits heat flow from a low to a high temperature body, but with the aid of a heat pump external work can be used to transport energy from low to the high temperature. In ordinary language, heat has a diversity of meanings, including temperature. In physics, "heat" is by definition a transfer of energy and is always associated with a process of some kind. "Heat" is used interchangeably with "heat flow" and "heat transfer". Heat transfer can occur in a variety of ways: by conduction, radiation, convection, net mass transfer, friction or viscosity, and by chemical dissipation.

**Heat exchanger:** Device built for efficient heat transfer from one fluid to another, whether the fluids are separated by a solid wall so that they never mix, or the fluids are directly contacted.

**Heating value:** the amount of heat released during the combustion of a specified amount of a fuel (biogas, biomethane).

**Heat transfer efficiency:** ratio of the useful heat output and the actual heat produced in the combustion device.

**Heat transport fluid:** the medium that is used to bring the heat from the heat source to the heat sink. In District heating systems, this is usually water.

**Hydrogen:** H<sub>2</sub> is the lightest element and its monatomic form (H<sub>1</sub>) is the most abundant chemical substance, constituting roughly 75% of the Universe's baryonic mass. At standard temperature and pressure, hydrogen is a colourless, odourless, tasteless, non-toxic, non-metallic, highly combustible diatomic gas with the molecular formula H<sub>2</sub>. Naturally, atomic hydrogen is occurring rarely on Earth.

**Hydrogen sulphide:** H<sub>2</sub>S is a colourless, very poisonous, flammable gas with the characteristic foul odour of rotten eggs. It often results from the bacterial breakdown of organic matter in the absence of oxygen (anaerobic digestion).

**Installed capacity:** The installed capacity is the total electrical or thermal capacity of energy generation devices.

**Joule (J):** Metric unit of energy, equivalent to the work done by a force of one Newton applied over a distance of one meter. 1 joule (J) = 0.239 calories; 1 calorie (cal) = 4.187 J.

**ibid.:** (ibidem) is the term used to provide a citation or reference for a source that was cited just before.

**Kilowatt (kW):** A measure of electrical power or heat capacity equal to 1,000 watts.

**Kilowatt-hour (kWh):** The most commonly-used unit of energy. It means one kilowatt of electricity or heat supplied for one hour.

**kW<sub>el</sub>:** electrical power (capacity)

**kWh:** see Kilowatt-hour

**kW<sub>th</sub>:** thermal (heat) capacity

**Latent heat:** Latent heat is the heat released or absorbed by a body or a thermodynamic system during a process that occurs without a change in temperature. A typical example is a change of state of matter, meaning a phase transition such as the melting of ice or the boiling of water. In contrast to latent heat, sensible energy or heat causes processes that do result in a change of the temperature of the system.

**Legionella:** Pathogenic group of bacteria which can cause health problems. They grow in warm water and pose a risk in the domestic hot water system if the water temperature is too low.

**Load curve:** A load curve is a graph that shows the actual heat or electricity consumption over the course of time, usually one year (8,760 hours).

**Load duration curve:** A load duration curve is similar to a load curve but the load data are ordered in descending order of magnitude, rather than chronologically.

**LowEx Heating Grid:** Heating grid in which not only the quantity of the heat is considered, but also the quality (exergy). Heat with higher temperatures should be only used for applications that need these high

temperatures, whereas heat with lower temperatures can be also used for e.g. space and hot domestic water heating.

**Mesophilic process:** AD process with temperature of 25°C – 45°C

**Methane:** CH<sub>4</sub> is a flammable, explosive, colourless, odourless, tasteless gas that is slightly soluble in water and soluble in alcohol and ether; boils at – 161.6°C and freezes at –182.5°C. It is formed in marshes and swamps from decaying organic matter, and is a major explosion hazard underground. Methane is a major constituent (up to 97%) of natural gas, and is used as a source of petrochemicals and as a fuel. It is a combustible gas at normal conditions and a relatively potent greenhouse gas.

**Mini-grid:** An integrated local generation, transmission and distribution system (for electricity or heat) serving numerous customers.

**Moisture:** Ratio of the mass of water content of a material (biomass) and the mass of the dry material itself.

**mol:** The mole is a SI unit used in chemistry to express amounts of a chemical substance, defined as an amount of a substance that contains as many elementary entities (e.g., atoms, molecules, ions, electrons) as there are atoms in 12 grams of pure carbon. This corresponds to a value of  $6.02214179(30) \times 10^{23}$  elementary entities of the substance.

**Natural gas:** Natural gas is a fossil hydrocarbon gas mixture consisting primarily of methane, with other hydrocarbons, carbon dioxide, nitrogen and hydrogen sulphide.

**NH<sub>3</sub>:** see Ammonia

**NHPC:** Net heat production costs

**m<sup>3</sup>:** A cubic meter is the volume of 1x1x1 m. One cubic metre is about 1 t of water.

**O<sub>2</sub>:** see Oxygen

**Oil equivalent:** The tonne of oil equivalent (toe) is a unit of energy: the amount of energy released by burning one tonne of crude oil, approx. 42 GJ.

**ORC:** Organic Rankine Cycle

**Organic Rankine Cycle:** The ORC process is named for its use of an organic, high molecular mass fluid with a liquid-vapour phase change, or boiling point, occurring at a lower temperature than the water-steam phase change. The fluid allows Rankine cycle heat recovery from lower temperature sources such as from biogas plants.

**Oxygen:** At standard temperature and pressure, two atoms of the element bind to form di-oxygen, a very pale blue, odourless, tasteless diatomic gas with the formula O<sub>2</sub>. This compound is an important part of the atmosphere, and is necessary to sustain terrestrial life.

**PCM:** see Phase change material

**Phase change material:** PCM is a substance with a high heat of fusion which, melting and solidifying at a certain temperature, is capable of storing and releasing large amounts of energy. Heat is absorbed or released when the material changes from solid to liquid and vice versa.

**Power:** The amount of work done or energy transferred per unit of time (definition in physics) as well as electricity from the grid (definition in the energy sector).

**Process heat:** Heat used in an for different internal or external process (e.g. for digester heating).

**PTES :** Pit thermal energy storage

**Return flow:** Cooled transport medium of a certain quantity and temperature which flows from the heat sink to the heat source.

**Satellite CHP:** A combined heat and power unit that is not located at the site of the biogas plant, but at another place. It is connected with the biogas plant through a biogas pipeline.

**SCOP:** Seasonal Coefficient Of Performance

**Sensible energy:** see Sensible heat

**Sensible heat:** Sensible heat is heat exchanged by a thermodynamic system that has as its sole effect a change of temperature.

**Service pipes:** DH pipes that connect the consumers, to the grid pipes.

**SI:** The International System of Units (abbreviated SI from French: *Système international d'unités*) is the modern form of the metric system and is generally a system of units of measurement devised around seven base units and the convenience of the number ten.

**Smart grid:** A smart grid is an electrical grid that uses information technologies and other technologies in order to adjust the demand and supply in a most efficient way. Smart grids are measures to improve energy efficiency and with the increase of renewable energies it will be more important to stabilise the grid.

**Steam:** Steam is the technical term for water vapour, the gaseous phase of water.

**Stirling engine:** A Stirling engine is a heat engine operating by cyclic compression and expansion of air or other gas, the working fluid, at different temperature levels such that there is a net conversion of heat energy to mechanical work.

**Substation:** Heat transfer station which connects the DH grid with the heat consumer. It usually includes a heat exchanger.

**Surplus heat:** See waste heat.

**Temperature differential ( $\Delta T$ ):** difference of two temperature levels whereas the result is always positive.

**Thermodynamics:** Thermodynamics is the branch of natural science concerned with heat and its relation to other forms of energy and work. It considers mainly changes in temperature, entropy, volume and pressure that describe average properties of material bodies and radiation, and explains how they are related and by what laws they change with time.

**Transmission pipes:** Larger DH pipes that bring heat from the heat source to the DH grid.

**TTES:** Cylindrical steel tanks

**Turbine:** A machine for converting the heat energy in steam or high temperature gas into mechanical energy. In a turbine, a high velocity flow of steam or gas passes through successive rows of radial blades fastened to a central shaft.

**Vapour:** Vapour is a substance in the gas phase at a temperature lower than its critical point. This means that the vapour can be condensed to a liquid or to a solid by increasing its pressure without reducing the temperature. For example, water has a critical temperature of 374°C (647 K), which is the highest temperature at which liquid water can exist. In the atmosphere at ordinary temperatures, therefore, gaseous water (known as water vapour) will condense to liquid if its partial pressure is increased sufficiently. A vapour may co-exist with a liquid (or solid).

**Vacuum tube collector:** Solar collector consisting of vacuum tubes in which the absorber is placed.

**Waste heat:** Heat from any process, such as from a CHP unit, which is released to the atmosphere and not used. It may be also called surplus heat since "heat" as a type of energy cannot disappear (wasted), according to the law of conservation of energy.

**Water:** H<sub>2</sub>O contains one oxygen and two hydrogen atoms and is a liquid at ambient conditions, but it often co-exists on Earth with its solid state, ice, and gaseous state (water vapour or steam). Water covers 70.9% of the Earth's surface, and is vital for all known forms of life.

**Water content:** Ratio of the mass of water content of a material (biomass) and the mass of the moist material itself.

**Water vapour:** Water vapour is the gas phase of water. See Vapour

**Watt (W):** A standard unit of measure (SI Sistem) for the rate at which energy is consumed by equipment or the rate at which energy moves from one location to another. It is also the standard unit of measure for electrical power. The term 'kW' stands for "kilowatt" or 1,000 watts. The term 'MW' stands for "Megawatt" or 1,000,000 watts.

**Year:** A calendar year is an approximation of the Earth's orbital period in a given calendar. A calendar year in the Gregorian calendar (as well as in the Julian calendar) has either 365 (common years) or 366 (leap years) days. The operational hours of biogas related equipment is usually referred to 8,760 hours.

**Yield strength:** or "yield point" is the material property defined as the stress at which a material begins to deform plastically.

**Zeolite:** Microporous, aluminosilicate minerals commonly used as commercial adsorbents.

$\Delta T$ : see temperature differential

## Splošne pretvorbe enot

Tabela 8: Kratice

Prefix	Abbreviation	Factor	Quantity
Deco	Da	10	Ten
Hecto	H	10 <sup>2</sup>	Hundred
Kilo	K	10 <sup>3</sup>	Thousand
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>	Quadrillion
Exa	E	10 <sup>18</sup>	Quintillion

Tabela 9: Pretvorbe enot energije

	<b>kJ</b>	<b>kcal</b>	<b>kWh</b>	<b>TCE</b>	<b>m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub></b>	<b>toe</b>	<b>barrel</b>
<b>1 kJ</b>	1	0.2388	0.000278	3.4 · 10 <sup>-8</sup>	0.000032	2.4 · 10 <sup>-8</sup>	1.76 · 10 <sup>-7</sup>
<b>1 kcal</b>	4.1868	1	0.001163	14.3 · 10 <sup>-8</sup>	0.00013	1 · 10 <sup>-7</sup>	7.35 · 10 <sup>-7</sup>
<b>1 kWh</b>	3.600	860	1	0.000123	0.113	0.000086	0.000063
<b>1 TCE</b>	29,308,000	7,000,000	8,140	1	924	0.70	52
<b>1 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub></b>	31,736	7,580	8.816	0.001082	1	0.000758	0.0056
<b>1 toe</b>	41,868,000	10,000,000	11,630	1.428	1,319	1	7.4
<b>1 barrel</b>	5,694.048	1,360.000	1,582	0.19421	179.42	0.136	1
<b>1 BTU</b>	1.055						



**Tabela 10: Pretvorbe enot dela**

	<b>kcal/s</b>	<b>kW</b>	<b>hp</b>	<b>PS</b>
<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

**Tabela 11: Pretvorbe temperaturnih enot**

	<b>Unit</b>	<b>Celsius</b>	<b>Kelvin</b>	<b>Fahrenheit</b>
<b>Celsius</b>	°C	-	$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.15$	$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \times 1.8$
<b>Kelvin</b>	K	$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$	-	$\text{K} = (^{\circ}\text{F} + 459.67) \times 1.8$
<b>Fahrenheit</b>	°F	$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \times 1.8 + 32$	$^{\circ}\text{F} = \text{K} \times 1.8 - 459.67$	-

**Tabela 12: Pretvorbe enot tlaka**

	<b>Pa</b>	<b>bar</b>	<b>at</b>	<b>atm</b>	<b>Torr</b>	<b>psi</b>
<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) - <http://www.geotermi.dk/english/deep-geothermal-energy-in-denmark/technology> [09.11.2016]
- Dimitriou I., Rutz D. (2015) Sustainable Short Rotation Coppice, A Handbook. - WIP Renewable Energies, Munich, Germany; ISBN 978-3-936338-36-2; [www.srcplus.eu](http://www.srcplus.eu)
- 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
- Holzmann A. (2010) Modellierung und Simulation einer Adsorptionskältemaschine. – Diplomarbeit, TU Wien
- 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/sistem/publications/Endbericht\\_Waermegesetz-11.pdf](http://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/sistem/publications/Endbericht_Waermegesetz-11.pdf) [10.11.2016]
- Nast M. (2012) Fernwärme, die Komfort-Energie, Rolle der Wärmenetze in der Stromversorgung. - 11. Tagung "Wärme- und Kälteversorgung in der Energiestrategie Schweiz"; 26. Januar 2012 in Biel-Bienne;  
[http://elib.dlr.de/75363/1/Rolle\\_der\\_W%C3%A4rmenetze\\_in\\_der\\_Stromversorgung.pdf](http://elib.dlr.de/75363/1/Rolle_der_W%C3%A4rmenetze_in_der_Stromversorgung.pdf) [10.11.2016]
- New Buildings Institute (1998) Guideline: Absorption Chillers. - New Buildings Institute; Fair Oaks; Canada;  
<http://www.stanford.edu/group/narratives/classes/08-09/CEE215/ReferenceLibrary/Chillers/AbsorptionChillerGuideline.pdf> [10.07.2012]
- Paeger J. (2012) <http://www.oekosystem-erde.de/html/energie.html> [10.07.2012]
- Rutz D., Janssen R. (2008) Biofuel Technology Handbook. - 2nd version; BIOFUEL MARKETPLACE Project funded by the European Commission (EIE/05/022); WIP Renewable Energies, Germany; 152p.  
[http://www.wip-munich.de/images/stories/6\\_publications/books/biofuel\\_technology\\_handbook\\_version2\\_d5.pdf](http://www.wip-munich.de/images/stories/6_publications/books/biofuel_technology_handbook_version2_d5.pdf) [10.11.2016]
- Rutz D., Janssen R., Letsch H. (2006) Installateurs-Handbuch Biomasseheizanlagen. - EU-IEE EARTH Project; 241p. [www.earth-net.info](http://www.earth-net.info)
- Rutz D., Mergner R., Janssen R. (2015) Sustainable Heat Use of Biogas Plants – A Handbook, 2nd edition. WIP Renewable Energies, Munich, Germany; Handbook elaborated in the framework of the BiogasHeat Project; ISBN 978-3-936338-35-5 translated in 8 languages; [http://www.wip-munich.de/images/stories/6\\_publications/books/Handbook-2ed\\_2015-02-20-cleanversion.pdf](http://www.wip-munich.de/images/stories/6_publications/books/Handbook-2ed_2015-02-20-cleanversion.pdf) [10.11.2016]
- Schrøder Pedersen A., Elmegaard B., Christensen C.H., Kjølner C., Elefsen F., Bøggild Hansen J., Hvid J., Sørensen P.A., Kær S.K., Vangkilde-Pedersen T., Feldthusen Jensen T., (2014) Status and recommendations for RD&D on energy storage technologies in a Danish context. -  
[https://www.energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Danske%20dokumenter/Forskning%20-%20PSO-projekter/RDD%20Energy%20storage\\_ex%20app.pdf](https://www.energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Danske%20dokumenter/Forskning%20-%20PSO-projekter/RDD%20Energy%20storage_ex%20app.pdf) [09.11.2016]
- Skagestad B., Mildenstein P. (no date) District Heating and Cooling Connection Handbook. – International Energy Agency (IEA) District Heating and Cooling.  
[http://dedc.dk/sites/default/files/programme\\_of\\_research\\_development\\_and\\_demonstration\\_on\\_district\\_heating\\_and\\_cooling.pdf](http://dedc.dk/sites/default/files/programme_of_research_development_and_demonstration_on_district_heating_and_cooling.pdf) [10.07.2012]
- Solair Project (2009) Increasing the market implementation of Solar-air-conditioning systems for small and medium applications in residential and commercial buildings (SOLAIR). – Project website <http://www.solair-project.eu/142.0.html> [accessed: 04.08.2016]
- Tour & Andersson Ges.m.b.H. (2005) TA Systemheft - Hydraulische Grundsaltungen. - Guntramsdorf; Austria
- Von Hertle H., Pehnt M., Gugel B., Dingeldey M., Müller K. (2015) Wärmewende in Kommunen, Leitfaden für den klimafreundlichen Umbau der Wärmeversorgung. – Heinrich Böll Stiftung Band 41 der Schriftenreihe Ökologie [https://www.boell.de/sites/default/files/waermewende-in-kommunen\\_leitfaden.pdf](https://www.boell.de/sites/default/files/waermewende-in-kommunen_leitfaden.pdf) [10.07.2012]
- WHO (2007) Legionella and the prevention of legionellosis. - World Health Organization ; India,  
[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/emerging/legionella.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/emerging/legionella.pdf) [10.11.2016]
- Zweiler R., Doczekal C., Paar K., Peischl G. (2008) Endbericht Energetisch und wirtschaftlich optimierte Biomasse-Kraft-Wärmekopplungssysteme auf Basis derzeit verfügbarer Technologien, Energiesysteme der Zukunft, bmvit, FFG-Projekt Nummer 812771; [www.get.ac.at](http://www.get.ac.at)
- Zweiler, R. (2013) ToughGas (Entwicklung eines innovativen Wirbelschichtvergasungssystems kleiner Leistung zur Nutzung biogener Reststoffe) (Endbericht No. 834621).



