



Forbedring af fjernvarme- systemer

Overblik over muligheder for opgradering

En håndbog

- Forfatterne:** Dominik Rutz¹, Carlo Winterscheid², Thomas Pauschinger², Sebastian Grimm⁶, Tobias Roth⁶, Borna Doračić⁷, Gillian Dyer⁸, Thomas A. Østergaard⁸, Reto Hummelshøj⁸
(tallene henviser til projektpartnerne på side 4)
- Anmeldere:** Rainer Janssen¹, Rita Mergner¹, Cosette Khawaja¹, Anes Kazagic⁵, Ajla Merzic⁵, Dino Tresnjo⁵, Matteo Pozzi⁹, Stefano Morgione⁹, Aksana Krasatsenka¹¹
(tallene henviser til projektpartnerne på side 4)
- Oversættere:** Leo Staun Christensson 4)
Anette Munkholm Suhr 4)
- ISBN:** 978-3-936338-58-4
- Oversættelse:** Håndbogens originale sprog er engelsk, hvilket oversættelser kan bære lidt præg af. Denne håndbog er oversat til følgende sprog: Bosnisk. Dansk. Kroatisk. Italiensk. Litauisk og Polsk
- Udgivet:** © 2019 af WIP Renewable Energies, Munich, Germany

1. udgave

WIP Renewable Energies, Sylvensteinstr. 2, 81369 Munich, Germany
Dominik.Rutz@wip-munich.de, Tel.: +49 89 720 12 739
www.wip-munich.de
- Kontakt (DK):** COWI A/S, Parallelvej 2, 2800 Kgs. Lyngby
Reto M. Hummelshøj, rmh@cowi.dk
Thomas Østergaard, tao@cowi.dk
www.cowi.dk
- Webside:** www.upgrade-dh.eu
- Ophavsret:** Alle rettigheder forbeholdes. Ingen del af indholdet i denne bog må gengives i nogen form eller på nogen måde for at kunne bruges til kommercielle formål uden skriftlig tilladelse fra udgiveren.
- Ansvarsfraskrivelse:** Dette projekt har modtaget finansiering fra EU's Horizon 2020-forsknings- og innovationsprogram under tilskudsftale nr. 785014. Eneansvar for indholdet af denne rapport ligger hos forfatterne. Det afspejler ikke nødvendigvis Den Europæiske Unions eller Forvaltningsorganets mening for små og mellemstore virksomheder (EASME). Hverken EASME eller Europa-Kommissionen er ansvarlig for enhver anvendelse, af de oplysninger, der er indeholdt deri.

Forfatterne garanterer ikke rigtigheden og/eller fuldstændigheden af oplysningerne og de data, der er inkluderet eller beskrevet i denne håndbog.

Denne håndbog blev udarbejdet inden for rammerne af "Upgrade DH-projektet". Forfatterne takker Europa-Kommissionen for at støtte projektet og de omtalte organisationer for at tillade brug af informationer, billeder og grafer.

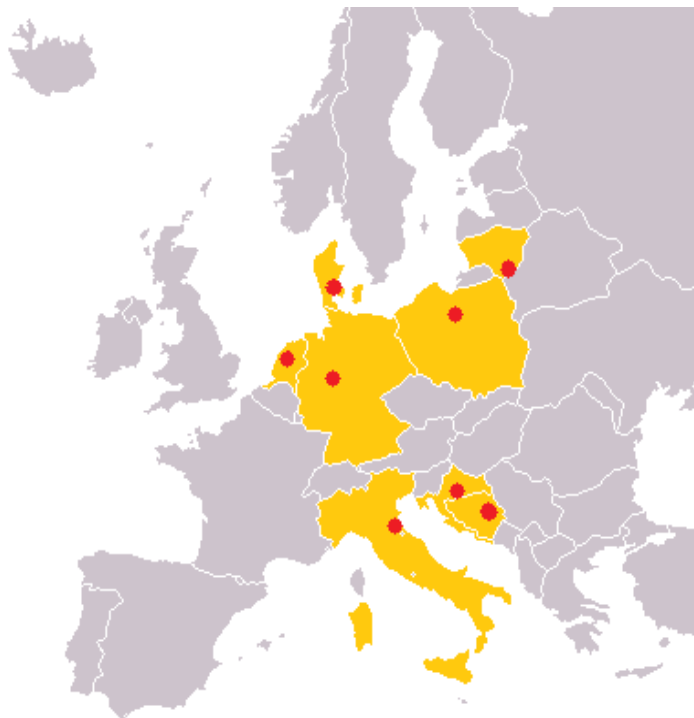
Upgrade DH-projektet

Det overordnede formål med fjernvarmeopgraderingsprojektet (Upgrade DH) er at forbedre udførelsen af fjernvarmeanlæg (DH) i Europa ved at støtte planlægningen af udvalgte demonstrationsprojekter til opgradering, som derefter kan repliceres i Europa.

Upgrade-DH-projektet understøtter opgradering og moderniseringen af fjernvarmesystemer i forskellige klimazoner i Europa, der dækker lande som: Bosnien-Hercegovina, Kroatien, Danmark, Tyskland, Italien, Litauen, Polen og Nederlandene. I hvert af disse landene (Figur 1), vil opgraderingsprocessen blive konkrete fjernvarmesystemer (Upgrade DH-Demo Projects). Den opnåede viden og erfaring vil blive videregivet til andre europæiske lande og fjernvarmesystemer.

Kerneaktiviteterne i Upgrade DH omfatter oversigt over de bedste tiltag og værktøjer, støtte til opgraderingsprocessen for udvalgte fjernvarmenet, tilrettelæggelse af tiltag til kapacitetsudvidelse finansiering og forretningsmodeller samt udvikling af nationale og regionale handlingsplaner.

Derudover udføres en PR-kampagne for moderne fjernvarmenet. Resultatet vil være igangsætning af fjernvarme-opgraderingsprocessen ikke alene i de ovennævnte mållande, men også i andre af EU's medlemslande.



Figur 1: Projektets mållande og demonstrationsprojekter

Projektkonsortium and nationale kontaktpunkter:



WIP Renewable Energies, project coordinator, Germany¹
Dominik Rutz [Dominik.Rutz@wip-munich.de]
www.wip-munich.de



Steinbeis Research Institute for Solar and Sustainable Thermal Energy Systems, Germany²
Carlo Winterscheid [Winterscheid@solites.de]
www.solites.de



Lithuanian District Heating Association
(Lietuvos Šilumos Tiekėjų Asociacija), Lithuania³
Audrone Nakrosiene [audronenakrosiene@gmail.com]
www.lsta.lt



Salcininku Šilumos Tinklai, Lithuania⁴
Elena Pumputienė [elena.pumputiene@sstinklai.lt]
www.sstinklai.lt



JP Elektroprivreda BiH d.d.-Sarajevo, Bosnia-Herzegovina⁵
Anes Kazagic [a.kazagic@epbih.ba]
www.epbih.ba



AGFW Projektgesellschaft für Rationalisierung, Information und Standardisierung mbH, Germany⁶
Sebastian Grimm [s.grimm@agfw.de]
www.agfw.de



University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Croatia⁷
Tomislav Pukšec [tomislav.puksec@fsb.hr]
www.fsb.unizg.hr



COWI A/S, Denmark⁸
Reto Michael Hummelshøj [rmh@cowi.com]
www.cowi.com



OPTIT Srl, Italy⁹
Matteo Pozzi [matteo.pozzi@optit.net]
www.optit.net



Gruppo Hera, Italy¹⁰
Simone Rossi [simone.rossi@gruppohera.it]
www.gruppohera.it



Euroheat & Power – EHP, Belgium¹¹
Alessandro Provaggi [ap@euroheat.org]
www.euroheat.org

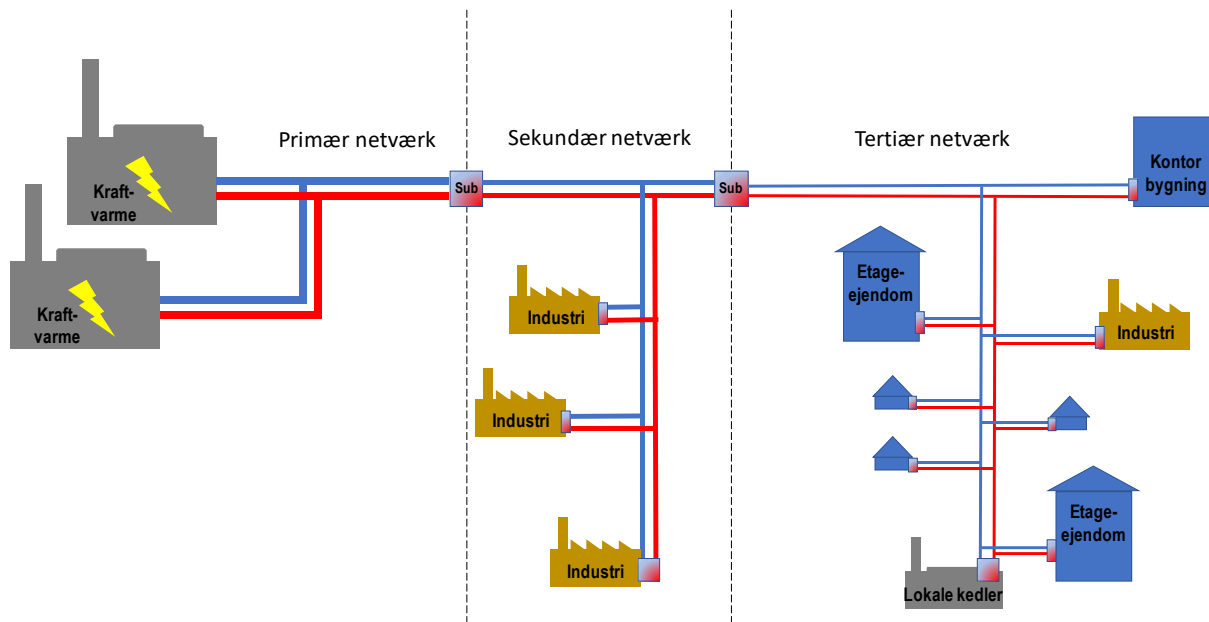
Indholdsfortegnelse

Upgrade DH-projektet	3
1 Introduktion	7
2 Fjernvarme i Europa	9
2.1 Klassificering af fjernvarmesystemer	10
2.1.1 <i>Klassificering efter størrelse af fjernvarmesystemer</i>	10
2.1.2 <i>Klassificering af de historiske udviklinger i geografiske regioner</i>	11
2.1.3 <i>Klassificering af teknologisk udviklingsniveau af fjernvarme</i>	13
2.1.4 <i>Klassificering af tekniske muligheder</i>	15
2.2 Oversigt over fjernvarme i Europa i dag	19
2.3 Generelle rammebetingelser: fjernvarmekonkurrenter	21
3 Opgraderingsprocessen	25
3.1 Virksomheders motivation for opgraderingsprocesser	26
3.1.1 <i>Virksomhedens mål</i>	26
3.1.2 <i>Økonomiske fordele</i>	27
3.1.3 <i>Miljøpåvirkninger</i>	29
3.2 Kortlægning af den nuværende tilstand	31
3.3 Analyse af data	33
3.4 Identifikation af opgraderingsmuligheder: undersøgelse af lønsomhed	35
3.5 Opstilling af kriterier for evaluering ved sammenligning af de forskellige muligheder	35
3.6 Opstilling af en implementeringsplan	36
3.7 Gennemføring af opgraderingerne	37
3.8 Kontinuerlig overvågning af succesen med opgraderingen.....	37
4 Ikke tekniske aspekter	38
4.1 Strategier og målsætninger	38
4.2 Interessenter	40
4.3 Økonomisk analyse	41
4.4 Myndighedsbehandling	41
4.5 Kontraktspørgsmål	43
4.6 Forretningsmodeller for fjernvarme-opgraderings-projekter	44
5 Tekniske opgraderingsmuligheder	45
5.1 Understationer og varmeforbrug.....	45
5.1.1 <i>Vurdering af varme forbruger infrastrukturen</i>	45

5.1.2	<i>Muligheder for reovering af varmecentraler</i>	49
5.2	Varmedistribution og rørledningsteknologier	50
5.2.1	<i>Vurdering af varmfordelingsinfrastrukturen</i>	50
5.2.2	<i>Fjernvarmerørens levetid</i>	52
5.2.3	<i>Oversigt over moderne rørteknologi</i>	56
5.2.4	<i>ombygningsmuligheder for varmfordelingssystemet</i>	58
5.3	Varmeproduktionsteknologier	59
5.3.1	<i>Vurdering af eksisterende infrastruktur til varmeproduktion</i>	60
5.3.2	<i>Integration af solvarme</i>	61
5.3.3	<i>Integration af biomassevarme</i>	66
5.3.4	<i>Integrering af jordvarme</i>	70
5.3.5	<i>Integrering af overskydende varme</i>	74
5.3.6	<i>El-til-Varme</i>	78
5.3.7	<i>Integrering af teknologier til varmelagre</i>	81
5.3.8	<i>Opgradering med vedvarende energi – find den rigtige blanding</i>	86
5.4	Teknisk dataovervågning, kontrol og digitalisering	89
5.5	Muligheder for efterspørgselsrespons	92
	Ordlister og forkortelser	94
	Referencer	98

1 Introduktion

Fjernvarmes historie begynder i det antikke Romerrige, da bade, huse og drivhuse blev forsynet med varmt vand. Enkle fjernvarmesystemer blev videreudviklet i middelalderen indtil i dag. Naturligvis er dagens systemer teknologisk helt forskellige fra de oprindelige, men princippet om at overføre varme, som regel ved vand, fra en varmekilde til en varmeforsynder, er det samme. Især i det sidste århundrede blev fjernvarme udbygget for at udnytte spildvarme fra industrier og fra de centrale kraftværker, endvidere blev affaldsforbrændingsanlæg tilkoblet og tilsammen dækker de i dag en væsentlig del af opvarmningsbehovet hos forbrugerne (Figur 2).



Figur 2: Eksempel på et fjernvarmenet med primært, sekundært og tertiært netværk, der er adskilt af vekslerstationer (Sub.), og som leverer varme til forskellige forbrugere (Kilde: D. Rutz)

Det overordnede koncept for fjernvarme i dag er varmeforsyningen fra en eller flere centrale varmekilder via et rørgnet, der transporterer varmt vand (tidligere damp) til at levere varme til forbrugerne. Ifølge EU's strategi for opvarmning og afkøling (EF, 2016) udgør fjernvarmens bidrag i EU 9% og er i Europa primært drevet af fossile brændstoffer som gas (40%) og kul (29%).

Fjernvarmenet har stort potentiale for en omstilling af varmesektoren både teknisk og organisatorisk. Det giver mulighed for integration af vedvarende energikilder, forbedring af den samlede energieffektivitet samt at lette sektorkobling (kobling mellem opvarmning, elektricitet og mobilitet). Målet er at opgradere fjernvarmesystemer, så de er effektive, og at de har nul (eller tæt på nul) emissioner og dermed bidrager til at mindske klimændringerne. Mange fjernvarme-systemoperatører har endnu ikke udnyttet de reelle muligheder for lavere CO₂-emissioner, som er blevet opnået af frontløberlandene Danmark, Sverige og Island. I 2016 er der opnået beskedne forbedringer ved integration af vedvarende energikilder i fjernvarmesektoren verden over, hvor moderne vedvarende energi leverer ca. 9% af den samlede globale behov. Størstedelen af den vedvarende energi er baseret på biomasse, med mindre bidrag fra solvarme og geotermi (REN21, 2018).

For at kunne udnytte potentialet, skal mange af de ret gamle og dårligt vedligeholdte fjernvarmesystemer i Europa renoveres teknisk eller opgraderes. Dette omfatter forbedringer af varmeanvendelse (effektiv integration af understationer, forudsigelse af husenes fremtidige isolationsstandard osv.), varmedistribution (optimerede rørledninger,

reduktion af lækager, temperaturniveauer osv.) og varmeproduktion (optimeret blanding af varmekilder, varmelagring mv.). Derudover skal også ikke-tekniske aspekter forbedres i mange eksisterende fjernvarmesystemer.

Den samlede opgraderingsproces for at forbedre fjernvarmesystemernes effektivitet er kompleks og sofistikeret. Det er tidskrævende, langvarigt og indebærer store investeringer. Specielle tiltag i de tilsluttede bygninger skal overvejes ved nedsættelse af driftstemperaturer. Det indebærer et tæt samarbejde med bygningernes ejere der renoverer og slutbrugerne. En sådan længerevarende proces hvor temperaturen sænkes distrikt for distrikt har også indflydelse på byens eller distriktets udvikling, hvilket ikke bør undervurderes. Derfor skal den være omhyggeligt planlagt.

For at hjælpe med denne proces blev nærværende **Håndbog** udarbejdet for at informere interessenter, såsom beslutningstagere, politikere, forsyningsvirksomheder, operatører, slutbrugere eller potentielle udviklere af fjernvarmesystemer, omkring mulighederne for opgradering. Således er det ikke en ambition med håndbogen at give detaljerede tekniske retningslinjer for teknikere, men snarere at give **et overblik** over muligheder for renovering og opgradering. Desuden er håndbogen oversat til 6 sprog (Bosnisk. Kroatisk. Dansk. Italiensk. Litauisk og Polsk), idet der i mange lande mangler en sådan information på nationalsproget.

Bogen henvender sig til læsere i hele EU og dele, der er beskrevet med sigte mod Syd- eller Østeuropa, kan være uaktuelle i Nordeuropa f.eks. i Danmark og vice versa.

2 Fjernvarme i Europa

Ifølge Europa Kommissionen tegner opvarmning og køling i vores bygninger og industrien for omkring halvdelen af EU's energiforbrug (EF, 2018a). 84% af opvarmning og afkøling produceres stadig med brug af fossile brændstoffer, mens kun 16% produceres med vedvarende energi. For at opfylde EU's klima- og energimål skal opvarmnings- og kølesektoren kraftigt reducere energiforbruget og reducere brugen af fossile brændstoffer (EF, 2018a).

Derudover udgør opvarmning og varmt vand alene 79% af det samlede endelige energiforbrug (192,5 Mtoe) i **EU-husstande** (EF, 2018a). I 2016 udgjorde boligsektoren 25,4% af det samlede energiforbrug eller 17,4% af det indenlandske bruttoenergiforbrug i EU (EF, 2018b). Husholdninger bruger energi til forskellige formål: rum- og vandopvarmning, rumkøling, madlavning, belysning og elektriske apparater samt andre slutfordbrug. En oversigt over energiforbruget i EU-husholdninger er vist i Figur 3. I **industrien** blev 70,6% af energiforbruget (193,6 Mtoe) brugt til opvarmning af rum og industriel procesopvarmning (EC, 2018a).

Fjernvarme i Europa betjener i øjeblikket (2019) ca. 60 millioner EU-borgere, og yderligere 140 millioner bor i byer med mindst et fjernvarmesystem (Euroheat & Power, 2018a). Ifølge oplysninger i Heat Roadmap Europe data kan næsten halvdelen af Europas varmebehov dækkes med fjernvarme inden 2050, hvis udviklingen i urbaniseringen fortsætter og passende investeringer gennemføres (Euroheat & Power, 2018a). Resultaterne af Heat Roadmap Europe-projektet¹ viser, at fjernvarme kan firdoble sin andel i hele Europa, fra 13% i dag til næsten 50% i fremtiden. Tabel 1 viser de top 5 lande, der anvender fjernvarme baseret på en global undersøgelse.

Fjernvarmenet byder på et stort potentiale for en forandring af varmesektoren både teknisk og organisatorisk. De giver mulighed for integration af vedvarende energikilder, forbedring af den samlede energieffektivitet, samt lette sektorkobling (kobling mellem opvarmning, elektricitet og mobilitet). Mange fjernvarmesystemer i Europa har dog stadig potentiale til at forbedre effektiviteten og reducere brugen af fossile brændstoffer. Nogle systemer har ofte dårlig vedligeholdelse, høje forbruger varmeomkostninger og begrænset mulighed for brugerkontrol, hvilket undergraver billedet af fjernvarme.



Figur 3: Andel af energiforbrug i EU-husstande (Kilde: EC, 2019c)

Tabel 1: Top 5 lande med anvendelse af fjernvarme baseret på 2013-oversigt, oversigt udgivet af Euroheat & Power i marts 2015 (Euroheat & Power, 2018b)

Top fem fjernvarme lande	1	2	3	4	5	Ingen data
Højeste procentdel af indbyggere der forsynes af fjernvarme	Island (92%)	Letland (65%)	Danmark (63%)	Estland (62%)	Litauen (57%)	Kina og Japan
Største totale fjernvarmekapacitet installeret i 2013 (in GWth)	Kina (463)	Polen (56.5)	Tyskland (49.7)	Syd Korea (30)	Finland / Tjekkiet (23)	Danmark og Sverige
Højeste tilvækst i røretlængde i fjernvarmesystemer mellem 2009 and 2013	Italien (58%)	Norge (53%)	Schweitz (52%)	Kina (43%)	Sverige / Østrig (21%)	Island, Rumænien, Syd Korea, Slovakiet
Største samlede varmesalg i 2013 (i million terajoule)	Kina (3.2)	Tyskland (0.26)	Polen (0.25)	Sverige (0.18)	Syd Korea (0.17)	Rumænien
Største andel af vedvarende energi (ekskl. Kraftvarmeværker)	Island (76%)	Norge (61%)	Danmark (46%)	Frankrig (39%)	Schweitz (31%)	Bulgarien, Kina, Kroatien, Italien, Japan og Syd Korea

2.1 Klassificering af fjernvarmesystemer

"Fjernvarme" kan defineres og klassificeres på forskellige måder. Ifølge Eurostat (EF, 2018c) er fjernvarme eller byopvarmning "distribution af varme gennem et netværk til en eller flere bygninger ved brug af varmt vand eller damp produceret centralt, ofte fra kraftvarmeværker, affaldsvarme fra industrien eller fra dedikerede varmesystemer". Men i en bredere definition kan også andre varmebærende medier end vand eller damp potentielt overføre varmen. Endnu bredere kan et "**energidistributionssystem**" ud over fordelingen af varmetransportmedier omfatte fordelingen af kolde transportmedier til afkøling. Derfor bruges ofte termen "fjernvarme og køling" **District Heating and Cooling (DHC)**.

I den europæiske energistatistik har Eurostat medtaget udtrykket "**Derived Heat**" (udvunden varmemængde), som ikke bør forveksles med fjernvarme (Eurostat, 2019). "Udvunden Varme" dækker den samlede varmeproduktion i varmeanlæg og i kombinerede kraftværker inkl. dækket tab, men ekskl. eget forbrug i udvindingsprocessen.

DHC-systemet varierer fra sted til sted iht. størrelse, klima, varmekilder, teknologier, historie m.v. For at karakterisere DHC-systemer kan de klassificeres i kategorier efter fælles kendetegn.

2.1.1 Klassificering efter størrelse af fjernvarmesystemer

Et fjernvarmesystem kan variere i størrelse. Det kan forsyne store områder, som f.eks. det storkøbenhavnske fjernvarmesystem, men også kun små områder eller landsbyer bestående af få huse. Systemets størrelse kan karakteriseres af følgende parametre:

- Rørsystemets længde (udgravningslængde) [m, km]
- Antal vekslersstationer
- Antal tilsluttede forbrugere
- Investeringsomkostninger [DKK]

- Komplexitet (f.eks. antal varmegeneratorer, forbindelsespunkter, ledningsniveauer)
- Distribueret energi (solgt varme) [MWh, GWh, TWh]
- Installeret varmeproduktionskapacitet [MW, GW]
- Fysisk dækning af distriktet [km²]

Disse parametre hænger ofte sammen med hinanden, f.eks. hvis antallet af forbundne forbrugere er højt, er den også den distribuerede energimængde høj, og dermed er de samlede investeringsomkostninger ligeledes høje. Sommetider er parametrene dog ikke sammenhængende, f.eks. i tilfælde hvor kun meget få forbrugere er forbundet, som har et meget stort energiforbrug (f.eks. industrier). Under alle omstændigheder har denne klassifikation ingen strenge definitioner og bruges hovedsagelig til bredt at beskrive fjernvarmesystemer.

Ofte anvendes termerne mikronet, små fjernvarmesystemer og store fjernvarmesystemer, selvom forskellen er flydende. **Store fjernvarmesystemer** har generelt en længere tradition, da de historisk ofte var forbundet med centrale kraftvarmeværker. I dag integrerer store fjernvarmesystemer i stigende grad også store vedvarende energikilder, som f.eks. geotermisk energi eller bioenergi. Rutz et al. (2017) definerer små og mikro fjernvarmenet, som beskrevet herefter, mens store fjernvarmesystemer simpelthen er større end disse to kategorier.

Små fjernvarmenet er lokale koncepter til at forsyne husholdninger såvel som små og mellemstore industrier med varme, der ofte er vedvarende. I nogle tilfælde kan de kombineres med store fjernvarmenet, men det generelle koncept er, at have et individuelt røret, som forbinder et forholdsvis lille antal forbrugere. Ofte implementeres disse koncepter for landsbyer eller byer. De kan forsynes af forskellige varmekilder, herunder solfangere, biomassesystemer, varmepumper og overskydende varmekilder (f.eks. spildvarme fra industrielle processer eller et biogasanlæg, der endnu ikke er fuldt udnyttet). Fossilbrændstofkedler kunne installeres til spidsbelastninger og som backup for at øge den økonomiske bæredygtighed. Små net er normalt drevet af kommercielle operatører og er større end mikronet.

Mikrofjernvarmenet installeres normalt for færre kunder, f.eks. 2 til 10. En fordel ved mikronet er, at disse systemer kan bygges lettere og hurtigere på grund af det lave antal kunder uden lange offentlige procedurer. Kunderne er enige om en passende omkostningsfordeling for den benyttede varme og om, hvem der er ansvarlig for driften af systemet.

Uafhængigt af net-størrelsen er det vigtigt ikke at overdimensionere nettet under planlægningen. Store dimensioner medfører højere varmetab og højere investeringsomkostninger.

2.1.2 Klassificering af de historiske udviklinger i geografiske regioner

Da fjernvarme er blevet introduceret i forskellige europæiske regioner under forskellige rammebetingelser og med forskellige mål, kan fjernvarmesystemer kategoriseres ud fra deres placering.

Nord- og Centraleuropa

Fjernvarmesystemer i Nord- og Centraleuropa viser tekniske ligheder. De opererer normalt ved 120-80/50-40 °C. Dampsystemer findes stadig i nogle byer, men de er ved at blive omdannet til opvarmet vand. Der er en igangværende indsats for at reducere temperaturerne, og nyere områder bliver nu planlagt som lav-temperaturområder med 70/40 eller 60/30 °C. Systemerne opererer både med variable temperaturer og med variable flowmængder. Rør er generelt præisolerede rør og ofte polyethylenrør (PEX) for de mindre dimensioner. Vedvarende energi fra biomasse, varmepumper og termiske solfangere integreres i stigende grad.

Danmark har især en vigtig rolle indenfor udviklingen af fjernvarmesektoren i Europa, da det er et af de mest avancerede lande inden for fjernvarme. Fjernvarme er en af de mest anvendte måder til opvarmning af bygninger og produktion af varmt vand i Danmark. I København opvarmes mere end 98% af etagearealet med fjernvarme. Fjernvarme blev betragtet som en måde at løse problemet med høj afhængighed af importeret olie og etablere en pålidelig forsyning. For at sikre, at de enorme investeringer i kraftvarmeanlæg, transmissionssystemer og distributionsrørledninger bliver omkostningseffektive også i den nationale økonomi, blev der udført et omfattende arbejde med varmeplanlægning. Danmark blev opdelt i små zoner for at definere den mest egnede opvarmningsløsning: fjernvarme, naturgas eller individuelt (olie) fyrede kedler. Denne nationale varmeplanlægning forhindrede konkurrence og dobbelt investeringer i rør til naturgas og fjernvarme i samme geografiske område. De fleste husstande er forbundet med det offentlige fjernvarmesystem, da der var et økonomisk incitament til at tilslutte sig. Det økonomiske incitament skabes via skattelovgivningen.

Efter 2000 skiftede fjernvarmesektoren fokus igen. Der er lagt stor vægt på energieffektivitet og hvordan man reducerer tab fra rørrettet og hvordan man kan forbedre driften af slutbrugerens installationer. Varmeproduktion baseret på biomasse, varmeproduktion fra solvarme, introduktion af varmelagrere, anvendelse af varmepumper eller geotermisk energi er teknologier, der findes i forskellige fjernvarmesystemer over hele landet. Den enorme omstrukturering af energisektoren, kombineret med fokus på miljøpåvirkninger, energibesparelser og økonomiske konsekvenser, har sat skub i industrien.

Østeuropa

I Østeuropa er fjernvarme også en meget udbredt og velkendt teknologi. Sammenlignet med fjernvarmesystemerne set i Vesteuropa er systemerne i Østeuropa / tidligere Sovjetunionen blevet udviklet under ganske forskellige omstændigheder. Mange systemer er bygget under et centralt planlagt økonomisystem, og fakturering for varme (på slutbrugerniveau) er stadig en af de store udfordringer for systemerne i dag. I mange østlige lande er de tunge industrier, der brugte damp (og hedt vand), lukket eller omstruktureret til andre former for industri, og derfor er betydelige dele af indtægterne for fjernvarmesystemer (og varmeproducenter) forsvundet.

Fjernvarme i Østeuropa blev ofte drevet med damp og overophedet vand. Rør var ofte dårligt isolerede stålrør, som trinvist blev erstattet af præisolerede rør. Kontrol af systemparametre var ofte uflexibel, for eksempel var flowhastigheden konstant. Kontrol af belastningen (varme leveret til de forbundne forbrugere) fandt sted ved at justere den centrale fremløbstemperatur. Denne form for belastningskontrol er simpel, men har flere ulemper, f.eks. at justering af varmeforsyningen til den enkelte forbruger er vanskelig. Konsekvensen er, at systemet kører med hydraulisk ubalance, der fører til situationen, hvor nogle boliger opvarmes tilstrækkeligt, og andre bygninger lider af lave stuetemperaturer. Oprindelige designs kan have været for 150/70 °C, men i dag forsynes systemerne ved meget lavere temperaturer.

Systemerne kæmpede/kæmper ofte med termiske ubalancer, belægninger på varmevekslere og vandlækager. Indførelsen af moderne teknologier og moderne

koncepter er en stor udfordring i dag, da mange systemer lider af manglende økonomiske midler og utilstrækkelig tilbagebetalingsformåen.

Nytilkomne lande

I flere europæiske lande er introduktionen af fjernvarme relativ ny. En udfordring i disse lande er, at husene nogle gange ikke er udstyret med vandbaserede centralvarmesystemer, som er nødvendige for varmforsyning med fjernvarme. Indførelsen af fjernvarme er ikke kun en konvertering af varmekilden, men kræver også en betydelig investering, der må bæres af husejerne.

En anden udfordring kan være at overvinde den negative offentlige opfattelse af fjernvarme i nogle lande, hvor det ofte betragtes som en centraliseret og socialistisk teknologi. Villigheden til at stole på en offentlig forsyning til opvarmning kan være helt forskellig fra, hvorledes systemerne opfattes i de nordiske lande og i de sydlige dele af Europa.

Imidlertid forbedres dette billede trinvist, da systemerne i dag kan være yderst effektive, og ligeledes omkostningseffektive og baseret på store andele af vedvarende energi (f.eks. solvarme eller biomasse). En ny tilgang til nogle af disse systemer er at muliggøre sektor-sammenkobling (varme, kraft, transport). Mange af de nyere fjernvarmesystemer, baseret på vedvarende energi, er småskala systemer.

2.1.3 Klassificering af teknologisk udviklingsniveau af fjernvarme

Afhængigt af tidspunktet for etableringen af fjernvarmesystemet og de anvendte teknologier kan der skelnes mellem 4 forskellige generationer af fjernvarmesystemer, beskrevet af Lund et al. (2014) som følger:

Første generation

Den første generation er et dampbaseret system, der kører på kul. Det blev først introduceret i USA i 1880'erne og blev også populært i nogle europæiske lande. Det var "state of the art" indtil 1930'erne og brugte betonkanaler, der anvendte meget høje temperaturer. Derfor var disse systemer ikke ret effektive. Der var også problemer med pålidelighed og sikkerhed på grund af de varme tryksatte damp rør. I dag er denne generation teknologisk forældet. Imidlertid er nogle af disse systemer stadig i brug, for eksempel i New York og Paris. Andre systemer, der oprindeligt blev bygget som 1. generation, er efterfølgende blevet konverteret til senere generationer. (Lund et al., 2014).

Anden generation

2. generation blev udviklet i 1930'erne og blev bygget indtil 1970'erne. Denne generation er kendetegnet ved forbrænding af kul og olie. Varmen overføres via varmt vand under tryk. Systemerne har normalt forsyningstemperaturer over 100 °C, anvender vandfyldte rør i betonkanaler, der hovedsagelig er monteret på stedet. En væsentlig grund til at installere disse systemer var de primære energibesparelser, der opstod ved brug af kombinerede kraftvarmeværker. Typiske systemer i denne generation var de sovjetiske fjernvarmesystemer, der blev bygget efter 2. verdenskrig i flere lande i Østeuropa. (Lund et al., 2014).

Tredje generation

I 1970'erne blev den 3. generation udviklet og blev brugt i de fleste efterfølgende systemer over hele verden. Denne generation kaldes også den "Skandinaviske Fjernvarmeteknologi", fordi mange af fjernvarme-komponent-producenterne er placeret i Skandinavien. Den tredje generation bruger præfabrikerede, præisolerede rør, der direkte nedgraves i jorden og som arbejder med lavere temperaturer, normalt under 100 °C. En primær motivation for opbygningen af disse systemer var forsyningssikkerheden ved at forbedre energieffektiviteten efter de to oliekriser, der førte til en afbrydelse af olieforsyningen. Derfor brugte disse systemer normalt kul, biomasse og affald som

energikilder, mens olie for det meste blev udeladt. I nogle systemer anvendes også geotermisk energi og solenergi i energisammensætningen (Lund et al., 2014). For eksempel har Paris brugt geotermisk opvarmning til husholdningsbrug fra en 55-70 °C kilde 1-2 km under overfladen siden 1970'erne.

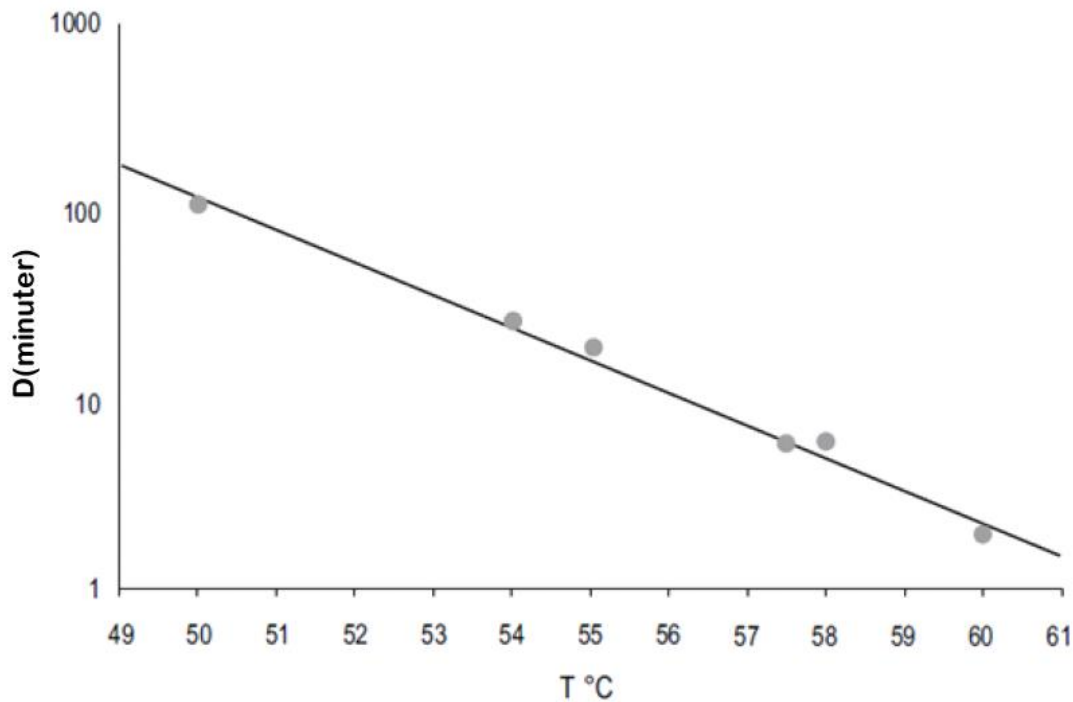
Fjerde generation

I øjeblikket udvikles den 4. generation (Lund et al., 2014) som for eksempel i Danmark (Yang et al., 2016). 4. generation er designet til at bekæmpe klimaændringer og integrere store andele af variabel vedvarende energi i fjernvarmesystemet, hvorved det giver høj fleksibilitet for el-systemet.

Ifølge gennemgangen af Lund et al. (2014) skal disse systemer have følgende egenskaber:

- Kunne levere lavtemperatur-fjernvarme til rumopvarmning og varmtvand (DHW) til eksisterende bygninger, energirenoverede eksisterende bygninger og nye lavenergi bygninger.
- Kunne distribuere varme i nettet med lave nettab.
- Kunne genvinde varme fra lavtemperaturkilder og integrere vedvarende varmekilder som sol og jordvarme.
- Kunne udgøre en integreret del af intelligente energisystemer (dvs. integreret smart el-, gas-, væske- og termiske net), herunder at være en integreret del af 4. generations fjernvarmesystemer.
- Kunne sikre passende planlægnings-, omkostnings- og motivationsstrukturer i forhold til driften samt til strategiske investeringer i forbindelse med omstillingen til fremtidige bæredygtige energisystemer.

Sammenlignet med de foregående generationer reduceres temperaturniveauet på 4. generations fjernvarmesystemer til forsyningstemperaturer på 70 °C og lavere for at øge systemets energieffektivitet. Potentielle varmekilder er spildvarme fra industrien, kraftvarmeverker, affaldsforbrænding, biomassekraftværker, geotermiske og centrale solvarme-systemer, varmepumper i stor skala, spildvarme fra køleformål (f.eks. fra luftkonditionering til datacentre) og andre energikilder. Med disse energikilder og storskala termiske energilagre, herunder sæsonbestemte termiske energilagre, forventes 4. generation fjernvarmesystemer at give fleksibilitet til at afbalancere vindenergi og solenergi. For eksempel kan varmepumper bruges til at omsætte overskuds-el-energi til varmeproduktion, når der er overskud af vindenergi (Lund et al., 2014). Derfor betragtes store varmepumper som en nøgleteknologi til intelligente energisystemer med høje andele af vedvarende energi på op til 100% og avancerede 4. generations fjernvarmesystemer (Lund et al., 2014). En udfordring ved lavtemperatur-fjernvarmesystemer er at sikre en minimumstemperatur for varmt brugsvand for at undgå legionellabakterier, der kan modstå temperaturer over 50 °C i nogle få timer (se Figur 4).



Figur 4: Decimale reduktionstider for Legionella Pneumophila Serogruppe 1 ved forskellige temperaturer (World Health Organization, 2007)

Afhængigt af varmtvandsbeholderens størrelse og de nationale krav kan det være nødvendigt at opvarme varmt brugsvand permanent eller i det mindste midlertidigt til et temperaturniveau på 55-60 °C. Normalt kræver dette en lidt højere tilførselstemperatur ved varmekilden. Der findes dog mulige tekniske løsninger til at sikre 60 °C til varm vandforsyning, selvom fremløbstemperaturen på fjernvarmenettet er lavere end det.

2.1.4 Klassificering af tekniske muligheder

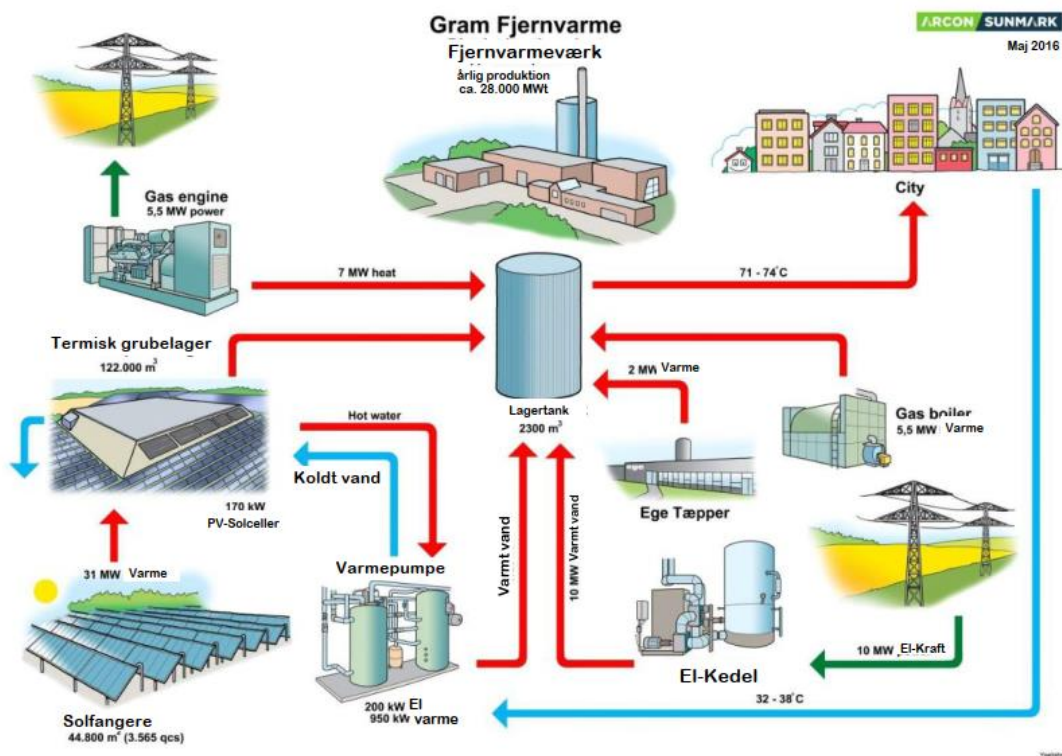
Fjernvarmesystemer kan klassificeres ud fra forskellige tekniske muligheder. I dette kapitel beskrives nogle af de hyppigste opdelinger.

Klassificering ud fra varmekilden

Fjernvarmesystemer kan opdeles i centraliserede og decentrale systemer afhængigt af placeringen af varmeproduktionen. Historisk blev de fleste fjernvarmesystemer betjent med et eller kun nogle få **centraliserede** varmekilder. Vanligvis blev varmen fra kraftvarmefaciliteter, der normalt kørte på kul, gas eller olie, leveret til fjernvarmesystemet. Disse systemer bruger ofte kun mindre varmelagre for at balancere driften af systemet og for at kunne maksimere elproduktionen.

Men i dag er der et stigende antal **decentrale** fjernvarmesystemer, der bruger varme fra forskellige decentrale produktionsanlæg. I Danmark findes en række sådanne systemer. Et eksempel er vist i Figur 5 nemlig fjernvarmesystemet i Gram i Danmark. Det bruger flere teknologier som centralt solvarmeanlæg og naturgaskedler, overskudsvarme fra industrien, en varmepumpe, en elkedel, en buffertank og en bestemt sæsonvarmelager.

Selv om fjernvarme i Europa stadig domineres af fossile brændstoffer, er den fremtidige forsyning baseret på vedvarende energikilder, dvs. geotermisk, solvarme, biomasse, kraftvarme og overskudsvarme fra forskellige kilder som industrier og servicesektoren.



Figur 5 Det decentrale fjernvarmesystem i Gram i Danmark med flere varmekilder (Kilde: <http://www.gram-fjernvarme.dk>)

Klassificering efter varmedistribution

Fjernvarmesystemer distribuerer varmen gennem rørledninger, hvor varmemediet overføres fra produktionsanlæggene til slutbrugerne. Damp og vand kan bruges som varmemedium afhængigt af forbrugertype, systemets alder mv. Forskellige temperaturniveauer er ofte forbundet med forskellige generationer af fjernvarmesystemer, som tidligere nævnt.

For eksempel blev **damp** hovedsagelig brugt i 1. generation af fjernvarme. Men nogle systemer bruger stadig damp, især når der er industrier blandt forbrugerne. Damp er en temmelig ineffektiv bærer, da dens temperaturniveau er højt. I 1. generations systemer var der ofte ikke engang et returrør til kondensatet, hvilket gjorde det til et åbent kredsløb, hvor kondensat blev drænet i kloakken (dette ses stadig i USA).

I de fleste af systemerne i dag er damp udfaset og erstattet af **varmt vand** med forskellige temperaturniveauer. Da fjernvarmenettet har brug for noget drivtryk til cirkulation af vandet, er fjernvarmenet altid trykssystemer. Dette betyder, at temperaturen på fjernvarmesystemer kan være over 100 °C. I dag drives mange fjernvarmesystemer i udlandet stadig med temperaturer på kredsløbsvandet ved 100 °C eller derover. Selvom disse systemer kan være meget effektive, øges varmetab og dermed effektivitetstab ved højere temperaturer især for systemer, der bruger dårligt isolerede rør.

Mange fjernvarmesystemer arbejder med temperaturer, der er betydeligt under 100 °C. Hvis de kombineres med præisolerede rør til højere effektivitet, kan dette resultere i flere fordele, herunder reduktion af tab i distributionsnettet under 10-15 %, og man kan bedre bruge vedvarende energikilder med lav temperatur og overskydende varmekilder kombineret med termiske lagre. På grund af disse fordele er der i dag en generel tendens mod **lavtemperatur fjernvarme** med forsyningstemperaturer under 60 °C. Og med "boosterenheder" på forbrugersiden vil man kunne gå længere ned. Anvendelsen af disse systemer afhænger af de tilsluttede bygninger og varmedistributionsnettet i bygningerne.



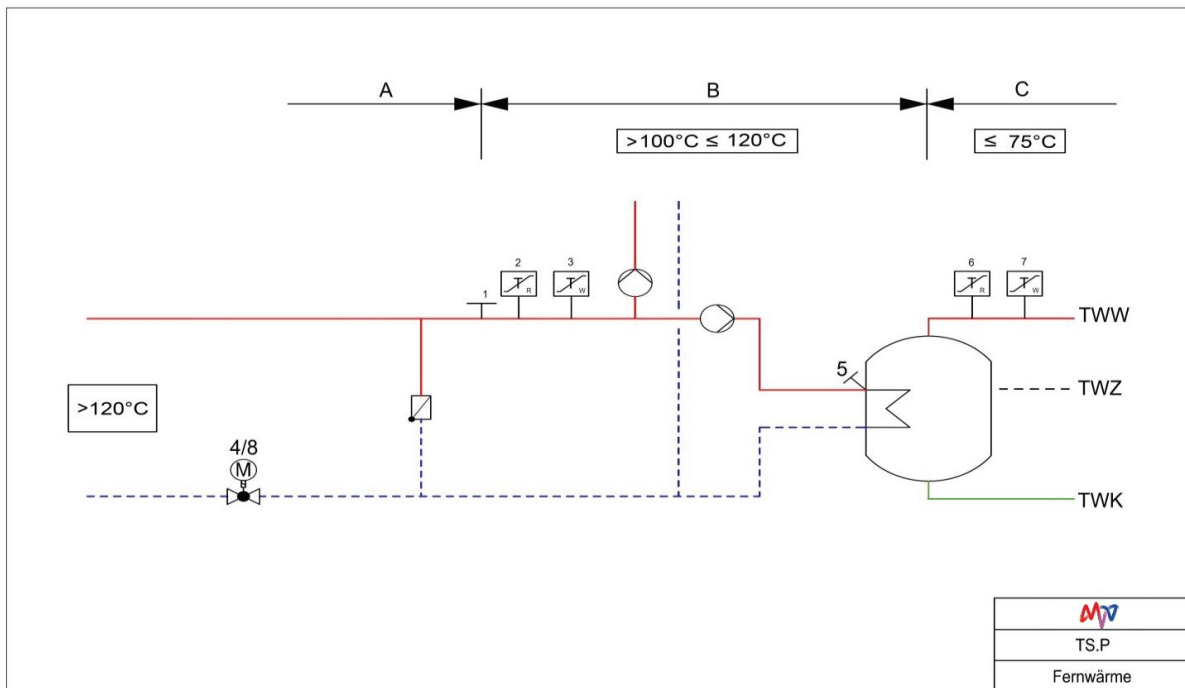
Figur 6: Lavtemperatur fjernvarme gør det muligt at bruge plastrør (her et twin rør), hvilket er mere kosteffektivt på grund af rørenes fleksibilitet der gør dem lettere at montere (Kilde: B. Doračić)

Klassificering ud fra varmeforbrug

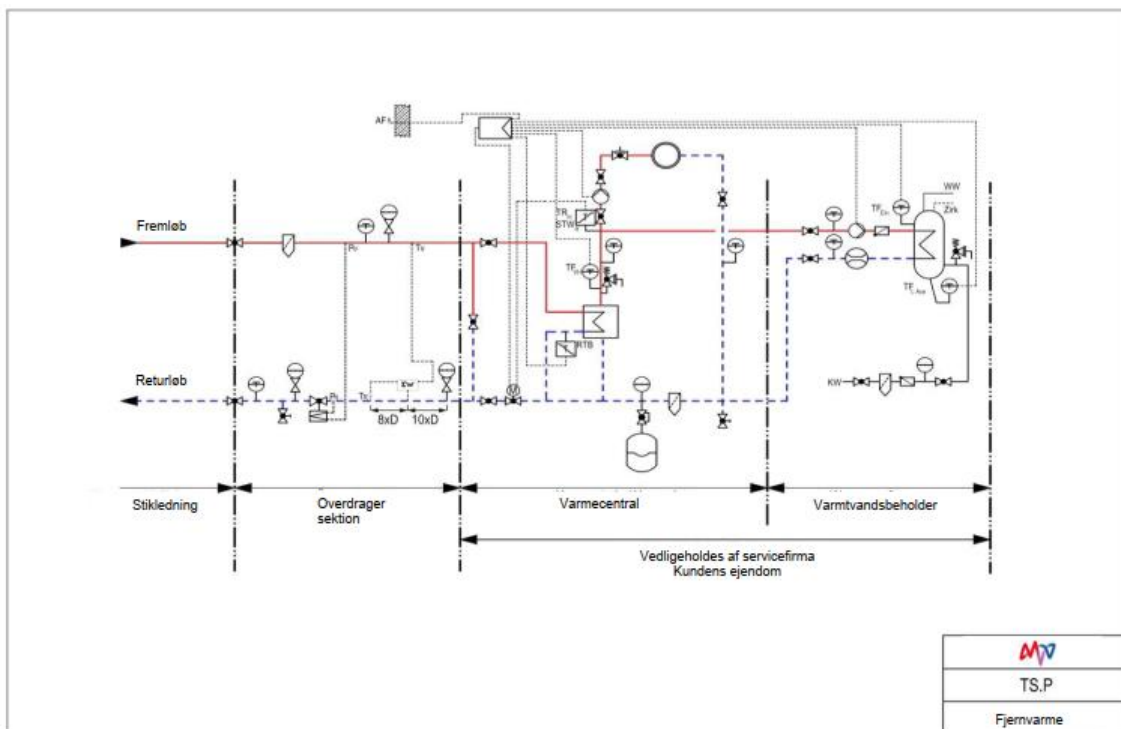
Varmen overføres normalt i netværket til den endelige forbruger ved hjælp af forskellige niveauer af net (se Figur 2) som klassificeret i AGFW's retningslinjer (AGFW FW 510, 2018). Det **primære net** består af rørene, der er indirekte (gennem varmeveksler) eller direkte forbundet med det varmeproducerende anlæg. Det **sekundære net** er et fjernvarmenet, der er adskilt fra det primære fjernvarmenet ved hjælp af en vekslerstation. Det **tertiære net** er bag slutbrugerens varmevekslerstation. Nogle systemer består kun af et eller to niveauer.

Desuden kan de klassificeres ud fra direkte og indirekte systemer. I et **direkte system** strømmer fjernvarme i primærnettet direkte gennem forbrugernes varmeanlæg. I disse systemer strømmer vandet fra distributionsnettet gennem bygningens fordelingsrør og radiatorer. På grund af betydelige ulemper ved direkte systemer (f.eks. høje temperaturer, problemer i tilfælde af lækage) for de ældre systemer bliver de gradvist faset ud. I dag er indirekte systemer, hvor primærnettet er adskilt fra forbrugerrørsystemerne gennem varmevekslere det mest almindelige.

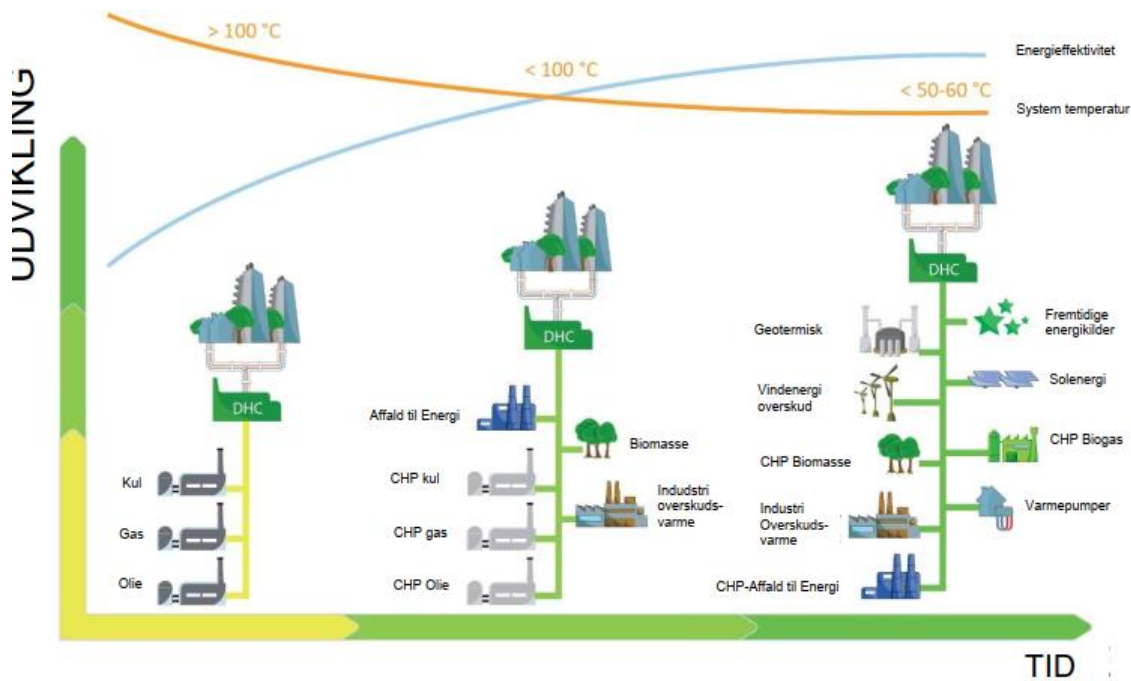
En anden klassificering på forbrugersiden indeholder systemer, der **kun leverer varme til rumopvarmning** eller systemer, som leverer varme til både rumopvarmning og varmt brugsvand. **Systemer, der også leverer varmt vand**, skal fungere hele året, mens systemer til rumopvarmning kan lukkes om sommeren. Til disse systemer fremstilles varmt vand normalt med elektriske kedler (evt. med gas). I moderne fjernvarmesystemer, hvor der anvendes kilder som solvarme og overskydende varme, leverer fjernvarmesystemer dog også varmt vand for at øge antallet af driftstimer årligt og dermed hele systemets lønsomhed.



Figur 7: Direkte koblet system (Kilde: MVV Netze, 2015)



Figur 8: Indirekte koblet system (Kilde: MVV Netze, 2015)



Figur 9: Udvikling af fjernvarmesystemer gennem tiden (Kilde: 4GDH)

2.2 Oversigt over fjernvarme i Europa i dag

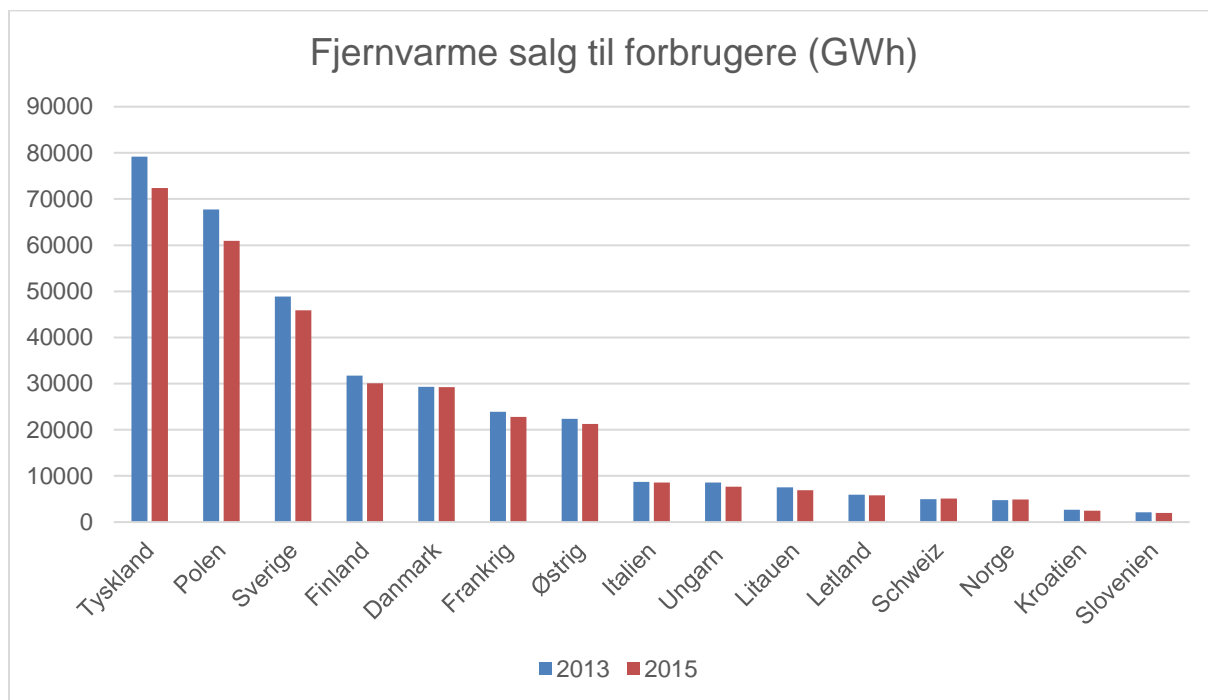
For at udvikle tekniske og ikke-tekniske fjernvarme-opgraderingsmuligheder for fjernvarme i Europa er viden om den tidligere udvikling og eksisterende fjernvarmemarkeder i europæiske lande vigtig. Et detaljeret statistisk overblik over nutidens fjernvarme i Europa fremgår af rapporten "Country by Country" fra Euroheat & Power (2017). Dette kapitel er baseret på undersøgelsen udført af Gerdvilla (markedsdata fra 2015) med medlemmer og associerede i Euroheat & Power.

Den samlede mængde fjernvarme leveret til europæiske kunder er stadig forholdsvis lille. Andelen er omkring 11-12% af EU's varmeforbrug og leveres af 6.000 varme netværk. Fjernvarme er mest almindeligt i de traditionelt lande i Nord / Østeuropa med kolde vintre. Som det fremgår af Figur 10, er det største fjernvarmemarked i Tyskland efterfulgt af Polen og Sverige. I Sydeuropa spiller den i øjeblikket kun en mindre rolle. Ca. 60 millioner EU-borgere betjenes af fjernvarme, og yderligere 140 millioner bor i byer med mindst et fjernvarmesystem.

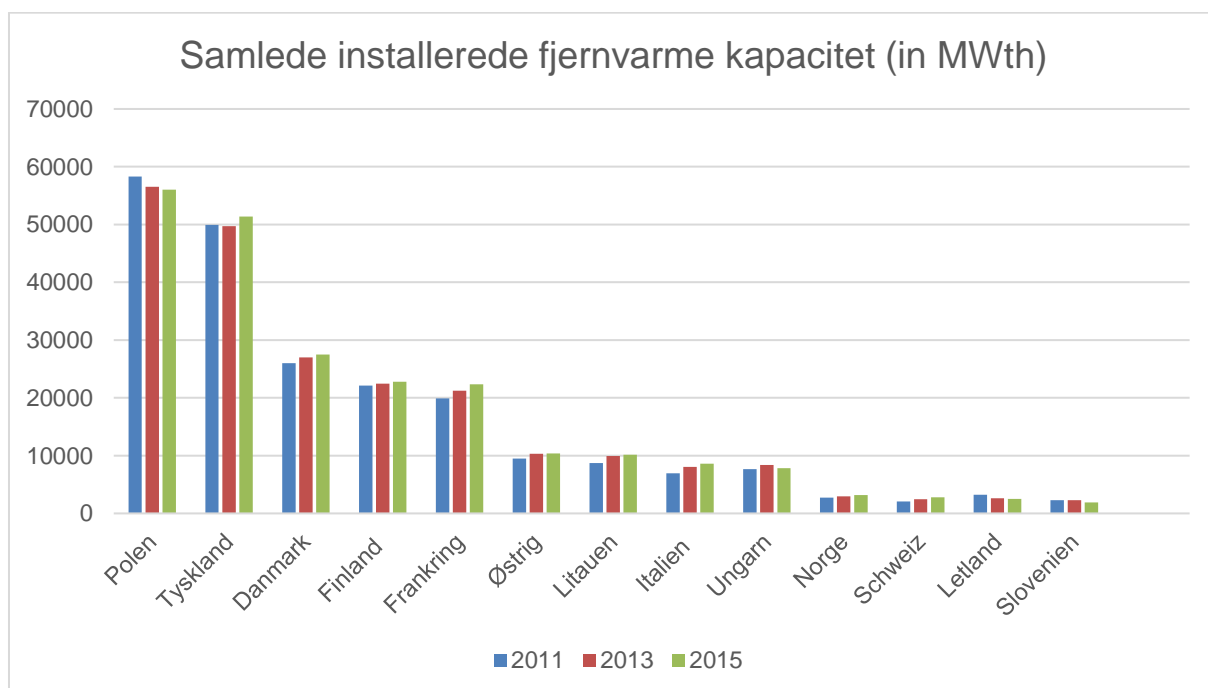
Den samlede installerede fjernvarmekapacitet voksede siden 2011 i ti lande (Figur 11), mens den største procentvise stigning fandt sted i Schweiz (36%), efterfulgt af Italien (24%), Norge og Litauen (begge 16%).

Andelen af fjernvarme i forhold til andre varmesystemer er højest i Danmark, Litauen, Sverige, Polen og Finland, som Figur 12 viser, andelen i alle andre lande er under 15%. Det mest markante fald i andelen fandt sted i Sverige, hvor flere kunder har valgt elvarme, herunder varmepumper på grund af lave elpriser. Andelen af elektrisk opvarmning steg der med 4%.

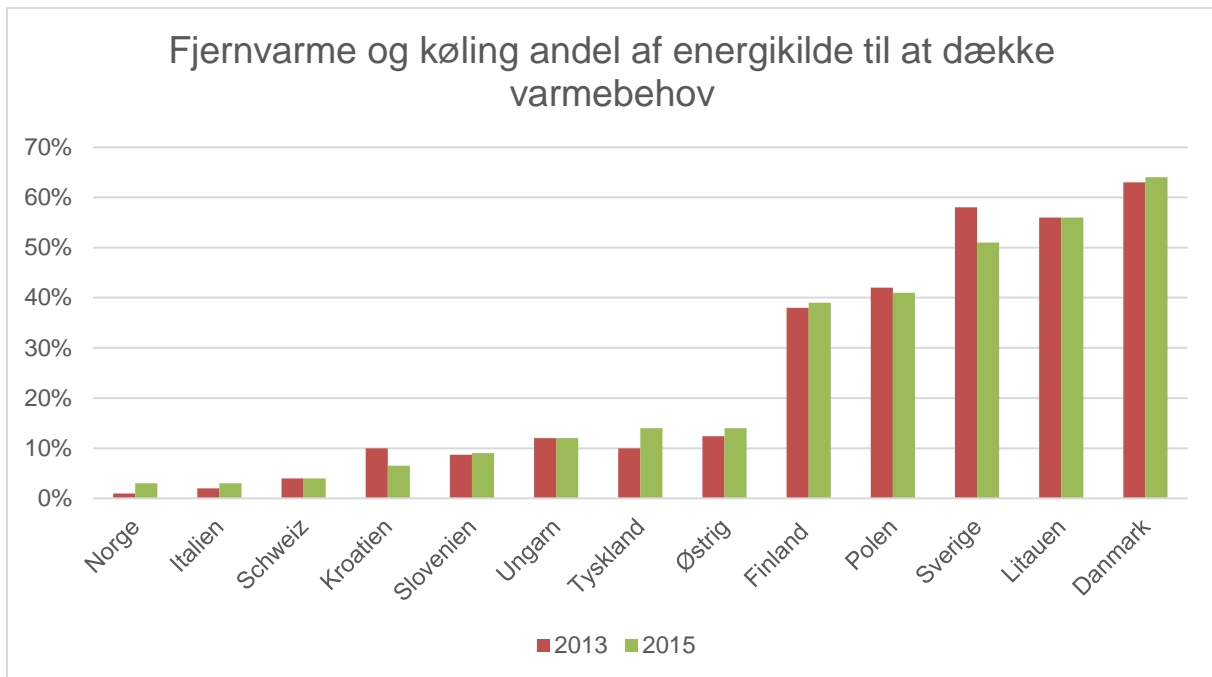
Generelt bliver varmeforsyningen i Europa i stigende grad dækket med vedvarende energi, som Figur 13 viser. I gennemsnit steg andelen af vedvarende energi i DHC med 10% fra 2011 til 2015.



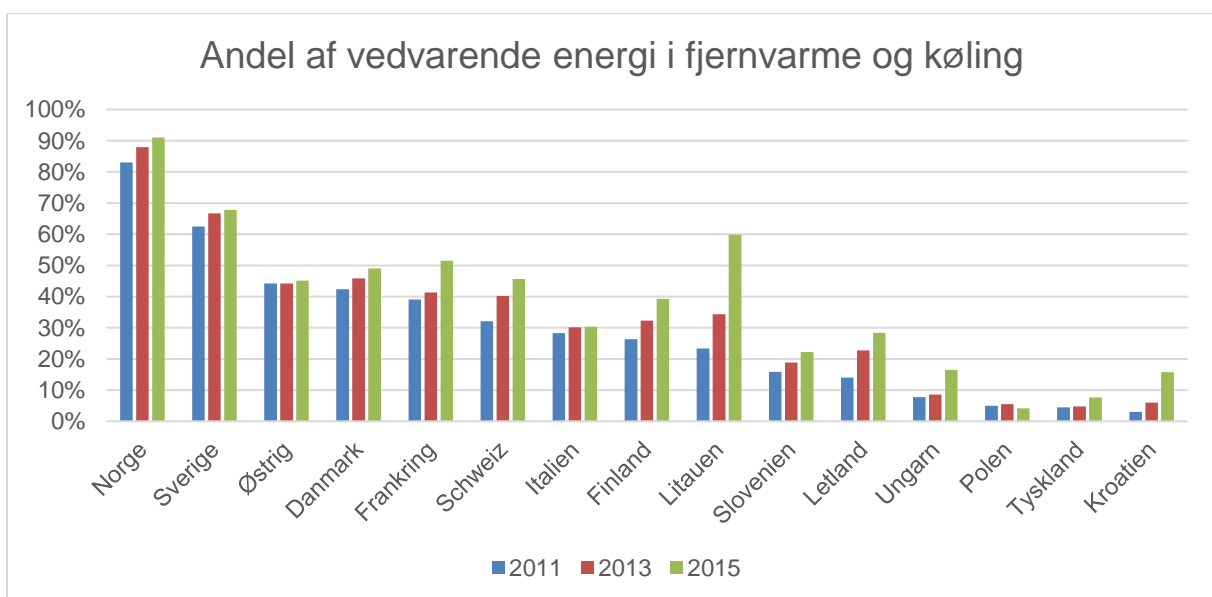
Figur 10: Fjernvarmesalg til forbrugerne i GWh (Kilde: Executive Summary by Gerdvila, Country by Country 2017, Euroheat & Power)



Figur 11: Samlede installerede fjernvarmekapacitet (i MWth) (Kilde: Executive Summary by Gerdvila, Country by Country 2017, Euroheat & Power)



Figur 12: DHC andel i forhold til andre varmeløsninger i Europa (Kilde: Executive Summary by Gerdvila, Country by Country 2017, Euroheat & Power)



Figur 13: Andel af vedvarende energi i DHC i Europa (Kilde: Executive Summary by Gerdvila, Country by Country 2017, Euroheat & Power)

2.3 Generelle rammebetingelser: fjernvarmekonkurrenter

Selvom der er mere end 7.000 fjernvarmesystemer i Europa, dækker de kun ca. 13% af varmebehovet i de europæiske lande. Dette viser, at de fleste bygninger stadig opvarmes på andre måder, hovedsagelig individuelle opvarmningsløsninger på husstands- eller bygningsniveau. Der er flere grunde til denne situation, som vil blive uddybet i dette kapitel.

Andelen af fjernvarme der dækker varmeforbruget i et bestemt land, afhænger væsentligt af det pågældende lands geografiske beliggenhed, men også på den historiske udvikling. Danmark, Litauen og Sverige er de førende europæiske lande, hvad angår udnyttelse af fjernvarme. Andelen af husholdninger, der er forbundet med et fjernvarmesystem i Island,

er 92%, og det er helt bæredygtigt, fordi der bruges geotermisk energi. Danmark, hvor 63,3% af borgerne er tilsluttet til fjernvarme, er også kendt for at bruge bæredygtige energiløsninger. Når man rykker sydpå i Europa, er der dog generelt behov for mindre varme, og derfor falder andelen af fjernvarme betydeligt. Ikke desto mindre er der stadig brug for opvarmning om vinteren i lande som Spanien, Grækenland, Portugal mv., hvor der anvendes forskellige løsninger, f.eks. klimaanlæg (reversible varmepumper) og individuelle kedler.

Lande i Østeuropa har ofte en stor andel af fjernvarmesystemer, men de indeholder ofte store og gamle overdimensionerede kedler, der benytter fossile brændstoffer med lav udnyttelsesgrad. Af den grund opfattes de ofte som en dårlig løsning af borgerne, hvilket resulterer i en øget tendens til at frakoble sig sådanne systemer.

Den hyppigste udskiftning til fjernvarme i de sydlige og østeuropæiske lande er fra **individuelle kedler** i bygningen eller husstanden. Disse kedler er i de fleste tilfælde baseret på naturgas og biomasse i forskellige former (træpiller). Fyringsolie bruges i en vis grad, selv om denne gradvist bliver udfaset. Naturgaskedler anvendes normalt i byer, da en af forudsætningerne er at konvertere til naturgas. Moderne kedler har høje effektiviteter, over 90%, og er derfor populære løsninger blandt borgerne. Naturgas er fossil og er ikke en bæredygtig løsning til opvarmning på individuelt niveau. Brugen af dette brændstof reducerer forsyningssikkerheden, da de fleste europæiske lande er afhængige af importeret gas fra tredjelande. Endvidere kan brændstofpriserne variere betydeligt og forventes at stige i fremtiden. Endelig er det fra energisynspunktet ikke effektivt at anvende naturgas til at producere lavværdi energi, dvs. varme.

Biomassekedler bruges ofte i landdistrikterne, da biomasse sædvanligvis er til stede i det omkringliggende område. I nogle lande har borgerne egne skove og har derfor egen opvarmingsløsning. Moderne biomassekedler har et effektivt filtreringssystem, der reducerer emissionerne af lokalt forurenende stoffer. Disse kan være et godt alternativ til fjernvarme i områder, hvor varmetætheden ikke er høj nok til at indlægge fjernvarme. Mange landdistrikter har imidlertid en høj andel af gamle og ineffektive brændeovne. Dette resulterer i høje udledninger af nitrogenoxider, kulilte og især partikler. Dette kan udgøre et alvorligt problem i vintermånederne, da disse forurenende stoffer forbliver i området og forårsager alvorlige sundhedsproblemer for borgerne. Den største hindring for at erstatte sådanne gamle kedler i landdistrikterne er deres demografi og den lavere velstand i befolkningen på den ene side og de lave driftsomkostninger af et sådant system på den anden side.

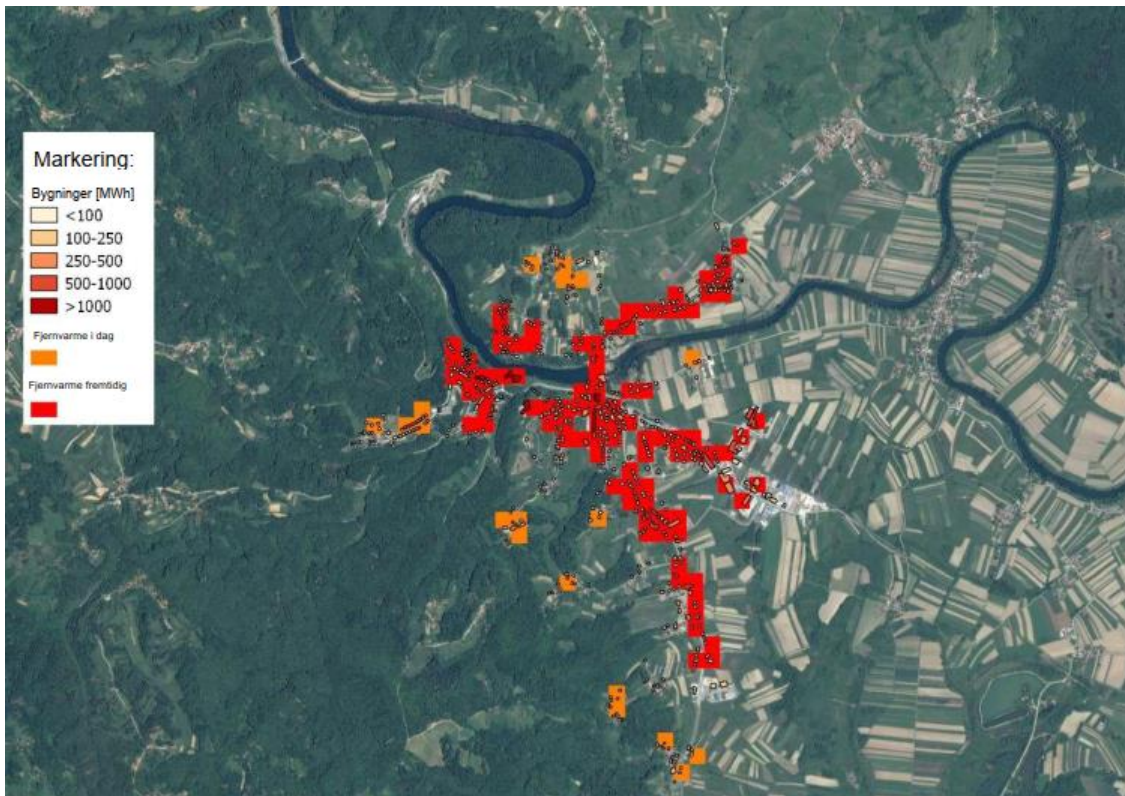
I de sydeuropæiske lande bruger flere husholdninger også varmepumper til opvarmning i vintermånederne. Det er normalt i områder, hvor der er store kølebehov om sommeren og lave varmebehov om vinteren. Airconditionanlæg er hovedsageligt repræsenteret med små luft til luftvarmepumper. Varmepumper forventes at blive en betydelig varmekilde i fremtidens energisystemer. Mere præcist vil luft-til-vand, jord-til-vand og vand-til-vand-varmepumper blive anvendt som et alternativ til fjernvarmesystemer i områder, der har et lavt temperaturbehov i hele Europa. Anvendelse af luft-til-luft varmepumper til opvarmning, som de er i øjeblikket, er imidlertid en ineffektiv måde at opvarme på om vinteren pga. en lav COP-værdi, når det er koldt om vinteren og når der er mest brug for varme.

Fjernvarme er generelt økonomisk muligt i områder, hvor varmetætheden er høj nok. Derfor kunne de fleste beboelseskvarterer i byerne være tilsluttet med fjernvarme i dag. Et nyttigt værktøj til analyse af potentialet for fjernvarme er kortlægning af varmebehov med geografiske informationssystem (GIS) værktøjer, som grafisk kan vise omfanget af det potentielle fjernvarmesystem, som det kan ses i Figur 14.

Potentialerne for fjernvarme er i øjeblikket meget højt. For at opnå en bæredygtig og fossilfri varmesektor skal fjernvarme udvides til at dække en meget højere andel af varmebehovet. Dette skal kombineres med at der gennemføres energibesparende foranstaltninger i bygningerne for at muliggøre anvendelse af lavtemperaturvarme

produceret på forskellige vedvarende kilder som sol, geotermisk mv. Den resterende del af varmekonsumet i områder med lav varmetæthed bør dækkes af individuelle varmepumper, som tidligere nævnt i dette afsnit.

En af de største hindringer i øjeblikket mod en øget andel af fjernvarme i Europa er **konkurrencen med naturgas inden for denne sektor**. Fjernvarme er imidlertid også i konkurrence med alle andre opvarmningsmuligheder. Et varmesystem, når det først er blevet valgt, vil normalt ikke blive ændret på kort sigt. Dette er blevet løst i lande som Danmark ved specifikt at definere zoner, hvor fjernvarmenettet skal udbygges og der, hvor der skal bygges naturgasnet. Med andre ord, planlægges den kommunale opvarmning fysisk i særlige fjernvarmeområder, hvor alle husholdninger skal forbindes til denne varmekilde og i naturgasområder. Situationen er imidlertid helt anderledes i Sydøsteuropa, hvor fjernvarme og naturgas normalt er til stede og tilgængelige for forbrugerne samtidig. På grund af manglende viden om fjernvarme blandt den brede offentlighed og de lave naturgaspriser nogle steder, er det ikke usædvanligt, at de nye bygninger tilslutter sig et naturgasnet i stedet for fjernvarmenettet, på trods af dets tilgængelighed på stedet.



Figur 14. Kort over varmeefterspørgslen i byen Ozalj i Kroatien, som også viser dele af byen, hvor det ville være muligt at tilslutte forbindelse til et fjernvarmesystem (orange og røde dele) (Kilde: Doračić et al. 2018)



Figur 15. Naturgas og fjernvarmenettet i byen Velika Gorica i Kroatien (Kilde: T. Novosel)

3 Opgraderingsprocessen

Fjernvarmenettet har et stort potentiale for omstilling af varmesektoren både teknisk og organisatorisk. Det giver muligheder for integration af vedvarende energikilder, forbedring af den samlede energieffektivitet og kan muliggøre sektorkobling (kobling mellem opvarmning, elektricitet og mobilitet).

Normalt er den overordnede opgraderingsproces for at forbedre fjernvarmenettets effektivitet kompleks og sofistikeret. Det er tidskrævende, langvarigt og indebærer store investeringer. Påvirkningerne på de tilsluttede bygninger skal overvejes, for eksempel ved en nedsættelse af driftstemperaturerne. Det indebærer normalt et direkte samarbejde med bygnings ejere og slutbrugere.

Ideelt er den overordnede opgraderingsproces i en **holistisk proces som skal ses som et samlet projekt**, der overvejer alle aspekter af et system, herunder varmeproduktion, distribution og anvendelse for at maksimere effektiviteten af det samlede system. Men da dette ofte er langvarigt og dyrt, opgraderes i mange tilfælde kun dele af det samlede system i mindre trin. Dette har fordelen ved at være hurtigere og fordele investeringerne, men det indebærer risikoen for mindre effektive forbedringer af det samlede system. Da hvert fjernvarmesystem er specifikt og individuelt, findes der ingen unik standard-opgraderingsproces. Ikke desto mindre kan procedurerne alligevel være de samme, og flere aspekter af processen er beskrevet i de følgende kapitler.

Det er vigtigt, at alle **interessenter** er involveret allerede i planlægningsfasen for at sikre accept fra: varmeleverandører, (herunder af overskudsvarme fra industrien), fjernvarmeoperatører, boligforeninger, bygherrer, slutbrugere og lokale beslutningstagere. Planlægningsfasen bør levere en konkret løsning både på tekniske og organisatoriske foranstaltninger baseret på en detaljeret diagnose af den nuværende situation. På grund af den høje investering og varigheden af opgraderingen bør diagnosen også tage højde for den fremtidige udvikling af varmeefterspørgslen baseret på aktuelt behov og tilgængelige demografiske tendenser og scenarier.

Desuden skal spørgsmålene om **lønsomhed** og finansiering af de foreslåede foranstaltninger behandles i detaljer. Opgraderingsordningen skal angive, hvilke forretningsmæssige og organisatoriske modeller, der vil blive anvendt til realiseringen af de forskellige planlagte foranstaltninger, herunder også tilskudsmuligheder og modeller for borgerinddragelse.

Opgraderingsordningen bør også sigte mod **øget effektivitet, servicekvalitet og konkurrenceevne** samt **reducerede CO₂-emissioner**. Endvidere skal det primære energiforbrug reduceres. Fjernvarme er ideel til lavtemperatur spildvarme og til integration af vedvarende energikilder. Desuden bør det resultere i forbedring af fjernvarmens image på lokalt plan, bidrage til overgangen til denne form for energi og øge dens accept fra borgerne. Ordningen bør derfor indeholde en åben kommunikationsstrategi og inddrage slutbrugere via forskellige modeller for deltagelse.

For at kunne udnytte dette potentiale, bør man ved fornyelser af fjernvarmesystemer først overveje forbrugernes varmebehov og derefter opgradere det eksisterende distributionssystem, herunder understationer og forbrugerforbindelser, reducere lækagetab, sænke driftstemperaturer, tilpasse rørdimensioner og hydraulikken, introducere moderne it-baserede styringssystemer og muligheder for kontrolsystemer til brugerens varmeanlæg. Dette effektiviserer ikke kun distributionen af fjernvarmen, men forbedrer også effektiviteten af varmeproduktionen. Desuden bliver det lettere at integrere vedvarende energi og spildvarme. I den næste renoveringsfase skal distributionssystemerne renoveres og endelig kan der iværksættes foranstaltninger til effektivisering af varmeproduktionsudnyttelse. Andelen af vedvarende energi kan øges og spildvarme kan gradvist indføres og øges. Dette skal ske i samspil med en vurdering af det fremtidige varmebehov og foranstaltninger til bedre effektivitet hos forbrugerne.

3.1 Virksomheders motivation for opgraderingsprocesser

Begrænsning af klimændringer gennem omstilling af opvarmningssektoren i Europa til bæredygtig varmeproduktion xxx samt reduktion af omkostninger, er de vigtigste overordnede mål for opgraderingen af fjernvarmesystemer. Internationale og nationale politiske og ikke-politiske rammebetingelser påvirker implementeringen af opgraderingstiltagene. Det må dog indses at initiativtagerne til opgraderinger vil være fjernvarmevirksomhederne, som kan have meget forskellige motiver til at gennemføre opgraderingen.

Inden for "Upgrade DH" projektet blev forskellige allerede implementerede opgraderingsprojekter ("god praksis" projekter) undersøgt (Upgrade DH, 2018a). På baggrund af dette opsummeres i de følgende afsnit, hvordan virksomheder beskæftiger sig med de forskellige mål og hvad deres motivation er. Derfor er motivationen bag projekterne klassificeret i tre kategorier: **virksomhedens mål**, **økonomiske fordele** og **miljøpåvirkninger**.

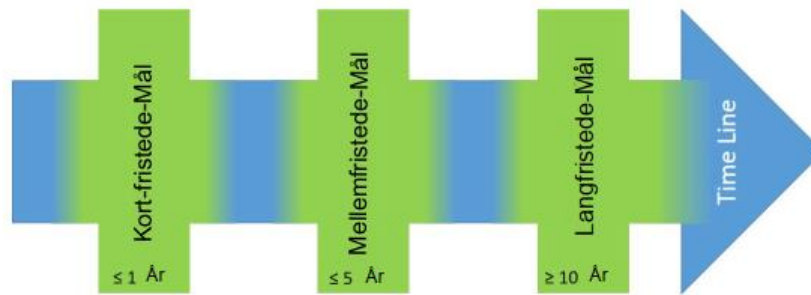
3.1.1 Virksomhedens mål

Strategiske virksomhedsmål er påvirket af virksomhedstypen. Fjernvarme-virksomheder kan være offentlige eller private, have en eller flere aktionærer, være profitorienterede eller non-profit-orienterede. Desuden er virksomhedernes mål påvirket af markedsføringsmål (grønt image), politiske beslutninger og juridiske krav. Selskabets formål kan således være formuleret af selskabets ledelse, aktionærerne eller af politikere.

Specifikke virksomhedsmål kan være en højt motiverende faktor til implementering af opgraderinger. På grund af virksomhedens egeninteresse vil viljen til at foretage en indsats for at nå de fastsatte mål være højere. Baseret på Hungenberg & Wulf (2015) kan virksomhedens mål klassificeres i tre dimensioner: indhold, mål og timing. Disse tre dimensioner kan suppleres med omfanget af anvendelsesområde, prioritet og ansvar (Töpfer, 2006).

Når man sætter målene for opgradering af fjernvarmeanlæg, kan de kategoriseres i henhold til timingen på kort-, mellem- og langsigtede mål. I Hungenberg & Wulf (2015) er det relaterede tidsrum for kortsigtede mål op til et år, da disse mål ofte refererer til et regnskabsår. Den afsatte tid for et midtvejsmål er omkring to eller tre år, mens langsigtede mål er fastlagt op til fem år og i undtagelsestilfælde op til ti år. Ved opgradering af fjernvarmesystemer må disse tidsperioder justeres og forlænges, idet varigheden af opgraderingstiltag generelt er længere end de normale tidsrammer for virksomheder. Perioden for **kortsigtede mål** forbliver dog et år, perioden for **midtvejsmål** øges til omkring fem år, og perioden for **langsigtede mål** er ti år og længere. Justeringen af tidsperioder og tidsforhold er illustreret i Figur 16.

Tabel 2 viser forskellige virksomhedsmål, som blev identificeret inden for de undersøgte projekter i "Upgrade DH" projektet (Upgrade DH 2018a) opdelt med de tre kategorier for timing.



Figur 16 Typisk timing af mål for fjernvarme-opgraderingsforanstaltninger

Tabel 2 Virksomhedens mål for opgradering af foranstaltninger

Kortsigtede mål	Midtvejsmål	Langsigtede mål
<ul style="list-style-type: none"> • Økonomisk fordel • Primære og sekundære energibesparelser • Optimering af den installerede kapacitet • Begynder at øge andelen af vedvarende energikilder 	<ul style="list-style-type: none"> • Transformere og renovere fjernvarmesystemet ved hjælp af opdateret teknologi • Erhvervelse af nye kunder • Fortsat vækst i andelen af vedvarende energi • Integration af forskellige energi- / varmekilder 	<ul style="list-style-type: none"> • Ressourcevenlig og bæredygtig varmeproduktion • De-karbonisering af fjernvarmesektoren • Forblive konkurrencedygtig inden for varmesektoren • Øget varmforsyningsikkerhed og mindre prisudsving

3.1.2 Økonomiske fordele

De økonomiske fordele ved at opgradere til fjernvarme kan vise sig på tre niveauer: økonomiske fordele for virksomheden (profitmaksimering), økonomiske fordele for varmemeforbrugere (især hvis forbrugere er aktionærer) og økonomiske fordele for den lokale økonomi.

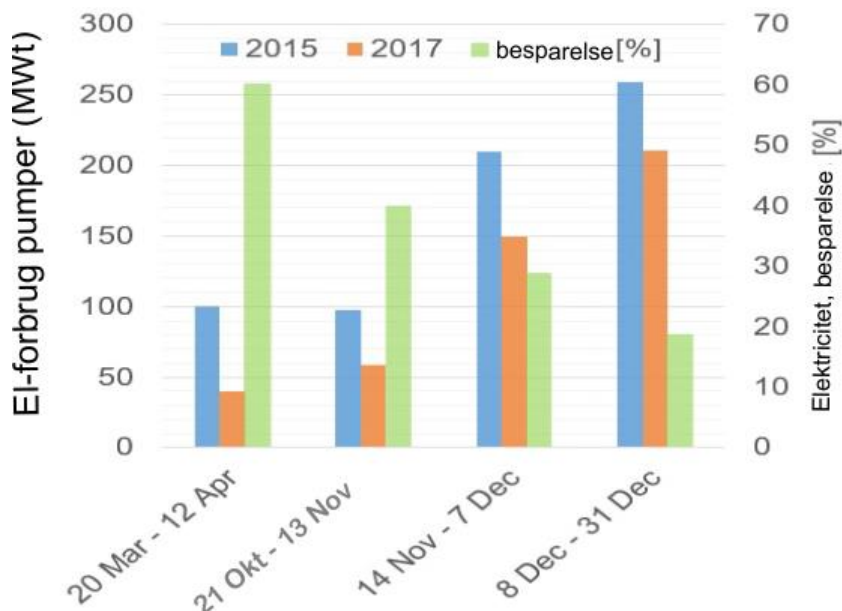
Afhængigt af den enkelte virksomheds specifikke mål vil den vigtigste motivation for virksomheder til at implementere en opgradering normalt være økonomiske fordele. Reducerede omkostninger, besparelser og øgede indtægter kan bruges til enten yderligere investeringer, at tilfredsstille aktionærudbytter eller for at sænke varmepriserne. Dette afhænger af de overordnede strategiske virksomhedsmål. Hvis overskud skal maksimeres, er en strategi at reducere driftsomkostningerne samtidig med at de samme indtægter holdes, hvilket svarer til at forbedre systemernes energieffektivitet og øge overskuddet. Hvis varmepriserne skal minimeres, kan en strategi være, gennem opgraderinger, at reducere driftsomkostningerne.

En tilgang til reduktion af driftsomkostninger kan være overgangen til andre energikilder, som har lavere og mere stabile omkostninger. Brugen af lokalt tilgængelige energikilder, som træflis, kan erstatte fossile brændstoffer, der ofte importeres. Brug af lokale eller regionale energikilder kan have flere fordele f.eks. at de reducerer virksomheden afhængighed af internationale leverandører. Dette medfører reducerede risici for fjernvarmesystemoperatøren, hvilket resulterer i en højere varmforsynings-sikkerhed for kunderne. For træflis er omkostningerne ofte mere stabile, hvilket gør det lettere at

forudsige omkostningerne til varmeproduktionen. Derudover støttes de lokale virksomheder, som ofte bidrager til den lokale økonomi.

Endvidere viser flere projekter, at opgraderingerne sigter mod at reducere energibehovet, både primærenergi behovet og det sekundære energibehov. Det primære energibehov er målrettet ved at reducere forbruget eller udfase fossile brændstoffer. Det sekundære energibehov er målrettet ved at reducere elektrisk energi til drift af systemet og dets komponenter. En sammenligning af el energiforbrug (Figur 17) til netværkets pumpeproces før og efter opgraderingsforanstaltningerne i et dedikeret projekt viser potentialet for energibesparelser.

En anden vigtig økonomisk indikator er projektets **tilbagebetalingstid**. Især til omfattende projekter som renovering af hele fjernvarmesystemet er rentabilitet eller afkast af investeringer afgørende aspekter. De høje investeringsomkostninger skal afskrives efter en estimeret periode. Længere afskrivningsperioder af de høje investeringer kan ofte kompenseres over de øvrige løbende- og driftsomkostninger. Et eksempel på en illustration af amortiseringen gennem pengestrømmen er vist for Green Energy Park Livno, Bosnien-Hercegovina, i Figur 18.



Figur 17: El-efterspørgslen til pumpning i 2015 og 2017 (Upgrade DH 2018b)



Figur 18: Estimeret pengestrømme i opgraderingsprojektet Green Energy Park Livno, Bosnien-Hercegovina, (Upgrade DH 2018a)

Med softwarebaserede optimeringsværktøjer sigter opgraderingsforanstaltningerne efter at optimere driftsplanlægningen, især til kraftvarmeværker (Kühne & Hinz, 2016). Desuden kan det indstilles til at optimere for det maksimale overskud for at opnå en økonomisk fordel. Det sigter mod den mest effektive driftsplanlægning, der vedrører alle økonomiske aspekter ved ud fra den allerede installerede kapacitet. Baseret på forskellige parametre, beregninger og estimer vil det være muligt at optimere driften uden at skulle eftermontere ny hardware, som f.eks. varmeproducerende anlæg, pumpe-systemer til distributionsnet eller varmevekslere. Derfor undersøges alle mulige driftsformer, indtægtskilder og tænkelige virkninger på systemet (Kühne & Hinz, 2016).

Et yderligere økonomisk mål er at erhverve nye kunder. Nye kunder er på den ene side en ny indtægtskilde ved at man kan sælge mere varme, og på den anden side bidrager nye kunder til virksomhedens vækst og kan fremme fjernvarmens popularitet.

3.1.3 Miljøpåvirkninger

Forbedringen af miljøpåvirkningerne kan være et vigtigt mål for opgraderingsprocessen. Dermed kan motivationen til at øge miljøpræstationen fra virksomhedens synsvinkel være mangfoldig:

- **Idealistisk motivation:** Dette gælder især fjernvarme-kooperativer, offentlige virksomheder eller virksomheder, der ejes af varmeforbrugerne.
- **Marketing motivation:** Gennem et grønt billede af virksomheden kunne man få flere kunder.
- **Tvungen motivation:** Ved obligatoriske krav eller lovgivning kan virksomheder blive tvunget til at opfylde visse miljøkrav, f.eks. øgede emissionskrav.
- **Økonomisk motivation:** Øgede miljøkrav kan bidrage til økonomiske fordele, f.eks. i tilfælde af billigere brændstoffer eller inden for handel med CO₂ kvoter.

Reduktion af CO₂-emissioner og forbedring af fjernvarmesystemets effektivitet er nøgleelementerne for de fleste mål for miljøforbedringer. Derved har især forbedringer af effektiviteten en positiv indvirkning for selve fjernvarmeselskabet.

Effektivitetsgevinster som følge af opgraderinger indebærer ofte også økonomiske fordele som følge af lavere brændstof- og el-forbrug. Forbedring af effektiviteten er også vigtig drivkraft for reduktionen af CO₂-emissionerne. Derfor påvirker stigningen i systemets effektivitet både varmeproduktion, distribution og elforbrug. Det fører til energibesparelser for hele proceskæden. I særdeleshed har gamle fjernvarmesystemer, der anvender forældet teknologi (sammenlignet med opgraderingsprojektet Green Energy Park Livno, i Upgrade DH, 2018b), et meget stort potentiale til at opgradere deres ydeevne ved at opgradere deres effektivitet. Men selv endnu mere opdaterede systemer har høje effektivitetspotentialer, der er drevet af målet om optimering (Optimisation of Pumping Operations in the DH System Ferrara; in Upgrade DH, 2018b). I disse tilfælde er det målet primært at forbedre ydeevnen uden større indvirkning på hele systemet næsten udelukkende ved hjælp af eksisterende teknologier og udstyr.

"God Praksis"-projekterne i "Upgrade DH" projektet (Upgrade DH, 2018a, b) viste en bred vifte af gennemførlige opgraderingstiltag og adresserede problemer. Nogle eksempler viste, at varmeproduktionen ved hjælp af ekstraudstyr blev optimeret til at generere mere brugbar varme ved at forbrænde den samme mængde brændstof. Derudover viste distributionsnettet et stort potentiale for optimering, der kunne påvirke ineffektiv rørteknologi, ineffektivt udstyr (pumper, varmevekslere i undercentraler) og ineffektiv drift. Justeringen af netværkets driftsparametre for at reducere varmetab, tryktab eller elforbrug er et vigtigt middel til at forbedre systemets effektivitet.

Forskellige opgraderinger sigter mod at øge forbrugernes opmærksomhed omkring opvarmning og deres opvarmningsadfærd for derved at øge den samlede effektivitet. Med yderligere renoveringstiltag for huse og bygninger er målsætningen et lavere varmeforbrug samtidig med et bedre komfortniveau for brugerne. Yderligere optimeringstiltag er at øge niveauet af automatisering. Derved er der mulighed for at reducere eller forenkle procedurer. Dette kan også omfatte interne processer og beslutningsveje. Endnu en mulighed er at anvende automatiserings-strategier til optimal indstilling af systemets driftsparametre.

Inden for projektet Upgrade DH blev der også opdaget mere specifikke foranstaltninger, der bidrager til at mindske miljøpåvirkningen, for eksempel forbedring af systemets fleksibilitet, øget driftstid for kraftvarmeanlæg eller reduceret drift med spidsbelastningsanlæg. Et andet mål er at skifte om til lavtemperatur-fjernvarme. Alle foranstaltninger kan bidrage til den samlede øgede effektivitet, men de har også indflydelse på virksomhedens individuelle driftsstrategi og planlægning. Især forbedring af fleksibiliteten i et system med hensyn til varmeproduktion bliver mere og mere vigtigt for den fremtidige udvikling (Kühne & Hinz, 2016). Selv om reduktionen af CO₂-emissioner er et mere velkendt mål for diskussionen om klimændringer og røggasser, er nitrogenoxider (NO_x) også med i denne diskussion. Derfor er den målrettede reduktion af NO_x i røggassen et yderligere mål for opgraderinger (Upgrade DH, 2018b).

Ud over effektivitetsforanstaltninger kan CO₂-emissionerne reduceres ved at erstatte fossile brændstoffer med vedvarende energi. Hvis hele fjernvarmesystemet bliver opgraderet, kan vedvarende energikilder lettere integreres. Integrationen kan enten føre til primære energibesparelser ved at reducere forbruget af fossile brændstoffer, eller det kan skabe øget kapacitet til systemet. En vigtig nøgle for denne udvikling er mangfoldigheden af nye teknologier til varmeproduktion. Med en veldesignet struktur i varmeproduktionen og et velplanlagt opgraderingsprojekt kan alle tilgængelige energikilder og tilgængelige teknologier optimeres. Denne sammensætning af varmekilder gør det muligt at reducere brugen af fossile brændsler og spare primær energi. Ud over inddragelsen af vedvarende energikilder kan også optagelse af overskuds- eller spildvarme forbedre fjernvarmesystemets miljømæssige aftryk.

3.2 Kortlægning af den nuværende tilstand

Det første skridt i udviklingen af en opgradering af et netværk er at opbygge et præcist billede af det samlede systems nuværende driftseffektivitet. Denne analyse giver et udgangspunkt til vurdering af muligheder og vurdering af fordelene ved forbedringer.

Den oprindelige tilstand kan analyseres på forskellige niveauer. En indledende analyse af driften af netværket kan give en indikation af, hvor ressourcer bedst kan anvendes til at maksimere fordelene ved en opgradering. Indledende spørgsmål som nedenstående vil hjælpe med at give et overordnet billede af netværkets generelle "sundhedstilstand":

- Leverer netværket tilstrækkelig varme til slutbrugerne?
- Leveres varmen til en pris, som er overkommelig for brugerne og kan sammenlignes med alternative metoder til varmeproduktion?
- Hvordan opkræves varmetilførslen til kunderne? Er det et engangsbetalt (f.eks. pr. kvadratmeter opvarmet rum) eller pr. enhed solgt varme?
- Har netværket et højt niveau af varmetab? Det vil sige en stor forskel mellem varmeeffekten fra produktionsanlægget og den varme, som slutbrugerne forbruger?
- Er netværket kendt for at være gammelt og i forfald? Hvad er niveauet for omkostninger til skader og vedligeholdelse?
- Hvad er den aktuelle varmeforsyning til netværket? Er der behov for at opgradere forsyningen af økonomiske eller miljømæssige årsager?
- Hvad er landets / regionens politiske rammer? Er der en politisk og social vilje til at opgradere varmeproduktion og distribution?

Tekniske indikatorer, der indledende kan bruges til at klarlægge fjernvarmesystemets tilstand, er præsenteret og forklaret i kapitel 5.



Figur 19: Drivende kræfter bag fjernvarmenettets opgradering (Kilde: COWI)

De nødvendige **grundlæggende data** er antallet af energigeneratorer, installeret kapacitet, installationernes alder, nettets længde, temperaturniveau og antal kunder. Disse data er normalt let tilgængelige. For mere komplekse spørgsmål som ydeevne, nettets egenskaber eller driftsformer er det nødvendigt at kontakte de forskellige ansvarlige personer for fjernvarmesystemet. Flere detaljerede data og systemets parametre er vigtige for at betjene systemet, men de er kun kendt af nogle få medarbejdere.

Hvis nogle af de meget specifikke data er ukendte, er det tilstrækkeligt for det overordnede billede at foretage et skøn. I dette tilfælde er det afgørende kort at beskrive proceduren. For eksempel, hvis den samlede elektriske energi til systemets drift ikke er registreret (som er nødvendig for at beregne den ønskede præstationsindikator), kan de individuelle forbrug af kedelhuse og fordelingspumper ikke opsummeres.

Det viser sig dog ofte og mere, at de relevante data er tilgængelige for alle i driftsledelsens stab, der har adgang til SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) til et DH-system. På grund af den fremadskridende udvikling inden for digitale målinger og tilslutning af sensorer, aktuatorer og styreenheder forbedres kvaliteten og mængden af tilgængelige data generelt for mange DH-systemer. Dette fører til datasæt med høj opløsning og ofte opdateringer, der kan føre til nye analyser for tidsafgrænsede perioder.

I tilfælde af **manglende data** kan det dog blive nødvendigt med en overvågningsperiode med yderligere dataindsamling. Hvis nettet ikke i øjeblikket er overvåget, kan installation af temperatursensorer og varmemålere på centrale punkter på nettet over en periode give værdifulde data. Ligeledes vil registrering af brændstof forbrug (f.eks. halvtimes gasmåling), hvis den ikke allerede er på plads, være nødvendig for at analysere energibalancerne.

I gamle net med høje varmetab kan **termografi fra luften** give information om varmetab. En drone eller et lille fly udstyret med termografi og GPS-teknologi flyver over nettet for at indsamle data. De indsamlede data sammenlignes derefter med fjernvarmerørens placering for at vise, hvor der er et større varmetab. Denne metode bruges til specifikt at se på den fysiske tilstand af nettet og kræver kun få yderligere data. Et eksempel er vist i Figur 20.



Figur 20: Termografi af et fjernvarmenet, der viser en større lækage på en rørledning (Kilde: COWI)

Fordi udskiftning eller eftermontering af måleteknologi normalt er forbundet med høje omkostninger, skal omkostninger og fordele afvejes inden implementeringen. Det igangværende forskningsprojekt NEMO i Tyskland udvikler en metode og **retningslinjer for overvågning af fjernvarmesystemets** krav for løbende at kunne forbedre systemet (AGFW, 2018b).

Resultatet af at kortlægge den øjeblikkelige tilstand af systemet hjælper med at prioritere foranstaltninger og træffe de første beslutninger. Allerede medens resultaterne bliver analyseret, er det muligt at opdage specifikke muligheder for opgradering, og at eksperter straks kan rådgive om de vigtigste forbedringer uden yderligere detaljeret analyse.

3.3 Analyse af data

De indsamlede data og oplysninger skal analyseres og evalueres med det formål at indsnævre mulige opgraderinger og identificere det samlede potentiale for opgraderinger. De indsamlede oplysninger bruges i en trinvis tilgang for at påpege svagheder eller uregelmæssigheder i systemet. Herunder skal det tages med i vurderingen, at hvert enkelt fjernvarmesystem og rammebetingelserne i det analyserede net er meget individuelle.

Hvis dataene indsamles automatisk, er det normalt nødvendigt at validere dataene og starte en filtreringsproces. Det indebærer at registrere ugyldige data, huller, manglende datapunkter, inkonsekvente data eller urealistiske data. I betragtning af at ændringer i fjernvarmesystemerne ofte kræver meget tid, er det nødvendigt at afsætte tilstrækkelig tid til denne validering.

Metoden til dataanalysen bør vælges i henhold til mængden af tilgængelige data og det ønskede resultat af analysen. Der findes flere metoder og softwarepakker, som kan hjælpe med dataanalyse, fra et simpelt Excel-regneark til en kompleks termodynamisk analyse.

For at få det første overblik over fjernvarmesystemet, kan der laves en **analyse af varme tilført og afgivet**, som kan relateres til alder og den generelle tilstand af netværket. I den anden ende af skalaen kan en fuldstændig hydro-termodynamisk analyse give detaljerede data om driftsparametre.

Det krævede detaljeringsniveau afhænger af netværket og de planlagte forbedringer. Ældre netværk, der vides at være ineffektive, behøver ikke kræve så detaljeret modellering som nyere netværk, da de første forbedringer i ineffektive systemer kan opnås forholdsvis let.

Men når man overvejer et lav- eller ultra-lavtemperatur-fjernvarmenet og udnyttelse af lavtemperatur spildvarmekilder eller vedvarende energikilder, kan en **detaljeret model** være meget nyttigt. I disse tilfælde skal netværksoperationen være finjusteret for at sikre tilstrækkelig varmforsyning, samtidig med at man maksimerer de miljømæssige fordele ved vedvarende energiteknologier. Ved lavtemperatur-fjernvarmenet skal der også tages særligt hensyn til varmesystemerne i bygningen for at sikre, at tilstrækkelig varme kan leveres ved lavere temperaturer.

Der findes også eksisterende kommercielle computerprogrammer, som kan beregne virkningerne af ændringer i systemet (Upgrade DH, 2018a). En **termo-hydraulisk model** kan give et detaljeret indblik i driften af netværket. Dette kan bruges til at foretage en statistisk analyse, eller at overvåge netværket i realtid, der muliggør løbende tilpasninger. Modeludvikling kræver, at der findes en rimeligt mængde data på netværket. Der skal mindst foreligge oplysninger om varmforsyning, rørdimensioner og placeringer samt varmeforbrug på brugerniveau. Figur 21 viser en TERMIS-model for en lille by i Danmark med en enkelt varmekilde.



Figur 21: Eksempel på TERMIS baseline model (kilde: COWI)

3.4 Identifikation af opgraderingsmuligheder: undersøgelse af lønsomhed

Potentialet for opgradering af netværket er baseret på analysen af de indsamlede data og vil typisk pege på flere muligheder, som er teknisk mulige. Dette danner grundlag for undersøgelse af lønsomhed, hvis formål er at vurdere hver enkelt mulighed og sammenligne dem for at lette beslutningsprocessen.

Mulige opgraderinger fremgår af brochuren " Best practice examples on upgrading projects" (Opgradering DH 2018a). I denne brochure er forskellige og allerede gennemførte opgraderingsprojekter fra forskellige europæiske lande samlet og beskrevet. En oversigt over egenskaberne ved opgradering af projekter fremgår af Tabel 3.

Tabel 3: Karakteristika ved opgradering af projekter (ifølge Upgrade DH 2018b)

Opgraderings typer	Mål for opgraderingsforanstaltningen	Berørte områder
Teknisk	Primære energibesparelser	Primært net
	Effektivitetsgevinster	Sekundært net
Økonomisk	Andel af vedvarende energi	Tertiært net
Organisatorisk	Integration af overskudsvarme	Varmegeneratorer
Ledelse	Økonomiske forbedringer	Forretningsmodeller
	Erstatning af fossile brændstoffer	Understationer

Lønsomhedsundersøgelsen bør typisk omfatte:

- En vurdering af det eksisterende forsyningsnet / varmekilder
- Detaljer om varmebelastning (så detaljeret som det er relevant for den foreslåede opgradering)
- En oversigt over de udvalgte optioner
- En teknisk analyse af de udvalgte optioner
- En finansiel analyse, herunder kapitalomkostninger og fordele over en defineret forretningsperiode
- Alle detaljer om tilladelser og godkendelser der kræves for at gennemføre projektet
- Konklusioner om, hvorvidt den foreslåede opgradering er teknisk og økonomisk levedygtig sammen med de næste skridt til at fremme projektet.

3.5 Opstilling af kriterier for evaluering ved sammenligning af de forskellige muligheder

For nogle netværk, hvor der er et indlysende teknisk problem, som f.eks. høje varmetab og lækager i netværket, vil evalueringen af mulighederne være en relativt enkel beregning af omkostninger / tilbagebetaling. Mange opgraderinger af fjernvarmenet er dog drevet af krav til energieffektivitet og reducerede CO₂-emissioner. I disse tilfælde er det sværere at skabe et solidt grundlag, hvorpå forskellige muligheder kan vurderes.

Når man vurderer lønsomheden af et projekt til opgradering af et fjernvarmeanlæg, er det vigtigt at overveje de drivende kræfter i projektet. Nogle projekter giver ikke betydelige økonomiske besparelser i drift, men kan opfylde andre mål, som klimaændringsmål eller forbedringer i levestandarden i visse områder. I Danmark er der forsøgt at skabe lige vilkår

for analysen af muligheder via samfundsøkonomiske beregninger jf. varmforsyningsloven. Denne tilgang tager et holistisk synspunkt af virkningerne af projektet, ved at analysere konsekvenserne for samfundet som en helhed. Ved en vurdering og sammenligning af projekter på denne måde kan kommuner (myndigheder) i Danmark få et overblik over projektets indvirkning ift. referencen med den grundlæggende økonomiske gennemgang.

Den danske Energistyrelse leverer og opdaterer beregningsforudsætninger og retningslinjer for beregningerne i den samfundsøkonomiske analyse af fjernvarmeprojekter og hvorledes analysen skal udføres. Det betyder, at analysen skal udføres baseret på de samme inputdata for alle projekter, og det giver derfor et mere afbalanceret grundlag for at vurdere projektmuligheder med hinanden.

I nogle tilfælde kan et projekt have modstridende mål, eller visse dele af et opgraderingsprojekt måske kun kan opfylde visse mål. Hvor det er tilfældet, er det særligt vigtigt at få et overblik over de forskellige målsætningers prioritering, således at projektet kan vurderes og planlægges i overensstemmelse hermed.

3.6 Opstilling af en implementeringsplan

Når et forprojekt er afsluttet og har vist, at et projekt er levedygtigt, er de næste skridt at planlægge finansieringen og at gennemføre selve projektet.

Opgraderede fjernvarmeprojekter har normalt relativt høje investeringsomkostninger. Derfor er en **positiv projektøkonomi** vigtig for et projekts succes med at skaffe finansiering. På grund af de høje infrastrukturomkostninger har fjernvarmeprojekter typisk en lang tilbagebetalingstid. Dette gør det i nogle tilfælde svært at skaffe finansieringen fra den private sektor. Derfor er fjernvarmeprojekter ofte (i det mindste delvist) finansieret af den offentlige sektor.

I tilfælde hvor et projekt kan vise sig ikke at være økonomisk lønsomt, kan der være finansiel bistand til rådighed for at bygge bro over kløften, der kan gøre projektet økonomisk rentabelt. Finansieringsniveauet og mekanismen afhænger af det land og område, hvor projektet ligger. Forskellige ordninger anvendes i forskellige lande og ofte også inden for forskellige områder i et bestemt land. Dette kan omfatte et tilskud eller et lån fra en CO₂-reduktionsordning eller et tilskud / investering fra den offentlige sektor, hvor projektet bidrager til en væsentlig forbedring af borgernes livskvalitet.

Når en beslutning er truffet om at fortsætte med opgraderingerne, baseret på rentabilitetsundersøgelsen, skal design og planlægning detaljeres yderligere. Niveauet af krav til design og planlægningsarbejde vil afhænge af projektets størrelse og den indvirkning det vil have. Imidlertid skal følgende generelle problemstillinger overvejes på dette stadium:

- Et **detail design** af den tekniske løsning skal udføres, herunder ledningsplaner, nyanlæg, der skal udføres, forbindelser til eksisterende systemer mv.
- En **interessent analyse** skal udføres for at vurdere, hvem der bliver berørt af projektet og bestemme, hvordan information formidles, hvem der er ansvarlig for kommunikation / besvare spørgsmål mv. Dette er særligt vigtigt, hvis projektet vil have direkte indflydelse på forbrugernes varmforsyninger, eller hvis det forårsager forstyrrelser i deres dagligdag.
- På baggrund af det tekniske design og interessentanalysen skal der udarbejdes en detaljeret **tidsplan** for alle projektaktiviteter.

Dette input skal føre til en **detaljeret udførelsesplan** for projektet. Når denne er gennemført, skal projektgruppen foretage en detaljeret gennemgang af projektet for at bekræfte, at det stadig er muligt at udføre det som planlagt. Forudsat at dette er tilfældet,

kan der træffes beslutninger om udbudsmetoden, så projektet kan gå over til udførelsesfasen.

Gennem hele planlægnings- og implementeringsprocessen for et opgraderingsprojekt er det vigtigt at overveje, hvordan det vil påvirke slutbrugerne. Normalt vil et opgraderingsprojekt påvirke brugerne på en eller anden måde under projekts udførelse og vil også føre til ændringer i, hvordan de interagerer med deres varmforsyning i fremtiden. En plan for at informere brugere og eventuelt en oplæringsplan for at informere om det nye system bør overvejes tidligt i projektet. I designfasen er det vigtigt at overveje samspillet mellem varmemeforbrugeren og leverandøren, hvilket også er nøglen til projektets succes.

3.7 Gennemførelse af opgraderingerne

Gennemførelsen af opgraderingerne skal ske i overensstemmelse med den udførte planlægning. Hvor der er indvirkning på forbrugernes varmforsyning, skal der tages særligt hensyn hertil og til planlægningen gennem hele projektet for at sikre, at arbejder forårsager så lidt forstyrrelse som muligt for forbrugerne.

Under projektets udførelsesfasen er det vigtigt at informere og oplære forbrugerne. Opgraderingsprojekter indebærer ofte ændringer i forhold til, hvordan varme leveres til bygningen, hvilket også vil påvirke forbrugerne. For at projektet skal lykkes med at nå langsigtede mål, skal brugerne indgå i projektet og oplæres til at håndtere ændringer i deres varmforsyning.

3.8 Kontinuerlig overvågning af succesen med opgraderingen

For nogle opgraderingsprojekter kan virkningerne hurtigt ses efter de er gennemført. For eksempel kan en opgradering til reduktion af rørlækagen have en øjeblikkelig effekt på mængden af det nødvendige spædevand. Mange fordele kan dog kun ses efter en vis periode, og løbende overvågning er derfor nøglen til at måle, om et opgraderingsprojekt har opfyldt sine mål.

Type og hyppighed af overvågningen afhænger af projektets mål. Afhængigt af projekttype kan det omfatte følgende overvågningsforanstaltninger.

Varmemåling ved forbrugsstedet er nøglen til at måle fremskridtene mod målene for de fleste fjernvarmeopgraderingsprojekter. Hvis mængden af benyttet varme såvel som fremløbs- og returtemperaturen måles ved hvert anvendelsessted, og hvis temperaturer og vandmængde fra anlægget er kendt, kan netværkstabet beregnes. Jo højere hyppigheden af dataindsamling fra målerne, desto mere detaljeret kan et billede udarbejdes om, hvordan netværket fungerer, og hvad virkningerne af visse parametre (for eksempel lufttemperatur udenfor) er på effektiviteten af varmforsyningen.

Som nævnt ovenfor vil mængden af **ekstra spædevand**, der skal tilføres netværket, give et mål for, hvor meget vand, der er tabt fra netværket.

Afhængigt af projektets målsætning vil **mængden af klager** fra brugerne danne grundlag for at vurdere om projektet har været vellykket. I projekter, hvor forsyningstemperaturen sænkes, vil niveauet og antal af kundeklager give en ide om, hvorvidt regulering af fremløbstemperaturen er tilfredsstillende for forbrugernes opvarmning. Det kan også tyde på, at der kræves yderligere oplysning.

I nogle lande kan det være at foretrække at **spørge brugerne** om deres meninger om varmforsyningen i stedet for at stole på niveauet af klager. Kulturelle forskelle og i nogle tilfælde kan lave forventninger om varmforsyning betyde, at et lavt niveau af klager ikke nødvendigvis hænger sammen med en velfungerende varmforsyning.

4 Ikke tekniske aspekter

Ikke-tekniske aspekter skal behandles i ethvert opgraderingsprojekt for at kunne udnytte det fulde potentiale ved den tekniske opgradering. Dette resulterer ideelt set i økonomiske og miljømæssige fordele. Samlingen "Collection of best practice examples on upgrading projects" (Upgrade DH, 2018a) viser eksempler på forbedringer, hvor tekniske og økonomiske forbedringer går hånd i hånd. Disse eksempler viser, at hvert tilfælde har specifikke styrker og svagheder, som skal identificeres for at finde den bedste opgraderingstiltag.

Kapitel 4 viser flere måder at registrere systemflaskehalse på med forskellige værktøjer. Som en del af "Upgrade DH"-projektet er der udviklet en skabelon til den **globale vurderinger af fjernvarmesystemer** (Miedaner et al. 2018). Den skal medvirke til, ikke kun at liste og forstå aktuelle tekniske indikatorer for et fjernvarmesystem, men også at vurdere ikke-tekniske aspekter. Dette omfatter f.eks. organisatoriske spørgsmål, retningslinjer og skabeloner til **interviews** med forskellige interessenter, der kan indikere potentielle opgraderingstiltag.

Især hvis kommunikationsstrukturen mellem alle relevante interessenter ikke er særlig stærk, anbefales det især at indlede kommunikation mellem de forskellige aktører. Endnu bedre end interviews er opsætningen af fælles arbejdsgrupper med repræsentanter fra de forskellige interessentgrupper. Dette kan være en platform for at diskutere forskellige synspunkter, problemer og udfordringer i den samlede opgraderingsproces. Anbefalinger om oprettelse af en lokal arbejdsgruppe kan findes i Miedaner et al. (2018).

4.1 Strategier og målsætninger

Historisk set bruger mange fjernvarmesystemer overskydende varme fra større kraftvarmeværker, som ofte forbrænder fossile brændstoffer som brunkul, kul, fossilolie eller naturgas. De oprindelige mål for værkerne var ofte at maksimere elproduktionen, varmen blev ofte betragtet som et biprodukt. Det første og vigtigste aspekt for opgradering af procedurerne er spørgsmålet om det nuværende og **fremtidige formål med de energi-producerende anlæg**. I enhver opgradering bør man derfor overveje følgende problemer:

- **Fremtidige ændringer i energisektoren:** På grund af klimaændringer og energimål i Europa fortsætter energiovergangen, og der forventes betydelige ændringer i elsektoren. Et hovedmål for centraliserede kraftvarmeanlæg i fortiden var at levere el, mens varmen kun blev betragtet som et biprodukt. Med den stigende integration af mere decentraliseret vedvarende energi i elsektoren, omstilles eller udtages disse kraftværker løbende. Desuden er de mindre fleksible og dermed mindre kompatible med de nye el-systemer. Derudover beslutter flere regeringer at udfase fossile kraftværker eller kraftvarmeanlæg (f.eks. som for tiden diskuteres i Tyskland).
- **Effektiviseringskrav:** De fossile kraftværkers elektriske nyttevirkning er typisk i intervallet 30% til 40%. Tilslutningen af fjernvarme til disse anlæg var ofte et mål for at øge den samlede effektivitet ved at udnytte en del af varmen. Men den mængde varme, der bruges til at øge den samlede effektivitet, afhænger af efterspørgslen på varme og på anlæggets placering. Især kulkraftværker i Østeuropa som ofte blev installeret i nærheden af kulminer og ofte langt væk fra varmemeforbrugerne. Desuden mindskes effektiviteten af disse værker på grund af den nedsatte efterspørgsel efter varme i løbet af sommeren. I fremtidens energisystemer, der opererer uden fossile brændstoffer, er det tvivlsomt, om disse placeringer og driftsformer stadig giver mening på lang sigt.
- **Fremtidigt varmebehov:** Det fremtidige varmebehov i det eksisterende fjernvarmesystem kan ændre sig. På den ene side kan bygningernes

effektivitetsstatus øges, så der kræves mindre varme, på den anden side kan nye bosættelser og distrikter blive forbundet med fjernvarme. Endvidere kan opgraderingen af rørr nettet og det samlede fjernvarmesystem ændre det samlede varmebehov.

Officielle strategier og målsætninger spiller en meget vigtig rolle ved gennemførelsen af opgraderingsprocedurer på forskellige niveauer, både det europæiske, nationale og lokale niveau. På grund af mangfoldigheden af strategier og målsætninger er det hverken muligt, eller formålet med denne håndbog at sammenfatte alle disse emner. Derfor bringes her kortfattet kun den vigtigste nyere lovgivning på europæisk plan, der kræver, at medlemsstaterne indfører dem i de nationale lovgivninger.

Ved udgangen af 2018 er tre centrale lovgivninger i "**Ren Energi til Alle Europæere** blevet offentliggjort og trådt i kraft pr. 24. december 2018. Det reviderede direktiv om vedvarende energi (RED II) (EU, 2018/2001) fastlægger et bindende EU-mål på mindst 32% i 2030 med en revurdering for at øge denne værdi i 2023. Det reviderede direktiv om energieffektivitet (EU, 2018/2002) fastsætter et mål på 2030 for 32,5%, også med en mulig opjustering i 2023. Den nye reguleringsforordning (EU) 2018/1999 indeholder kravet om, at medlemsstaterne udarbejder integrerede nationale energi- og klimaplaner for 2021-2030, der beskriver, hvordan målene skal nås og fremsende udkastet til Europa-Kommissionen inden udgangen af 2018. (EF, 2019a).

Direktivet om vedvarende energi (EU) 2018/2001 (RED II) definerer fjernvarme eller fjernkøling som fordeling af termisk energi i form af damp, varmt vand eller nedkølede væsker fra centrale eller decentrale produktionskilder gennem et netværk til flere bygninger eller steder, til brug for rum- og proces-varme eller -køling. Dette reviderede direktiv har flere vigtige aspekter for fjernvarme og køling, herunder de opgraderingstiltag, der er sammenfattet her. Indholdet af RED II skal gennemføres af medlemsstaterne i de nationale lovgivninger:

- Fjernvarme og køling udgør i øjeblikket omkring 10% af varmeforbruget i EU, med store forskelle mellem medlemsstaterne. Kommissionens opvarmnings- og afkølingsstrategi har erkendt potentialet for de-karbonisering af fjernvarme gennem øget energieffektivitet og vedvarende energiudnyttelse.
- Medlemsstaterne bør for at lette og fremskynde fastsættelsen af minimumsniveauer for anvendelse af energi fra vedvarende energikilder i bygninger tillade bl.a. anvendelse af effektiv fjernvarme og -køling eller, hvor fjernvarme- og køleanlæg ikke er tilgængelige, en anden energiinfrastruktur til at opfylde disse krav.
- Medlemsstaterne bør især fremme energi fra vedvarende energikilder i varme- og køleanlæg og fremme konkurrencedygtig og effektiv fjernvarme og afkøling.
- På fjernvarmeområdet er det afgørende at muliggøre, at brændstoffet udskiftes med energi fra vedvarende energikilder og gennem lovgivnings- og teknologi fortrin og teknologi blokering, at styrke rettigheder for producenter af vedvarende energi og slutbrugerne og bringe værktøjer til de endelige forbrugere, der kan lette deres valg mellem løsninger med den højeste energieffektivitet, der samtidig tager hensyn til fremtidige opvarmnings- og kølebehov i overensstemmelse med forventede kriterier for bygningers behov. Slutforbrugere skal modtage gennemsigtige og pålidelige oplysninger om effektiviteten af fjernvarme- og kølesystemer og andelen af vedvarende energi fra deres specifikke opvarmnings- eller kølings-forsyning.
- For at beskytte forbrugere af fjernvarme- og køleanlæg, som ikke er effektive, og give dem mulighed for at producere deres opvarmning eller afkøling fra vedvarende energikilder og med væsentligt bedre energiydelse, kan et synspunkt være at forbrugere bør have ret til at afbryde forbindelsen og dermed afbryde opvarmnings- eller køletjenesten fra ikke-effektive fjernvarme- og kølesystemer på

hele bygningsniveauer ved opsigelse af deres kontrakt eller, hvor kontrakten dækker flere bygninger, ved at ændre kontrakten med fjernvarme- eller køleoperatøren.

I ethvert opgraderingsprojekt skal nationale og lokale målsætninger overvejes. Dette vedrører de juridiske aspekter af de individuelle opgraderingsforanstaltninger, men især også de langsigtede strategier og udviklinger, f.eks. påvirket af RED II. Målsætninger vedrørende energiovergang, lukning af kul-kraftvarmeproduktion og sektorkobling bør overvejes, som kan indgå i politiske dokumenter som f.eks. nationale handlingsplaner for vedvarende energi (NREAP), særlige planer, lokale miljøhandlingsplaner, handlingsplaner for bæredygtig energi eller energi effektivitetshandlingsplaner (EEAP'er).

4.2 Interessenter

Fjernvarmesystemer kan omfatte flere interessenter. Det er meget vigtigt at det er **forbrugerne**, såvel som bygherrer og udlejere, der betaler for varmforsyningen og dermed opretholder fjernvarmenettet. Varmeforbrugere kan være offentlige forbrugere, husholdninger, private virksomheder og industrien. Det er vigtigt at opfylde deres forventninger og tilbyde et højt serviceniveau sammenlignet med en konkurrerende energiforsyning, såsom naturgas eller individuelle varmesystemer. Et afgørende aspekt er prisen på varme.

En anden vigtig interessant er **varmforsyningens organisation**, som kan være et enkelt selskab eller flere virksomheder med ansvar for de forskellige tjenester som varmforsyning eller driften af nettet. I mange tilfælde vil dette være et enkelt selskab eller i det mindste nært beslægtede virksomheder. Med den samlede opgradering af fjernvarmen er det sandsynligt, at flere varmeproducerende organisationer kan blive involveret. Hvis f.eks. affaldsvarme er ny, vil den nye leverandør være endnu en vigtig interessant.

Varmeforsyningsvirksomheders **ejendomsret** har en stor indflydelse på den samlede forretningsmodel i opgraderingsprojektet, da de kan være offentligt eller privatejet eller en kombination af dem (se forretningsmodeller, kapitel 4.6). I nogle tilfælde kan varmforsyningerne også være aktionærer eller blive aktionærer under opgraderingsprocessen. Dette kan være meget relevant for at dække de potentielle høje investeringsomkostninger ved opgraderingsforanstaltninger.

Ledere og teknikere har en særlig rolle i opgraderingsprocessen i varmforsyningsorganisationerne. De kender de tekniske og ledelsesmæssige detaljer og træffer beslutninger om de individuelle opgraderingstiltag. Det anbefales dog også at inddrage uafhængige **eksterne eksperter** og konsulenter, som har ekspertise og erfaring med at gennemføre opgraderingsprojekter. Som eksterne personer har de et andet syn på systemet samt erfaringer fra opgradering af andre systemer. En vigtig faktor er at overveje opgraderingen af det overordnede system og dermed at udarbejde langsigtede strategier og løsninger og ikke kun små tilpasninger for at løse små individuelle problemer.

Uafhængigt af varmforsyningsorganisationernes ejerforhold kan **politikere** spille en central rolle i opgraderingsprocessen, da de aktivt kan fremme eller blokere enhver foranstaltning. Selvfølgelig har de større indflydelse i offentlige organisationer, men også for private organisationer kan de være afgørende. For eksempel har de indflydelse på de strategiske planer, energiplaner og udstedelse af tilladelser, der kan lette gennemførelsen af opgraderingsforanstaltninger.

For en kompleks opgraderingsproces kan det være fornuftigt at foretage en **interessentanalyse**, der beskriver de forskellige parter mål og forhold. Dette kan også resultere i nogle anbefalinger om, hvor dybt de forskellige involverede interessenter, og her især varmforsyningerne inddrages i opgraderingsforløbet.

4.3 Økonomisk analyse

En meget vigtig del af ethvert opgraderingsprojekt er beregningen af dets økonomiske levedygtighed, fordi projektet sandsynligvis ikke vil blive gennemført, hvis rentabiliteten ikke er påvist overfor investorerne eller ejerne. Fordelen ved fjernvarmeopgraderingsprojekterne er, at investor normalt er det selskab, der allerede driver det eksisterende system, og derfor kan den minimale tilbageleveringstid godt accepteres at være længere end det er tilfældet med nye systemer bygget fra bunden. For at beregne projektets levedygtighed skal der foretages en detaljeret rentabilitetsanalyse. Hertil skal alle omkostninger og indtægter i projektets levetid defineres. Omkostningerne kan opdeles i kapitalomkostninger og driftsomkostninger.

Kapitalomkostninger omfatter alle de investeringer, der skal foretages i projektet for at gennemføre det. Derfor opstår de i begyndelsen af projektet og inden anlægget kommer i drift. Disse kan generelt opdeles i omkostninger til planlægning, rentabilitetsundersøgelser og dokumentation, teknologier (udstyr), afskrivninger på aktiver og anlægsarbejde samt renter.

Driftsomkostninger kan være forskellige afhængigt af typen af opgraderingsprojekter. De kan omfatte forsikringer, arbejdskraft, ejendomsskatter, forsyning mv. Endvidere er brændselsomkostningerne vigtige når varmeproduktionssystemerne opgraderes.

For at fuldføre analysen skal fordelene ved projektet også identificeres dvs. de forventede indtægter i projektets levetid. Disse kan variere betydeligt med projekttypen. Indtægterne kan for eksempel omfatte øget salg af varme, reduktion af brændstofforbrug, yderligere indtægter fra den restproduktivitet og service(s).

Fjernvarmeopgraderingsprojekterne er ofte kapitalintensive med betydelige opstart omkostninger. Derfor er banklån nødvendige for at gennemføre projektet. Den nøjagtige størrelse af lånet afhænger af investorens kapital, det vil sige investeringsprojekternes egenkapital eller personlige investering, som normalt ligger i intervallet 15-30% af den samlede investering. Resten dækkes derefter af lån eller mulige tilskud.

4.4 Myndighedsbehandling

Efter lønsomhedsundersøgelsen er udført, og efter at det er besluttet, at gennemføre opgraderingsprojektet, vil næste skridt være at vurdere om tilladelser er nødvendige. Det afhænger af de planlagte aktiviteter. Mange opgraderingsaktiviteter, såsom udskiftning af enkeltkomponenter, der ikke har indflydelse af almen interesse, kræver muligvis ikke tilladelser. Imidlertid kan mange aktiviteter, der kan påvirke det offentlige (økonomisk, miljømæssigt eller socialt) kræve tilladelser. Endvidere afhænger typen af tilladelser og den tid, der er nødvendig for at få tilladelserne, af lokale rammebetingelser og lovgivning.

Et stort problem for at få tilladelserne til opgraderinger af projekter er, at tiltagene er komplekse, hvis flere opgraderinger, som f.eks. til varmeanvendelse, distribution og produktion, planlægges på samme tid kan især tilladelsesprocedurerne for teknologierne til varmeproduktion være meget tidskrævende. Dette er især tilfældet, når geotermiske kilder er involveret. Det kan tage flere år at få tilladelse.

Jo flere teknologier og muligheder der er inkluderet, jo mere udfordrende er tilladelsesproceduren. Ofte har flere myndigheder også ansvaret for at udstede de forskellige tilladelser. For eksempel har Europa-Kommissionen opstillet en række af de udfordringer der forekommer med hensyn til at få **tilladelser til bioenergi projekter** (EF, 2019b):

- For mange procestrin og tilladelser udstedt af forskellige myndigheder
- Tilladelser er underlagt en lang række lovgivningsmæssige retsakter
- Manglende klare tidsplaner

- Manglende lokal viden og kapacitet til at analysere komplekse ansøgninger om bioenergi tilladelser
- Manglende klare procedurer for at få adgang til energinettet
- Lokal modstand mod (bioenergi eller store solfanger) projekter.

I det følgende afsnit beskrives (uden at være komplet) nogle aspekter i forbindelse med tilladelsesprocedurer, der er relevante for opgradering af projekter.

Område-plan & forskrifter/ byggetilladelser

Lokal planlægning (nogle gange også omtalt til byplanlægning, landskabsplanlægning) omfatter metoder og fremgangsmåder, der anvendes af den offentlige og private sektor til at planlægge brugen af grunde på forskellige niveauer, men normalt på en større skala. Det koordinerer den praksis og de politikker, der påvirker den landskabsmæssige status. Særlig planlægning kan omfatte: anvendelsen, kommunale, regionale, transportmæssige, infrastrukturelle og miljøplanlægning. Område planlægning finder sted på lokalt, regionalt, nationalt og internationalt plan og resulterer ofte i oprettelsen af en områdeplan.

Disse fysiske planer kan have indflydelse på fjernvarmenettet, da de kan omfatte f.eks. områder prioriterede for udvidelser af fjernvarmenet. Desuden kan de påvirke udstedelsen af tilladelser, såsom byggetilladelser. For eksempel kan opførelsen af et nyt kraftvarmeværk kun være tilladt i en dedikeret zone i de lokalplaner, der er udlagt til industri og ikke til boligområde.

Til integration af solvarme i fjernvarme anvendes der normalt terrænplacerede solfangere, som der kan kræve en byggetilladelse til området (lokalplan). Men også til solfangerer eller vakuumbør på tage, der bruges som carport, kan der kræves en lokal byggetilladelse. Risikoen for skader på miljøet fra solfangerer er meget lav. Der kan være lækager fra solfangervæsker på jorden, refleksionsforstyrrelser fra solfangerne eller æstetiske forhold. Disse problemer håndteres normalt i byggetilladelsen, således at en særlig miljøtilladelse kan undgås. (SDH, 2012).

Byggetilladelser

Byggetilladelse er normalt forpligtet til at overholde nationale, regionale og lokale byggregler. Det kan være relateret til områdeplanlægning og byggetilladelser. Generelt skal den nye bygning eller renovering kontrolleres under opførelse og godkendes efter færdiggørelse.

Til opgradering af projekter kan tilladelser være nødvendige for opførelse eller istandsættelse af nye bygninger til varmeproduktion, men også til lægning af rørledninger. For eksempel kræves der normalt ikke byggetilladelse til jordmonterede solfangerer, medmindre en bygning eller lagertank er inkluderet. For tagmonterede solfangerer kan der kræves byggetilladelse, da det skal bevises, at tagkonstruktionen kan bære solfangernes vægt (SDH, 2012).

Miljøtilladelser

Afhængigt af karakteren af opgraderingen kan en miljøkonsekvensvurdering (VVM) eller bæredygtighedsvurdering (BV) være nødvendig for at opnå en miljøtilladelse, f.eks. i henhold til lov om emissionskontrol i Tyskland. Det kan regulere beskyttelsen af mennesker, dyr, planter, jord, vand, atmosfære og kulturarv fra forurening og emissioner. Det regulerer derfor indvirkning på luft, støj, vibrationer, vand, mennesker og lignende problemer.

Miljøtilladelser kan være særligt relevante i et opgraderingsprojekt til varmeproducerende anlæg, især hvis det er relateret til forbrændingsteknologier, som anvendt til biomasseinstallationer. *For solfangerer kan virkningerne skyldes lækage og udslip af solfangervæsker (f.eks. vand, glykol) til vandløb (SDH, 2012).* For eksempel i følsomme vådområder kan det være et krav kun at bruge vand og ingen glykol i solfangerer. For jordvarmepumper og geotermiske anlæg kan der udover miljøtilladelsen også (afhænger

af dybden) kræves tilladelse til minedrift eller brug af grundvand. Endvidere kan det være nødvendigt også at udføre en VVM for varmefordelingen i et rørværk.

Tilladelser i henhold til varmeplanlægning / energiplanlægning

Varmeplaner eller energiplaner kan sætte begrænsninger på den type brændstof, der anvendes til varmeproduktion. For eksempel kan en ny biomasse kedel ikke godkendes sammen med en naturgasfyret kraftvarmeanlæg i Danmark, og solvarmeanlæg til fjernvarme kan kun godkendes, hvis samfundsøkonomiske beregninger taler herfor (SDH, 2012). Specielt ved spørgsmål om netadgang til elproduktionssektoren, som kan knyttes til fjernvarme med kraftvarmeproduktion eller gennem "kraft-til-varme-projekter", kan der gælde regler om energitilladelser.

4.5 Kontraktspørgsmål

Gennemførelsen af opgraderingsprojekter for fjernvarme kan kræve indgåelse af en række forskellige kontrakter med de involverede interessenter. Et meget godt juridisk dokument, der angiver fjernvarmeleverandørens væsentlige kontraktmæssige mellemværende med varmemeforbrugerne (varmeforsyningskontrakter med varmemeforbrugerne) i Tyskland, er det såkaldte Direktiv om generelle betingelser for levering af fjernvarme (Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme; AVBFernwärmeV) (BMJV, 2019).

Et andet meget godt overblik over kontraktmæssige problemer for små fjernvarmesystemer findes i en vejledning af Laurberg Jensen et al. (2017), som stort set også gælder for mange opgraderingsprojekter. Uddrag herfra opsummeres kort nedenfor.

Opvarmnings- og kølevirksomheden er reguleret i Europa, og der er regulerende midler til at begrænse risici for monopoler. Fjernvarme er et lokalt problem, hvor kunder, arbejdsgivere, ejere og produktionsfaciliteter forbliver hovedsageligt de samme årtier efter årtier. Kontrakter og lovgivningsmæssige forpligtelser sikrer at kvaliteten af fjernvarmeservice og beskyttelsen af varmemeforbrugernes rettighederne. (Laurberg Jensen et al., 2017).

Desuden giver kontrakterne i udviklingsfasen af DHC-projekter risikoreduktion og et pålideligt fundament for det tekniske layout af projektomfang. Generelt skal det understreges, at de vigtigste kontrakter i fjernvarmeprojekter skal indebære faglig rådgivning fra en advokat. Kontrakter skal overholde forskellige lovrammer, og det kan derfor være vanskeligt for en uerfarne at udarbejde et bindende dokument, der skal definere alle aspekter af varmeforsyningen og forbruget på en gennemsigtig og tydelig måde og i overensstemmelse med den nationale lovgivningsmæssige og de regulative rammer. (Laurberg Jensen et al., 2017).

For fjernvarmeopgraderingsprojekter kan følgende kontrakter gælde:

- Planlægnings- og byggekontrakter med implementerende virksomheder
- Varmeforsyningskontrakter med varmemeforbrugerne
- Ejendomsaftaler med aktionærer
- Kontrakter med energiregulatorer og forsyningsselskaber
- Kontrakter med brændstofleverandører (til bioenergi projekter)
- Landadgangskontrakter
- Drifts- og vedligeholdelseskontrakter

Normalt er varmeforsyningskontrakten for husholdninger og offentlige bygninger offentligt tilgængelig, så nye projekter kan bruge dem som skabelon. På den anden side er varmeforsyningskontrakterne for industrien sjældent offentligt tilgængelige. (Laurberg Jensen et al., 2017).

4.6 Forretningsmodeller for fjernvarme-opgraderings-projekter

Forretningsmodeller for fjernvarme-opgraderings-projekter er projektspecifikke. De er kendetegnet ved følgende aspekter:

- Strategiske mål (offentlige målsætninger, selskabsforhold, omkostningsreduktion)
- Ejendomsstruktur
- Investeringsplan
- Økonomiske aspekter: afgifter, fortjeneste, non-profit
- Kontraktmæssige og problemer med tilladelses
- Involverede interessenter

En bæredygtig forretningsmodel skal gøre det muligt for alle involverede interessenter, dvs. investorer, slutbrugere, kommuner mv. at opnå de planlagte fordele. For investorer og slutbrugere er det vigtigste de økonomiske afkast, men for de lokale myndigheder kan de nødvendige fordele også være sociale, miljømæssige osv. Kommunerne indgår ofte i sådanne projekter i hvert fald gennem procedurer og dokumentation, der dikteres af den juridiske ramme. Dog kan forskellige ejerskabsmodeller anvendes til fjernvarmeopgradering, afhængigt af den allerede eksisterende struktur. En retningslinje for små vedvarende opvarmnings- og køle-net, som dels også gælder for opgradering af projekter, er beskrevet i en vejledning fra Sunko et al. (2017). Normalt kan der anvendes tre forskellige modeller, dvs. fuldt offentlig model, offentlig-private partnerskab eller privat model.

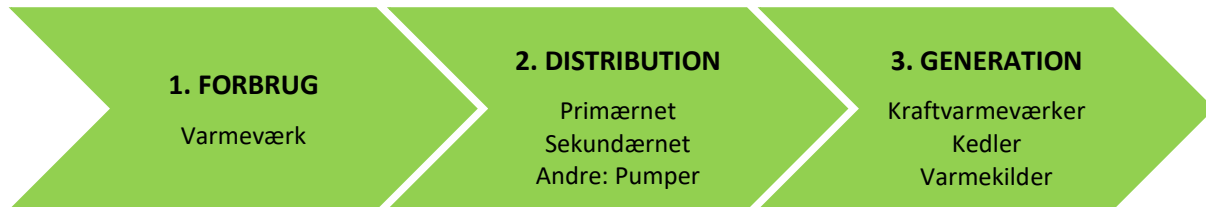
I den **offentlige model** er investeringsrisikoen dækket af kommunen eller byen, og projektet gennemføres af det offentlige. Hvis den har en lavere intern afkast, kan den spredes på tværs af andre projekter af den offentlige forsyning med højere afkast, på den måde reducerer risikoen.

I den **private model** er projektet helt udviklet og implementeret af den private investor, i hvilke tilfælde de søger at maksimere overskuddet. En form for privat ejerskab kan dog være et kooperativ, hvor borgerne beslutter at investere i systemet, og hvor der ikke er behov for overskud, hvilket fører til lavere varmepriser.

Endelig er det **offentlig-private partnerskab** blevet populært for nylig, da det fusionerer fordelene ved både offentlig og privat partnerinddragelse. I denne form for partnerskab deltager den private investor i at designe, investere, bygge, eje og drive energiforsyningssystemet i et vist antal år, normalt 15 til 25 år.

5 Tekniske opgraderingsmuligheder

Ud over de ikke-tekniske opgraderingsforanstaltninger er de tekniske opgraderingsforanstaltninger ligeså vigtige, om ikke vigtigere. De omfatter integration af nye teknologier, optimering af eksisterende teknologier samt udskiftning af nedslidt udstyr og udtjente komponenter. Tekniske opgraderinger kan klassificeres som vist i Figur 22.



Figur 22: Klassificering af tekniske opgraderinger (Roth, 2018)

Som nævnt i kapitel 3.2 er det vigtigt at vurdere tilstanden af det komplette fjernvarmesystem, der starter med varmeanlæg fra forbrugere og understationer efterfulgt af varmfordelingen (distributions- og transmissionsnet) og produktionsanlæggene. Som grundlag for at starte den tekniske opgraderingsproces kan skabelonen "Global assessment of district heating systems" (Miedaner et al., 2018) bruges til at vurdere den oprindelige tilstand. Den indeholder også vejledning om vurdering af individuelle systemkomponenter, som kort beskrives i kapitlerne nedenfor (5.1.1; 5.2.1; 5.3.1). Med de indsamlede data i vurderingsskabelonen vil det være muligt for eksperter at få et første overblik og antydninger om de mest relevante områder, hvor opgraderings- og optimeringsforanstaltninger "bedst / nemmest" (baseret på erfaringer) kan føre til forbedringer af fjernvarmesystemerne.

5.1 Understationer og varmeforbrug

Forbruget af varme i bygninger er en nøgle til den effektive varmforsyning. Ved opgradering af et fjernvarmenet er der to hovedpunkter, der vedrører slutbrugerne:

- Energieffektivitetsforbedringer i bygningen og den måde, hvorpå varme anvendes i bygningen, kan naturligvis reducere krav til energiforsyningen.
- Nogle eksisterende varmesystemer i bygningerne er ikke tilpasset lavere flowmedietemperaturer og skal opgraderes.

Disse to punkter er delvist indbyrdes forbundne, da højere isoleringsniveauer muliggør opvarmning ved en lavere temperatur. De beskrives mere detaljeret i de følgende afsnit.

5.1.1 Vurdering af varme forbruger infrastrukturen

Det **årlige varmeaftag** er en vigtig indikator for det samlede systemets størrelse. Desuden er det et element til beregning af andre indikatorer. Ydermere er det den vigtigste kilde til fjernvarmeindtægterne.

Kompleksiteten af varmeforbrugsinfrastrukturen er bestemt ved **antallet af forbruger-varmecentraler**, især de tilsluttede husholdninger. Størrelserne af de enkelte varmekunder har indflydelse på systemets driftsformer. Boligbyggeri har andre krav til systemet end industrier. Normalt er varmebehovet for boligbyggeri mere svingende end for industrisektoren. Bygningerne har derfor høje spidsbelastninger, mens industrier har ofte en høj basisbelastning. Disse forhold påvirker også valget af varmekilderne. Industrier kan dog også have meget svingende udstyr, som kan give problemer med stabiliteten i nettet.

Type og fremgangsmåde til **integration af forbruger-varmecentraler** har indflydelse på det samlede system. Hver varmecentral skaber et trykfald i systemet, hvilket skal medregnes ved udformning af det samlede system, for eksempel krav til pumpen. Faktorer som typen af anvendte ventiler og mængden og typen af varmevekslere bør overvejes i design af netværket.

Temperaturniveauet hos kunderne har indflydelse på det laveste nødvendige temperatursæt i fjernvarmesystemet. Selv uden hensyntagen til varmetab og uden yderligere komponenter på forbrugersiden svarer den minimale ønskede fremløbstemperatur hos forbrugerne til fjernvarmesystemets minimale fremløbstemperatur. På grund af varierende varmesystemer varierer de ønskede temperaturer også. Derfor er det nødvendigt at analysere alle temperaturer. Et andet vigtigt aspekt i denne overvejelse er radiatorernes eller andre varmesystemers designtemperaturer, da disse temperaturer sammen med temperaturen i nettet bestemmer ydelseskrav for varmevekslerne. Ofte er radiatorerne overdimensionerede og giver mulighed for en reduktion af temperaturerne. Det er vigtigt, at radiatorerne er udstyret med termostatventiler. Hvis bygningerne blev efterisoleret, er det muligt at reducere fremløbstemperaturen.

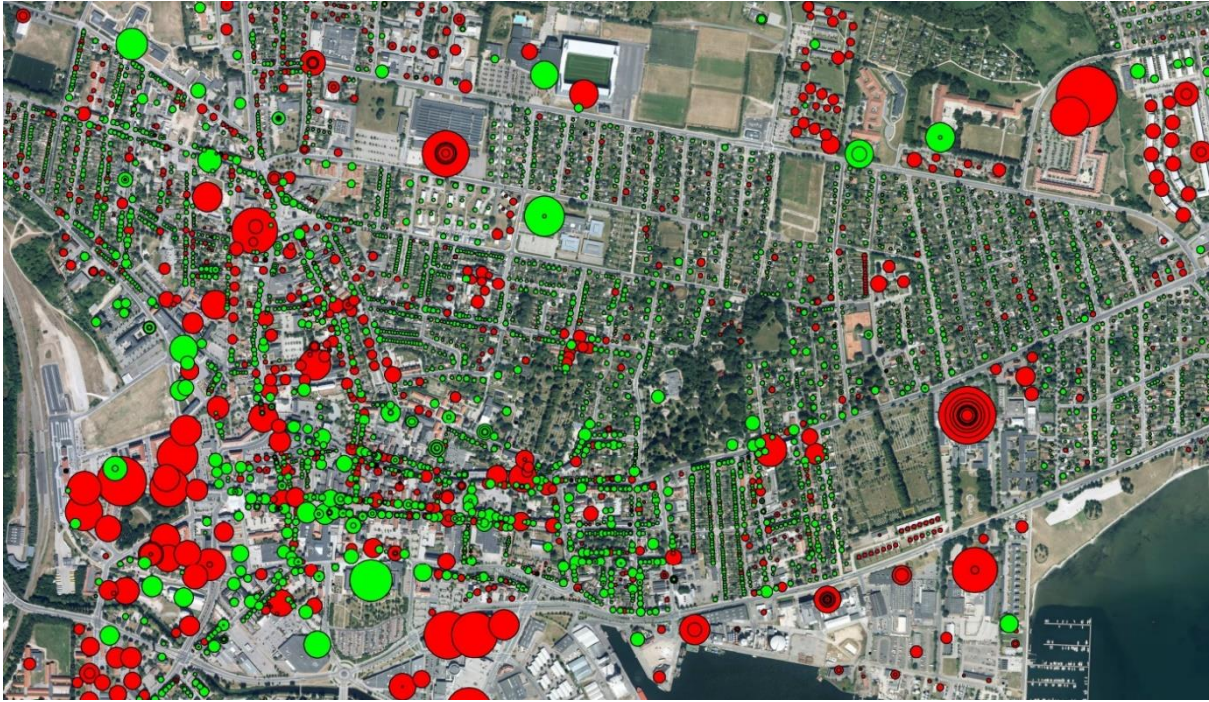
Typen og metode for integreringen af **forbrugernes varmecentraler** i det overordnede system skal vurderes, da det gør en forskel på, hvordan tilberedningen af varmt vand udføres. Desuden skal de **trykfald**, der skyldes hovedreguleringsventiler og varmevekslere, vurderes. Ventilens trykfald (KV's værdi) skal være mindst 2/3 af trykfaldet i varmeveksleren, eller endnu mere, hvis støjemissionen tillader det. Ventilens trykfald skal være høj, da den er konstrueret til fuld belastning. Hovedparten af året drives stationerne ved delbelastning, hvilket betyder, at trykfaldet over ventilen er meget lavere end i designtilstanden. Da der er en kvadratisk sammenhæng mellem masseflow og tryktab, betyder det, at i tilfælde af en 50% reduktion af massestrømmen, udgør tryktabet kun 25% af dets designtilstand. Dette igen kan føre til en meget ustabil drift af ventilen (permanent åbning og nedlukning af ventilen) og kan forårsage skader på varmeveksleren og kan endda få konsekvenser for netværket.

Kortlægning af varmeområdet kan give værdifuld indgang til energiforbruget. I Figur 23 angiver størrelsen af prikker en bygnings samlede varmeforbrug, mens farven angiver, om de leveres af fjernvarme (grøn) eller anden forsyning. Når der foreligger data om varmeforsyning og forbrug, giver dette et godt visuelt overblik over områder, hvor der skal fokuseres på reduktion af forbrug og / konvertering til fjernvarme og ikke fossile brændsler.

Lavtemperatur-forsynings-temperaturer kan være udfordrende med hensyn til varmeforsyningen i bygninger. For at sikre, at komfortniveauet i bygningen er opfyldt, og at varmt vand leveres uden risiko for Legionella, skal der foretages en omhyggelig gennemgang af de bygninger, der skal modtage varme fra et lavtemperaturnetværk.

I områder, hvor der skal tilsluttes nye bygninger til lavtemperaturfjernvarme, kan varmesystemerne i bygningerne udformes til lavere temperaturer. Dette vil typisk omfatte:

- Gulv- (eller anden overflade) opvarmning, hvor det er muligt
- Hvis gulvvarme ikke er mulig, skal radiatorer dimensioneres efter driftstemperaturen
- Bygningsdesignet bør undgå decentrale varmtvandsbeholdere og lange rørledninger på varmtvandsanlægget



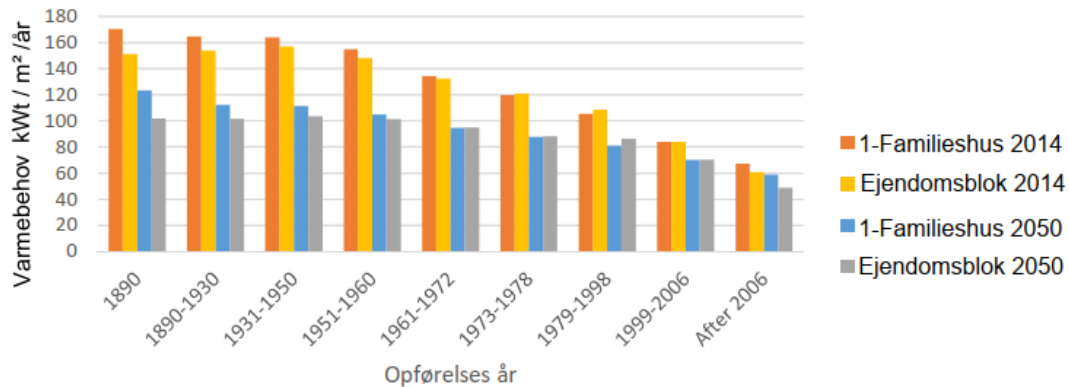
Figur 23: Energiforbrug og forsyning (kilde: COWI A/S)

Det kan være udfordrende at forbinde **eksisterende bygninger** til et lav-temperaturnet, hvis bygningerne oprindeligt var designet til at blive opvarmet med meget højere temperaturer. I nogle tilfælde, især i ældre bygninger, kan forbedringer i isolationsniveauer betyde, at de oprindelige radiatorer er for store for bygningens aktuelle varmetab. I dette tilfælde kan lavere temperaturfremløb være mulig. I andre tilfælde kan en omfattende renovering af det interne varmesystem være den eneste mulighed.

Forsyning af varmt forbrugsvand via et lavtemperatur-fjernvarmesystem kan også være en udfordring i eksisterende bygninger på grund af risikoen for Legionella. Dette problem kan styres ved hjælp af en specielt designet varmeveksler, som indeholder et lille elektrisk element til opvarmning af varmt brugsvand eller med en booster varmepumpe.

Forbedring af **eksisterende bygningers energieffektiviteten** er en stor udfordring, som er vanskelig at implementere i den private sektor. Selv om bygningsregler, målsætninger og incitamenter forsøger at tilskynde til at forbedre energieffektiviteten, er mange bygninger stadig meget krævende. De lange levetider på byggematerialer i forhold til den langsomme renoveringstakt betyder, at energiforbruget af den eksisterende bygningsmasse ændres langsomt – dog giver vinduesudskiftning en stor og hurtig effekt.

En undersøgelse fra Aalborg Universitet i Danmark (Wittchen et al., 2014) giver en indikation af det forventede energiforbrug af den eksisterende bygningsmasse i år 2050, hvis der skal gennemføres energifornyelser i overensstemmelse med bygningsreglementet. Dette er vist i Figur 24.



Figur 24: Potentiale for at reducere energibehovet 2050 (Kilde: Wittchen et al. 2014)

Selv om det er baseret på danske data- og energieffektivitetsforbedringer, viser det sig, at der kunne opnås en betydelig reduktion i varmekonsumet, især for de boliger, der er bygget før 1970'erne, som har et reduktionspotentiale i varmekonsumet på typisk 30% pr. m².

I modsætning til trinvis ændringer giver en **total renoveringsplan** (overordnet opgraderingsstrategi) mulighed for betydelige gevinster inden for alle effektivitetsområder og letter udviklingen af et lavtemperaturnetværk. Dette er tilfældet i f.eks. Albertslund i Danmark, hvor kommunen har et mål om, at hele deres varme- og elforsyning vil være CO₂ neutral inden 2025. En del af implementeringen af dette indebærer udskiftning af hele det gamle fjernvarmenet (etableret i 1964 med en driftstemperatur på ca. 90 °C) med et lavtemperaturnet (med en driftstemperatur på 50-60 °C), (COWI).

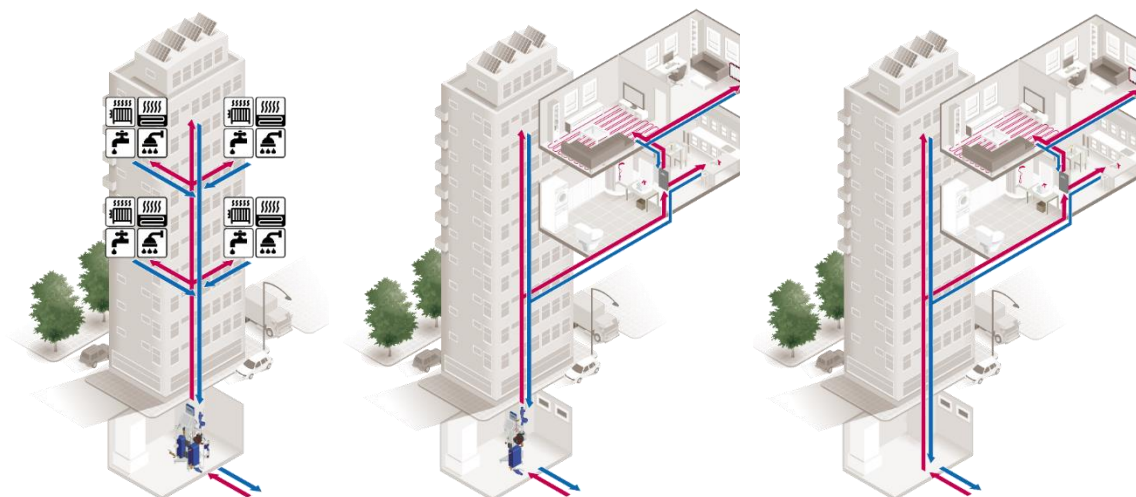
De fleste boliger i Albertslund (Figur 25) blev bygget i 1960'erne og 70'erne og udgør derfor en udfordring i forhold til lavtemperaturoppvarmning. Isolationsstandarder og varmeanlæg er ikke konstrueret til lavtemperatur og kan ikke give tilstrækkelig varme med fremløbstemperaturer på 50-55 °C. Kommunen har et ambitiøst program for renovering af bygninger til høje standarder for energieffektivitet, som omfatter forbedringer af isolering samt installation af gulvvarme. Lejlighederne forbindes i faser i overensstemmelse med renoveringsplanen og afviklingen af højtemperaturdistributionssystemet. Lavtemperaturkredsløbet forsynes via returløbet fra det oprindelige fjernvarmesystem, der blandes til 55 °C gennem en shuntventil.



Figur 25: Bygninger i Albertslund, Danmark før (venstre) og efter (højre) renovering (Kilde: COWI)

5.1.2 Muligheder for renovering af varmecentraler

Der eksisterer flere forskellige muligheder for at forbinde forbrugerne til fjernvarme. De kan opdeles i følgende **tre tilslutningsmuligheder**, som det er vist for fleretages bygninger, for eksempel i Figur 26. Den første mulighed er den traditionelle med en central veksler i kælderen i fleretagesbygningen. Den anden mulighed omfatter den såkaldte lejlighedsvekslerløsning udover den centrale vekslerstation, også en mikrovarmeveksler i lejlighederne ("flat-station"). Endelig er den sidste mulighed at have lejlighedsvekslerløsning uden central veksler.



Figur 26: Forbindelsesmuligheder for husholdninger til fjernvarme (Kilde: Alfa Laval / Cetetherm – COOL DH projektet)

Traditionelle fjernvarmecentraler omfatter ofte varmtvandsbeholdere til udjævning af belastningen og for at sikre en tilstrækkelig lav returtemperatur. Men for flerfamiliehuse vil veludviklede varmevekslere (5 rørforbindelser) også kunne klare opgaven. Hvor vandkvaliteten er "hård" anbefales det at installere et blødgøringsanlæg inden varmeveksleren til varmt brugsvand for at undgå til-kalkning.

Fordelen ved at bruge velisolerede **mikrovarmevekslere** i lejlighederne er, at fjernvarmeforsyningstemperaturen kan reduceres til ca. 8 °C over den krævede

varmtvandstemperatur, som i nogle tilfælde er ned til 45 °C, når varmtvandsvolumenet er mindre end 3 liter i rørene (Tyskland).

Kombinationen af et lavere antal stigrør (de vertikale rør vist i Figur 26), ingen behov for en varmtvandsbeholder og lavere temperaturer, reducerer det samlede varmetab. Omkostningerne vil dog være lidt højere end den traditionelle løsning.

Direkte koblet fjernvarmeopvarmning, som ikke er særlig almindelig i dag, kræver radiatorer af højere trykklasse og rent fjernvarmevand. Fordelen ved et sådant system er en lavere returtemperatur og mindre omkostninger. Denne praksis anvendes kun få steder, f.eks. i Danmark

For direkte koblede systemer er det nødvendigt at have to overvågede flowmålere en til fremløbet og en til returløbet. Endvidere er der brug for automatiske ventiler, der lukker forbindelsen til fjernvarmesystemet i tilfælde af, at der opstår en lækage.

Smart måling med dataoverføring i realtid fra energimåleren kan ud over oplysninger om energiforbrug og forbrugsmønstre også give information om dårlige delta T værdier, høje returtemperaturer samt uønskede udsving, som fjernvarmefirmaet kan adressere. Desuden kan de indsamlede data bruges til at detektere rørlækage i jorden, der kan forårsage høje varmetab.

Fjernbetjeningen kan også omfatte en on / off kontrolanordning til justering af rumopvarmning, så bygningerne selv kan fungere som topbelastnings udjævningsenhed i perioder med stor efterspørgsel efter af varme til varmt vand.

5.2 Varmedistribution og rørledningsteknologier

En væsentlig del af fjernvarmesystemerne er varmforsyningsnettet, som forbinder de varmeproducerende anlæg med varmeaftagerne. Normalt består opvarmningsnettet af et forsyningsrør, der leverer opvarmet varmt vand eller damp fra varmekilden til aftageren, samt et parallelt returrør, der returnerer det "brugte / afkølede" vand tilbage til varmegeneratorerne. Målet er at sikre en pålidelig varmforsyning, som er tilpasset behovet, så effektivt som muligt.

For at opnå dette er der forskellige **rørteknologier** tilgængelige, som varierer i størrelse og egenskaber. I fjernvarmehistorien er der brugt mange forskellige rørsystemer, nogle har ikke overlevet, fordi rør viste sig at svigte for tidligt eller på grund af utilfredsstillende energieffektivitet. Andre har vist deres robusthed i årtier. (Frederiksen & Werner, 2013).

Valget af et passende rørsystem påvirkes hovedsageligt af varmemediet (damp eller vand), temperaturniveau, varmemængden, som skal transporteres og længden af rør i nettet. Udviklingsmål for nye varmfordelingsteknologier er som regel at reducere investeringsomkostninger, pladskrav, installationstid og driftsomkostninger.

5.2.1 Vurdering af varmfordelingsinfrastrukturen

Netværkets længde giver information om udstrækningen og udbredelsen af netværket. Disse oplysninger er et vigtigt element til at beregne præstationsindikatorer som varmeudnyttelses-densiteten. Dermed er ikke kun den samlede længde en vigtig information, men også den samlede længde af rørtypen med en vis diameter.

Den **tilsluttede belastning** afspejler summen af hele varmelasten fra alle bygninger uden nogen samtidighedsfaktor. Samtidighedsfaktoren betyder, at netværkets varmetilførsel (maksimale belastningsmængde for alle varmeproduktionsanlæg på samme tid, sædvanligvis målt over det forløbne år) i MW divideret med den tilsluttede varmelast i MW er en vigtig faktor. Faktoren skal være lavere end "1". Jo lavere faktoren er, jo bedre og mere økonomisk er resultatet.

Alderen på fjernvarmenettet sammen med den faktiske tekniske tilstand af nettet giver en indikation af, om driftsfunktionen er o.k. eller hvis den skal forbedres. Det er vigtigt at vide, om driftstilstanden (temperaturer, tryk osv.) har ændret sig fra tidligere. Drifts- og vedligeholdelsesomkostningerne, alderen og den nuværende tilstand kan bidrage til at udarbejde en investeringsplan for nettet.

Fjernvarmenettets vigtigste funktioner skal være kendt, om det er et primært eller sekundært net. Desuden er det vigtigt at vide, hvilken type rør der er installeret: præisolerede rør, kanaltype, rørledninger over terræn mv.

Kvaliteten af et fjernvarmenet kan beskrives ved hjælp af følgende indikatorer:

- **Antal påfyldninger pr. år:** Påfyldninger betyder, hvor ofte den samlede vandmængde i alle rør er blevet udskiftet på et år. Dette forudsætter, at vandtabene er blevet målt. Vandtabene kan måles ved at måle den behandlede vandmængde (også kaldet spædevand), som er blevet behandlet og genpåfyldt i nettet fra vandbehandlingsanlægget.
- **Korrosion:** Indvendig eller udvendig korrosion. Ved indvendig korrosion skal vandkvaliteten fra vandbehandlingsanlægget forbedres. se (AGFW FW 510 2018). Udvendig korrosion kan forekomme i kanalrør eller rør over terræn. Indvendig korrosion bør aldrig kunne forekomme.
- **Tilstand af kanalerne hvor der anvendes kanalrør:** Meget ofte kan kanalrør være eller have været oversvømmet på grund af enten korrosion eller på grund af at kanalen er oversvømmet gennem grund- eller regnvand. Hvis en kanal er blevet oversvømmet, vil varmetabene stige, og ydeevnen forringes. Disse kanaler kan blive lokaliseret ved termografi. Kanalrør bør erstattes af præisolerede rør.
- **Varmetab:** Varmetab skal være så lavt som muligt. Det er derfor vigtigt at vide, hvor store de er og hvordan de er blevet beregnet (se også "antal påfyldninger pr. år" ovenfor).
- **Vandtemperaturer:** Jo lavere systemets temperatur, jo højere er normalt effektiviteten, og jo lettere er integrationen af vedvarende energikilder. Varmetabet falder med lavere driftstemperaturer. Hvis der er en udekompenseret driftstemperatur, skal det anføres, hvordan den fungerer, for eksempelvis en ændring i udetemperaturen på 1° C forårsager 3,5 ° C ændring i fremløbstemperaturen osv. Normalt kører fjernvarmesystemer ligesom i bygninger med en udekompenseret fremløbstemperatur. I sommerhalvåret holdes fjernvarme temperaturen konstant. Svingninger i belastningen i mødekommers på moderne anlæg ved at regulere flowet.
- **Antal nedlukninger:** Hvis nettet afbrydes af vedligeholdelsesmæssige årsager, skal ekspansionszoner (U – rørs lyrer) fikseres, før temperaturen sænkes under 80 °C i fremløbsrøret. Ellers kan nettet lide statiske spændingsskader. Hvis nettet lukkes ned, skal specifikke reparations rutiner indføres for denne situation.
- **Fejl pr. km:** Antallet af utilsigtede hændelser / fejl pr. km rørtracé og pr. år skal være så lille som muligt.
- **Vandkvalitet:** Vandkvaliteten skal være i overensstemmelse med foreskrevne standarderne, som f.eks. med AGFW FW 510 2018-standarden i Tyskland.
- **Statistisk information:** Antallet af tilslutninger, tilslutningsbelastning pr. km rørstrækning eller varmebehov pr. km² er kun statistiske tal og tjener som indikator for varmetæthed.

Netværkspumperne er en stor elforbruger. Overdreven pumpekapacitet eller forældede teknologier resulterer ofte i høje driftsomkostninger. Desuden har de stor indflydelse på indikatoren for specifik pumpeydelse kWh_{el}/MWh_{th} . (betyder, kWh elektricitet pumpeenergi divideret med MWh varme leveret). Høje værdier angiver problemer med

nettet og netværkspumperne. Således er kontrollen med pumper meget vigtig. Frekvensstyrede pumper er "state of the art". Størrelsen på netværkspumperne skal omhyggeligt beregnes ved hjælp af en hydraulisk beregningsmodel, og de bør styres fra det punkt i netværket med det laveste differensstryk. Dette tryk bør ikke være mindre end 0,7 bar.

5.2.2 Fjernvarmerørens levetid

Vurderingen af den resterende levetid for fjernvarmerør kan nemt gennemføres med et simpelt spørgeskema eller en skabelon. **Fjernvarmerørets levetid** afhænger af flere faktorer relateret til miljøforholdene, men også til den operationelle styring. For eksempel afhænger det af temperaturniveauer, temperaturvariationer og vandkvaliteten i nettet. Mod slutningen af rørens levetid kan der opstå lækager, men også termomekanisk træthed eller termo-oxidative ældningsfænomener, der for eksempel fører til en reduktion eller tab af isolationsegenskaberne. Den beregnede levetid for rør med PE-kappe er mindst 30 år (AGFW FW 401, 2018), men der er mange eksempler på installationer, der lever i længere perioder uden problemer.

Rørets langsigtede egenskaber afhænger hovedsageligt af termostabiliteten af det stive polyurethanskum, og hvordan det er bundet til stålrøret. Langvarige høje temperaturer forårsager termisk nedbrydning, hvilket fører til reduktion af styrken (AGFW FW 401, 2018). På grund af den korte levetid for eksisterende DH-netværk sammenlignet med andre infrastruktursystemer er der imidlertid mangel på lang erfaring med estimering af levetid på systemkomponenterne. Der er forskellige tilgange til livscyklusvurdering af infrastrukturnet. Disse omfatter statistiske levetidsmodeller, termisk ældningsmodeller og akkumuleringsteorier. Alle metoder til estimering af (resterende) levetid er underlagt usikkerheder.

En vigtig egenskab ved fjernvarmerør er deres tolerance over for temperaturændringer i fjernvarmevandet. Disse ændringer forårsager store kræfter mellem jord og rørsystem, da rørene udvider og trækker sig sammen med skiftende temperaturer. En indikator, der kan beskrive denne belastning, er antallet af fuldlastcykler, som et system mindst skal kunne modstå, inden det fejler. **En fuldlastcyklus** er den største forskel mellem temperaturen ved installationen af systemet og den maksimale driftstemperatur. Det absolutte antal tilladelige fuldlastcykler varierer stort set med de forskellige typer af fjernvarmerørledninger og giver en rettesnor om systemets design. Med en stigende andel af vedvarende energi i fjernvarmesystemerne forventes det, at frekvensen af temperaturændringer i fjernvarmerørene stiger (Sauerwein, 2013a, 2013b).

Afhængigt af rørets tilsigtede drift i 30 eller 50 år forventes forskellige antal fuldbelastningscykler som vist i

Tabel 4.

Tabel 4: Beregnet antal fuldlastcykler for forskellige rør (baseret på AGFW FW 448, 2018; prEN 13941)

	Beregnete fuldbelastningscyklusser i 30 år	Beregnete fuldbelastningscyklusser i 50 år
Transmissionsledninger	100 – 250	170 – 420
Distributionsledninger	250 – 500	420 – 840
Stikledninger	1,000 – 2,500	1,700 – 4,200

Der eksisterer ikke en 100% korrekt procedure til vurdering af infrastruktur til varmfordeling. Der er løbende forskningsaktivitet for at forbedre kvaliteten af estimeringen af restlevetid og den nuværende status (AGFW, 2015, 2018a). Der findes

dog nogle procedurer, som muliggør konklusioner om den nuværende status for et fjernvarmerør (system).

En mulighed er at foretage en simpel **tilstandskontrol af rørsystemet**. Til dette formål kan en visuel observation og en kontrol af vigtige egenskaber som varme-, tryk- og vandtab give en første vurdering. Anvendelige metoder og teknologier til tilstandskontrol og identifikation af afvigelse i fjernvarmerørledningerne er beskrevet i de anerkendte Regler for Teknologier for Fjernvarme, køling og kraftvarme, der offentliggøres og regelmæssigt opdateres af AGFW (2018). De indbefattede procedurer fra (AGFW FW 435, 2018) er klassificeret i syv grupper:

1. Operationelle teknikker

Disse teknikker bruger systemparametre og målinger til at detektere lækager. Hyppige kritiske trykfald eller hyppig genopfyldning af fjernvarmevand er indikatorer for lækager i systemet. Teknikkerne muliggør en bedre lokalisering og bidrager til en mere fokuseret igangsætning af yderligere foranstaltninger.

2. Visuelle procedurer

Den visuelle inspektion af rørtilstand er afgørende for vurderingen af vedligeholdelsesstatus for rørsystemer. Identificerede defekter, der endnu ikke har ført til en fejl, kan undersøges og evalueres. Disse mangler påvirker planlægningen af vedligeholdelsestiltag og strategier. Ud over den forebyggende brug kan visuelle procedurer også anvendes til at lokalisere det faktiske sted for lækager i systemet. Det visuelle instrument Crawler-Eye beskrives mere detaljeret i kataloget "Opgraderingsinstrumenter" i Upgrade DH-projektet (Upgrade DH, 2018c). I praksis giver brugen af termisk billeddannelse via fly en yderligere fordel. Med samtidig netværkskortlægning er det muligt at dokumentere den sande netværksstrace. Dette er især nyttigt for gamle netværk hvor dokumentationen ofte er utilstrækkelig, forkert eller endda gået tabt.

3. Mekanisk-teknologiske procedurer

Mekanisk-teknologiske procedurer indbefatter måling af rørens vægtykkelse ved hjælp af ultralyd. Resultaterne tillader en undersøgelse af materialetilstanden og anvendes som indikator til at estimere den resterende driftstid for røret og forbedre planlægningen af vedligeholdelsesforanstaltninger.

4. Transportable procedurer

Termografiske procedurer og korrelationsanalyser anvendes til at detektere det faktiske punkt af en lækage (baseret på en placering anslået med tidligere anvendte operationelle teknikker). Begge applikationer giver mulighed for en præcis lokalisering, men de arbejder med forskellige principper. Fly termografering er også beskrevet i kataloget over opgraderingsinstrumenter (Upgrade DH, 2018c).

5. Sporstoffer

Sporstoffer anvendes til at lokalisere det faktiske sted for en lækage (baseret på anslået placering ud fra tidligere anvendte operationelle teknikker). Anvendelsen af sporstoffer påvirker ikke systemets funktion.

6. Vægtykkelse måles ved inspektionsrobot

Brugen af inspektionsrobotter til vægtykkelse målt ved ultralyd forbedrer kvaliteten af resultaterne ved at levere en mere gyldig dokumentation om rørtilstanden.

7. Systemspecifikke / integrerede procedurer

Under installationen (og produktionen) af fjernvarmeledninger er det muligt at integrere overvågningssystemer. Disse systemer bruges til at kontrollere, om der kommer vand ind i isoleringen. Derfor placeres en ledning i isoleringen af

præisolerede rør, der med ekstraudstyr muliggør en kontinuerlig overvågning. Ledningen er også ses i Figur 29.



Figur 27 Visuel inspektion med "The Crawler Eye" af det tyske Institut für Angewandte Bauforschung Weimar gGmbH (Kilde: AGFW)



Figur 28: Termografering fra fly (kilde: SCANDAT GmbH)

Endvidere påvirkes kvaliteten af fjernvarmesystemet også af kvaliteten af **fjernvarmevandet**, som er beskrevet i AGFW FW 510 (2018). Vandkvaliteten har indflydelse på rørledningsnettets levetid, fordi det påvirker korrosionshastigheden i medierøret, der oftest er fremstillet af stål. Desuden kan vand med utilstrækkelig kvalitet føre til funktionsfejl i nettet som følge af aflejringer i rørledninger og ventiler. Afgørende for vurderingen af vandkvaliteten er de enkelte bestanddele i vandet og deres sammensætning. I specifikationerne for anvendelse til fjernvarmevand benyttes følgende vejledende værdier. Kriterierne for vurdering af fjernvarmevand er:

- Elektrisk ledningsevne ved 25 °C
- Udseende
- pH-værdi ved 25 °C
- Oxygen
- Summen af hårdhedsfaktorer
- Jern
- Kobber
- Sulfid
- Sulfat
- Syrekapacitet KS8.2
- Syrekapacitet KS4.3

Da vandkarakteristika kan ændre sig over tid, er det tilrådeligt at overvåge vandkvaliteten eller gennemføre periodiske analyser. Derfor er vurderingen af fjernvarmevandets kvalitet en langsigtet forebyggende metode og en af de første indikatorer for potentielle yderligere fejl (eksempelvis forårsaget af korrosion). Fjernvarmevand anvendes i lukket kredsløb, og lækager bør undgås så meget som muligt. (AGFW FW 510, 2018).

5.2.3 Oversigt over moderne rørteknologi

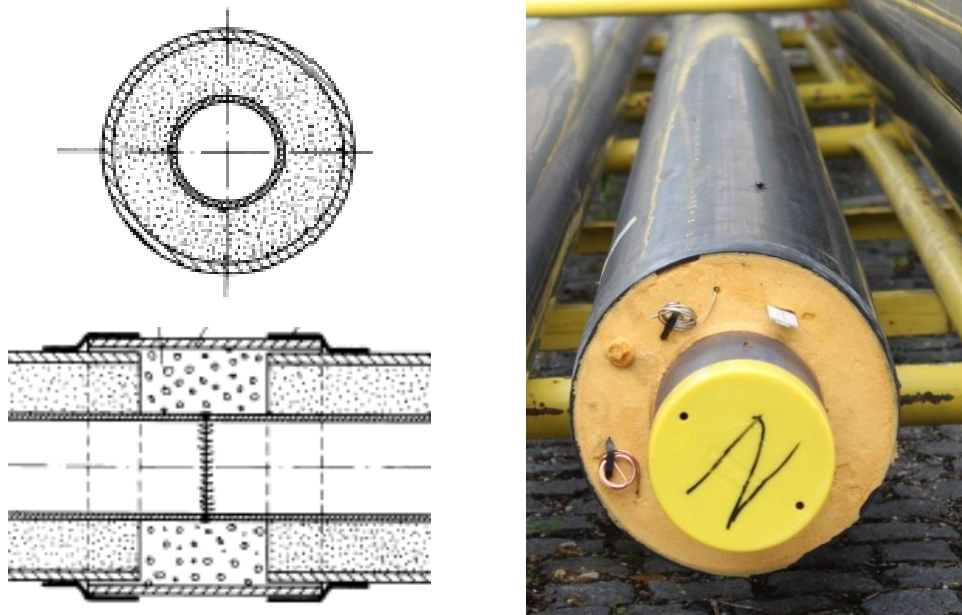
Den største del af fjernvarmerørsystemet er normalt lagt under jorden (for det meste i jorden), og ganske mange ligger over terræn, i tunneller eller inde i bygninger.

Underjordiske rørledninger

Grundstrukturen for almindeligt anvendte rørteknologier består af to koncentrisk placerede rør (se Figur 29). Funktionen af det indre medierør (grå) er transport af varmemediet uden lækager, det er omgivet af et isolerende materiale (gult) for at reducere varmetabet. Den udvendige rørkappe (sort) er ansvarlig for at beskytte isoleringen og centerrøret mod vand og beskadigelse udefra. Up-to-date jordlagte rørledninger er desuden udstyret med to ledninger inde i isoleringen, der kan medvirke til at detektere lækager. (AGFW, 2013)

Anvendelsen af forskellige materialer til de tre hovedkomponenter karakteriserer de forskellige rørsystemer. Mest almindelige er helsvejste, direkte nedgravede rør med plastikkappe, hvilket også ses på de forskellige undersøgte opgraderingsprojekter under "Upgrade DH"-projektet (Upgrade DH, 2018b).

Rør med plastikkappe (Plastic Jacket Pipes, (PJP)) Her er medierøret normalt af stål, men især ved den stigende brug af lavtemperaturnet kan plastmedierør også anvendes. Rørkappen er lavet af polyethylen (PE) eller højdensitetspolyethylen (PEHD) og styres af isoleringsmaterialet, der er fremstillet af cellulært polyurethanskum (PUR-skum) (Frederiksen & Werner, 2013). De enkelte rørledningssegmenterne fremstilles præisoleret.



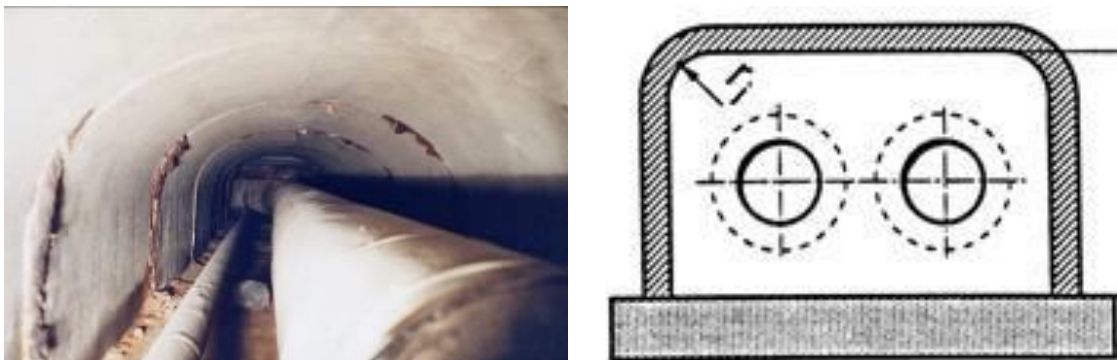
Figur 29: Sektionsskitse af PJP og PJP-forbindelse (Kilde: AGFW, 1993) (venstre) og PJP-rør (Kilde: D. Rutz) (right)

Ved samling af to rørsegmenter svejses medierørene, og kapperørene forbindes med en manchete. PJP'er er ikke egnet til anvendelse over 120 °C (kontinuerlig drift). Kun i en kort periode kan teknologien klare temperaturbelastninger på op til 130 °C-140 °C. Den fælles brug af PJP-rør går op til DN 600, men diametre op til DN 1200 er også mulige. Med samme teknologi, er det muligt at placere forsynings- og returrørledningen i samme kapperør (dobbeltrør / tvillingrør), men kun for små medierørdiametre. (AGFW, 2013; AGFW FW 401, 2018).

Flere oplysninger om den historiske udvikling, samlinger, formstøbte komponenter mv. er vist af Frederiksen & Werner (2013). De relevante normative retningslinjer er "EN 13941 - Design og installation af præisolerede fastrørsystemer til fjernvarme" eller "DIN EN 253 - DH Pipes – Pre-insulated bonded pipe systems for directly buried hot water networks".

En anden relevant, men ikke så almindelig variant er stålkapperør, hvor både medierøret og kapperøret normalt er fremstillet af stål. Varmeisoleringen af mellemrummet udføres ved at fastgøre fiberisoleringsmateriale til røret eller ved at skabe et vakuum i rummet mellem medie og kapperør. På grund af kapperørets materiale er det desuden nødvendigt at beskytte det mod korrosion forårsaget af det omgivende miljø (f.eks. vand) for at sikre lang levetid. Denne teknologi er velegnet til applikationer med temperaturer over 130 °C. Det er en fordel for netværk med et lille antal afgreninger og derfor især til fjernvarmetransmissionsledninger med store diametre. (AGFW, 2013).

En anden form for underjordiske rørledninger er kanallagte **rørledninger**. Disse rørledninger er også installeret under jorden, men indkapslet i betonkanaler, der giver mekanisk beskyttelse. På grund af deres konstruktion bidrager kanalerne også til beskyttelse mod fugt, hvilket giver gode betingelser for rørledningens isolering. I tilfælde af jord med et højt grundvandsniveau, skal der træffes yderligere foranstaltninger for at holde kanalerne vandtætte. Formen på kanalen kan variere, et fælles eksempel er hættekanalen (Figur 30). (AGFW, 2013).



Figur 30: Underjordisk rørledning, billede af en hættekanal (AGFW, 2013) (venstre) og en rektangelhætte ifølge DIN 18178 (AGFW, 1993) (right)

Hættekanaler består af to dele. Bunddelen ("bundplade") er lavet af in situ beton eller færdigblandet beton, og hættten er normalt præfabrikeret. Rørledningerne er monteret med lejer på bunden og dækket af hættten. På grund af konstruktionsbetingede små samlinger er hættekanaler mindre anvendelige til jord med meget og højt grundvand. (AGFW, 2013).

Hvor plads ikke er problemet, blev der undertiden installeret **rør over jord**. Det er en omkostningseffektiv alternativ løsning til realisering af fjernvarmenettet. Bygningsmetoderne skal overveje byplanlægning og krav til landskabsbeskyttelse. Rørledningerne kan monteres på betonfundament eller stålkonstruktioner. Yderligere muligheder for specifikke lokale krav er hængende konstruktioner eller rørbroer. Derved kan rørledninger for eksempel føres langs gader. Hængende rør kan også fastgøres til

broer. Selv om installationer med rørledninger over terrænen kan være meget praktisk, skal det ret så negative udseende overvejes, især i byområder og beboede områder. (AGFW, 2013).

Rørledninger kan også installeres som hængende rørledninger i bygninger (Figur 31). Derved opnås en betydelig reduktion af anlægsomkostningerne. Især i de tilfælde hvor bygninger, er bygget tæt sammen, kan rørledninger inde i kældre eller en underjordisk parkeringskælder være en mulighed. Bygningsstatikken skal dog kontrolleres. Kontrollementer skal være tilgængelige, og væggennemføringer skal være vel planlagt. (AGFW, 2013).

Endelig skal det nævnes, at der i mange fjernvarmesystemer anvendes flere forskellige rørtyper, idet systemerne ofte er vokset med tiden.



Figur 31: Eksempler på eleverede og terrænnære rørledninger (Kilde: AGFW, 1987)

5.2.4 ombygningsmuligheder for varmfordelingssystemet

Mulighederne for at opgradere en eksisterende rørledning er ret begrænsede. I tilfælde af en lokal lækage bliver opdaget, kræves der betydelige bestræbelser for at nå frem til disse lækager, især i underjordiske rørledninger. I dette tilfælde skal der foretages en udgravning. Den mest almindelige renoveringsmulighed til forbedring af systemets effektivitet er udskiftning af "out-of-date" med "up-to-date" teknologi, (uddateret med opdateret teknologi) som også blev beskrevet i eksemplerne i bedste praksis i "Upgrade DH-projektet" (Upgrade DH, 2018a).

Teknologien i rørsystemer er blevet forbedret i de sidste årtier, og der er blevet udviklet ny teknologi. Nye rør kan sænke investeringsomkostningerne, reducere varmetabet og reducere fejlrisici. Udskiftning af rørene er således en ofte anvendt mulighed når man vil opgradere fjernvarmesystemerne.

Et projekt i Danmark (Energifornyelse med fokus på lavtemperatur fjernvarme i Albertslund, Upgrade DH, 2018a) viste, at det under visse betingelser er muligt at installere et helt nyt net uden at frilægge de gamle rørledninger. Dermed var det også

muligt at reducere nettets driftstemperaturniveauer og tillade lavtemperatur fjernvarme. Derfor blev systemets varmetab reduceret på grund af nye rørledninger såvel som ved lavere temperaturer. Det afhænger dog af de lovgivningsmæssige og nationale standarder, om de gamle rør kan efterlades i jorden, som det var tilfældet i dette eksempel.

En mulighed for at forbedre distributionssystemets effektivitet er at **reducere energibehovet til driften**, hvilket primært gælder drift af pumperne, der cirkulerer vandet i fjernvarmesystemet. Deres energiforbrug kan ikke undgås, men flere projekter viste betydelige potentialer for at optimere deres drift og reducere forbruget af el-energi til et minimum. Dette minimum er relateret til det minimale forsyningstryk. Trykket på punktet med den laveste trykværdi skal være højere eller lig med det minimale forsyningstryk nødvendigt for at sikre den korrekte funktion i net og brugerinstallation. Ved eftermontering af et SCADA-system (Supervisory Control and Data Acquisition) og de nødvendige måleinstrumenter er det muligt løbende at kontrollere at nettets trykniveau i overensstemmelse med det mindste krævede differenstryk. På grund af SCADA-systemet og yderligere implementerede VSD pumper (variable speed drive), er det muligt at reducere strømforbruget til varmfordeling uden at reducere forsyningssikkerheden. Ud over implementering af overvågningsteknologier kan man i samlingen af "Bedste metode praksis" (Instrumenter og værktøjer") (Upgrade DH, 2018c) finde en generel tilgang til "Justering af Flowmængde til de Faktiske Behov / Krav, for at spare pumpeenergi og opnå lave returtemperaturer".

En anden mulighed for at opgradere varmfordelingssystemer er **tilslutningen af to separate fjernvarmenet**, som det blev vist i et af " Upgrade DH's Bedste Eksempler (Interconnection of Two Separated DH Networks in Italy; Opgrader DH, 2018a). Distributionsnettet blev udvidet for at opnå flere fordele. To adskilte og uafhængige driftsnet med individuelle varmeproduktionsanlæg blev forbundet. De opnåede fordele var at diversificere og forbedre brændstoffblandingen, for at øge varmetilskuddet fra et affaldsenergianlæg og at erhverve nye kunder. Dette var muligt, da rørledningen, der blev installeret mellem de to net, blev ført gennem et boligområde med potentielle nye forbrugere. Denne fordel blev også taget med i betragtning under projektplanlægningen, understøttet af et specielt softwareværktøj, Optit program til optimering af netværksudvikling. Den anvendte software til denne beregning samt andre opgraderingsværktøjer og instrumenter er beskrevet i "Upgrade DH" (2018c).

Resultatovervågning og dataindsamling er de moderniserings foranstaltninger, der sigter mod midt- eller langsigtede mål. Deres anvendelse har ikke direkte indflydelse på systemet, men det er et relevant skridt hen imod en bæredygtig forbedring af systemerne. Implementeringen af softwareværktøjer, overvågningssystemer, og dataindsamling bidrager til at identificere systemets svage punkter og igangsætte fortsatte opgraderinger. Til dette formål indgår også identifikation af defekte komponenter og dermed planlægning af vedligeholdelsesstrategier og -foranstaltninger. (Opgrader DH, 2018b).

5.3 Varmeproduktionsteknologier

Da den generelle tendens inden for energisektoren og de dermed forbundne målsætninger bevæger sig hen imod 100% vedvarende energi frem mod 2050, er opgradering af varmeproduktion relateret til integrationen af vedvarende energi. Enhver sofistikeret opgraderingsplanlægningsproces bør derfor udarbejde og planlægge den fulde omskiftning af varmeproduktionen fra den eksisterende blanding af varmeproduktionskilder til fuld dækning med vedvarende energikilder, selv om de kortsigtede planer kun delvist vil erstatte de eksisterende teknologier. Denne strategiske planlægning vil muliggøre langsigtede omkostningsreduktioner, da alle tekniske ændringer er planlagt med det samme overordnede mål, og dermed kan modstridende kortsigtede tekniske løsninger undgås.

For eksempel vil udfasningen af kulraftproduktionen og den tilhørende nedlukning af kulraftværker i den langsigtede strategi kræve andre teknologier, der erstatter varmeproduktionen til fjernvarme. Da kulraftværkernes placering i sin tid er blevet valgt strategisk i overensstemmelse med behovet hos det enkelte kulraftværk, er det sandsynligt, at denne placering ikke er den bedste mulige for bygningen af nye vedvarende varmeproduktionsanlæg. Vedvarende energikilder, der kan være meget mindre i størrelse, kan ideelt set installeres på flere decentrale steder, og ikke nødvendigvis på det oprindelige sted hvor et kulraftværk blev bygget. Det kan således være u hensigtsmæssigt på kort sigt at installere disse faciliteter på kulraftværket, selvom det ville være den billigste omkostningsløsning på kort sigt. Dette ville imidlertid også normalt kræve ændringer i rørsystemet, da nettet er designet til det centraliserede varmeproduktionssystem. Endvidere kan eksisterende kulraftvarmeanlæg i nogle tilfælde opgraderes på en måde, der erstatter kul med biomasse og dermed drage fordel af det allerede udviklede centraliserede varmeproduktionssystem, dets rør og andre installationer. Mere herom i kapitel 5.3.3.

For opgraderede fjernvarmesystemer er forbindelserne mellem varmeproduktion med varmefordeling og -forbrug desuden meget vigtigere end for ældre fjernvarmesystemer. Integrationen af solvarmeenergi kan for eksempel være mere effektiv i systemer med temmelig lave fjernvarmetemperaturer, selvom integrationen ved højere temperaturer generelt også er mulig. Så varmeforbruget og temperaturniveauet hos varmekunderne skal planlægges sammen med planlægningen af varmeproduktionen.

De følgende kapitler giver et overblik over de nuværende teknologier til vedvarende energi og varmelagring, der kan bruges til trinvis eller fuldstændig omskiftning af fjernvarme til fuldt vedvarende fjernvarmesystemer. Kapitel 5.3.8 vil derefter give nogle retningslinjer for, hvordan man kan opnå en god blanding af teknologierne så man opnår flest mulige fordele.

5.3.1 Vurdering af eksisterende infrastruktur til varmeproduktion

Til vurdering af den eksisterende infrastruktur til varmeproduktion er det meget vigtigt at have et **kort med alle varmeproduktionsanlæg** og netværk til rådighed. Udover alle produktionssteder skal kortene indeholde alle de pumpestationer, der er installeret i hele systemet. Alle tilførsler og afgange til produktionsfaciliteterne (termiske og elektriske) og selvfølgelig brændstoftype og årlig efterspørgsel skal være til rådighed. Med disse data kan de tekniske forhold vurderes, for eksempel den termiske og elektriske effektivitet for hvert produktionssted. Den beregnede effektivitet kan derefter sammenlignes med de nyeste varmeproduktionsanlæg og dermed beskrive den mulige tekniske ydeevne.

Det er desuden vigtigt at kende **alderen** af de vigtigste komponenter, såsom kedler, turbiner, vandbehandlingsanlæg og netværkspumper. Ud fra driftsdata, alder og de faktiske drifts- og vedligeholdelsesudgifter, er det muligt at udvikle en investeringsplan for varmeproduktionen efter de konstaterede behov.

Varmelagre tjener til give en mere fleksibel driftsform for varmeproduktion. Især hvis de varmeproducerende anlæg også producerer elektricitet (kraftvarme), kan varmelagre være nyttige. Afhængigt af varmelagerets størrelse behøver kraftvarmeværket ikke at arbejde på tidspunkter med lave elpriser og kan dermed spare penge. I tider med højere elpriser vil kraftværkerne arbejde og tilføre varmelageret overskudsvarme, mens resten af varmen går direkte til fjernvarmesystemet. Driftstilstande som dette bliver stadig vigtigere, jo mere varierende elpriserne er. Størrelsen af fjernvarmesystemets lagerkapacitet og varmebehovet til fjernvarmenettet vil bestemme den driftstid hvor kraftvarmeværket kan levere el samtidig med opvarmning.

Forsyning af køling fra et fjernvarmesystem er en god mulighed for at øge varmeforbruget i sommertiden og dermed forbedre rentabiliteten. Da varmebehovet til varmtvand i sommertiden kun står for ca. 10-15% af maks. vinterkapacitet, er det

specifikke varmetab i sommeren større. Derudover arbejder mange kraftvarmeverker med lavere effektivitet sammenlignet med vintertid på grund af delbelastningen. Derfor vil ethvert salg af overskydende varme i sommertiden øge rentabiliteten.

I mellemtiden er der kommet absorptionskølere på markedet, der kan fungere økonomisk ved flowtemperaturer på fjernvarmevandet på ca. 80 °C, hvilket afspejler den normale sommertemperatur i de fleste fjernvarmesystemer. Erfaringen viser, at det er bedre at sælge varme fra kølesystemer, der leverer køling til datacentre end køling med normal "air-conditioning".

Det er vigtigt at kende fjernvarmesystemets varmetab. For at bestemme **varmetabet** præcist, er det nødvendigt at kende den målte producerede varme (kulde) samt den målte varme (kulde), der sælges til kunderne (i den samme periode). Det vigtigste er, at begge værdier skal måles direkte ved hjælp af egnede varmemålere. En hvilken som helst anden metode til bestemmelse af den solgte varme, f.eks. med m² boligareal, er ikke korrekt i denne sammenhæng. Det er også vigtigt at tage helt det samme tidsrum for produktionen og forbruget af varmen, der sælges for at bestemme varmetabet. Det betyder, at værdien "varme solgt" skal måles hos alle kunder på samme tid.

Efterhånden som det overvejes at ændre opgraderingstiltagene hen imod vedvarende energikilder, bør vurderingen af den eksisterende infrastruktur til varmeproduktion også indeholde oplysninger om **andelen af vedvarende energikilder** og de dermed forbundne virkninger. Det primære energibehov viser størrelsen af forbrugt primærenergi hos forbrugeren. Ligesom mængden af produceret varme er det en væsentlig faktor for bedømmelsen af systemets miljøpåvirkning. Jo lavere værdien er, desto mere miljøvenlig er systemet. I dette tilfælde skal systemets kapacitet dog tages med i vurderingen. Brug af primærenergifaktor gør det lettere at sammenligne systemer. Ligesom primær energibehov er drivhusgas emissioner indikatorer for miljøvenlighed. Alle relevante gasarter kan omregnes til CO₂-ækvivalenter og akkumuleres for at muliggøre sammenlignelighed. Endvidere illustrerer forsyningen med brændstof hvilken afhængighed eller uafhængighed der er fra forsyninger fra andre lande.

5.3.2 Integration af solvarme

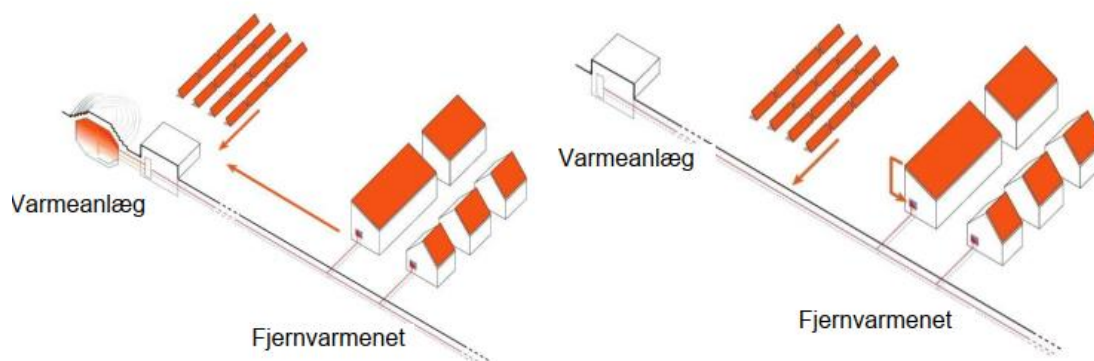
Solfangere anvendes i vid udstrækning til opvarmning af varmt vand og til supplerende af varmesystemerne, f.eks. til individuelle varmesystemer i tyske husstande. Teknologien er veludviklet og arbejder med høje standarder. Selv i koldere klimatiske områder kan solfangere anvendes. I Europa har solfanger-systemer med succes været integreret i mere end 200 fjernvarmenet. En kort teknisk oversigt over solfangere til små fjernvarmenet er angivet i Rutz et al. (2017).

Sol-fjernvarmeanlæg (Solar District Heating (SDH)) består af store områder af solfangere, der tilfører den producerede solvarme til fjernvarmenettet. Solfangerne er enten installeret på jorden eller på tagflader. I dag har anlæggene en kapacitet på op til 100 MW for de største nuværende installerede systemer. Typiske andele for solvarmeanlæg er op til 20% af den samlede varmesalg, for at kunne levere en komplet dækning af sommerforbruget på fjernvarmenettet. Med store varmelagre, der også bruges til optimering af kraftvarme produktion og kraft-til-varme, kan der opnås solvarmeandele op til 50%. I dag opnås konkurrencedygtige varmepriser under 50 € / MWh på grund af skalerings-effekter og optimerede systemer.

Sol-fjernvarmeanlæg finder anvendelse i en bred vifte af koncepter og inden for meget forskellige rammevilkår. De vigtigste forskelle er:

- **Metode for solvarmekonceptet i fjernvarme:** centraliseret eller decentraliseret integration (
- Figur 32)

- **Typen og størrelsen af de fjernvarmenet, hvor de er integreret:** De rækker fra distrikter eller landsbyer til store byer som forsyningsområder



Figur 32: Solvarmeintegrationskonceptet i fjernvarme: I de centrale SDH-systemer leverer solfangerne varme til en centralvarmefordelingsenhed (til venstre), i decentrale SDH-systemer (højre), placeres solfangerne på passende steder og tilsluttes direkte til fjernvarmenettet (Kilder: Solites)

Solfjernvarme i distrikter

Et lokalt SDH-system er en god mulighed for opvarmning af renoverede bygninger eller nye byområder. Normalt bidrager solvarme op til 20% den totale varmforsyning, selvom tilsætning af sæsonbestemt oplagring kan øge solfraktionen til så meget som 50%. Som et eksempel på et lokalt SDH-system der blev kombineret med et biomassevarmesystem i et boligområde Vallda Heberg, Sverige, med 680 m² tagbaserede solvarmeanlæg. Systemet blev installeret i 2013.



Figur 33: SDH i boligområdet Vallda Heberg, Sverige (Kilde: Jan-Olof Dalenbäck)

Solfjernvarme (SDH) i landdistrikter

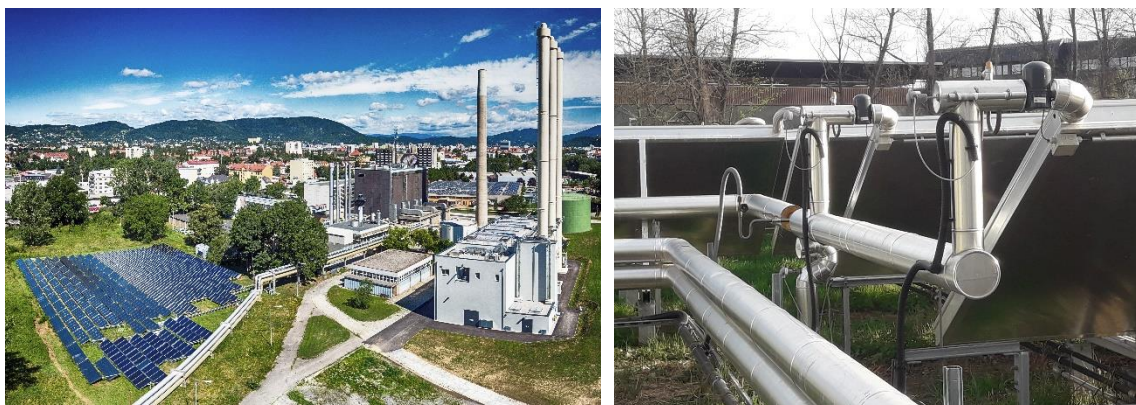
SDH kan ideelt set levere varme til små landsbyer og lokalsamfund. SDH-systemer, der leverer varme til byer og samfund på landet, giver mulighed for en hurtig og omfattende overgang til lokale vedvarende ressourcer. I Büsingen, Tyskland, leverer et 1.090 m² solfangeranlæg hele varmebehovet til 100 bygninger om sommeren, hvilket betyder man undgår en uøkonomiske sommerdrift af en biomasse kedel. Dette fjernvarmenet har været i drift siden 2013.



Figur 34: Solfjernvarmeanlæg med solfangere i Büsingen, Tyskland (Kilder: venstre: Solites; højre: D. Rutz)

Sol-fjernvarme til byområder og byer

Store bymæssige fjernvarmenet modtager typisk varmeenergi fra kombinerede varmesystemer, varmeanlæg eller industrispildvarme. Forudsat at der er nok plads til rådighed, er SDH-integrationen en mulighed for at øge andelen af vedvarende energikilder i disse større fjernvarmesystemer. For eksempel i Graz leverer mere end 16.500 m² solfangere varme til byens fjernvarmenet og delsystemer forskellige steder.



Figur 35: Solfangerområde i Graz, Østrig, som forsyner fjernvarmenettet i Graz (Kilder: venstre: SOLID; højre: D. Rutz)

Smart fjernvarme

Store solvarmeværker kan også kombineres med andre teknologier til produktion af varme og elkraft. Danmark har flere smarte fjernvarmeværker. En af dem er installeret i Gram i Danmark og er udstyret med 44.800 m² solfangere, en varmepumpe, gasfyrede kraftvarmeanlæg, en elektrokedel og en reservekedel til fossile brændsel. Anlæggets jordgrube-damvarmelager på 122.000 m³ giver mulighed for fleksibilitet i brugen af disse teknologier til energiproduktion og at kompensere for udsving i energipriser.



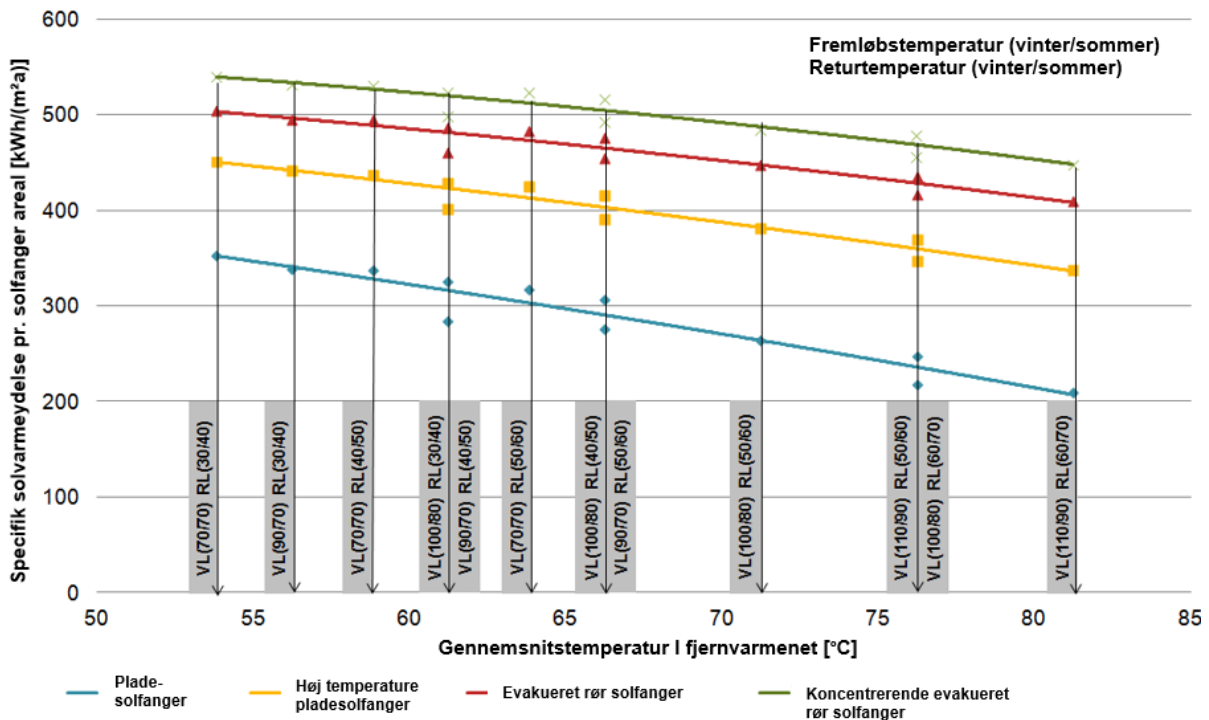
Figur 36: Solvarmeanlæg i Gram, Danmark, med en sæsonbestemt termisk energilagring (Kilder: venstre: Gram Fjernvarme, højre: D. Rutz)

Generelt er brugen af solvarmevarme mulig på mange steder. Jo sydligere placeringen er i Europa, desto højere er indstrålingen, og dermed kan højere energiproduktioner opnås. Men for SDH er **adgangen til plads** et centralt spørgsmål. Som en tommelfingerregel, kan solfangere på en hektar jord opvarme op til 2 GWh varme om året. Det er det mest effektive middel til at producere vedvarende varme i forhold til den plads, det optager, f.eks. dyrkning af energiafgrøder kræver mere jord til at give samme mængde energi. Det er dog fortsat en stor udfordring for projektudviklere at finde og udvikle jordområder til store solvarmeanlæg, der kan blive tæt forbundet med fjernvarmesystemet, da konkurrencen om jordarealer er høj, især i byområder. For at imødegå denne udfordring har følgende trin vist sig nyttige ved store SDH-projekter:

- Analyse af mulige områder vedrørende politiske og juridiske aspekter
- Inddragelse af alle interessenter, herunder også politikere og lokale borgere
- Overvejelse af det overordnede økologiske koncept for selve området hvor en solfangerfarm skal placeres.

En anden udfordring for SDH er **årstidens** og vejrrelaterede **udsving** i opsamlingen af solvarme. Mere varme kan opsamles om sommeren, når indstrålingen er høj, mens varmestrålingen er lavest i vinterperioden, som er sæsonen med det højeste varmebehov. Desuden skal den daglige skiftende indstråling afbalanceres. Denne udfordring håndteres teknisk ved integrationen af forskellige lagre, hvilket forklares i kapitel 5.3.7.

Afhængigt af det overordnede fjernvarmekoncept skal integrationen af SDH endvidere nøje overveje **temperaturniveauerne** for frem og retur. Generelt gælder at jo lavere fjernvarmetemperaturen er, des mere effektivt kan solvarmevarmen integreres direkte i systemet. Figur 37 viser denne afhængighed under tyske vejrforhold med forskellige solfangertyper og med forskellige fjernvarme-driftstemperaturer.

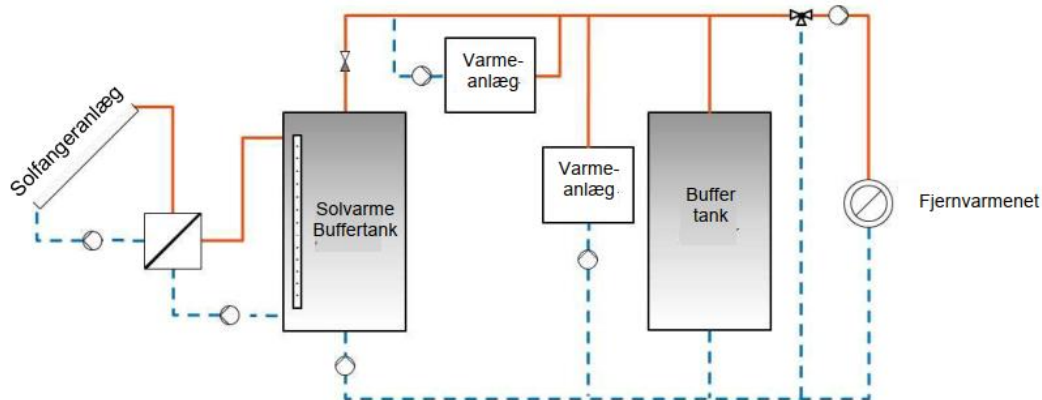


Figur 37: Specifikt solvarmeudbytte per solfangerområde mod fjernvarmenetstemperaturer og solfangertyper (vejrdata for Sydtykland) (Kilde: Solites)

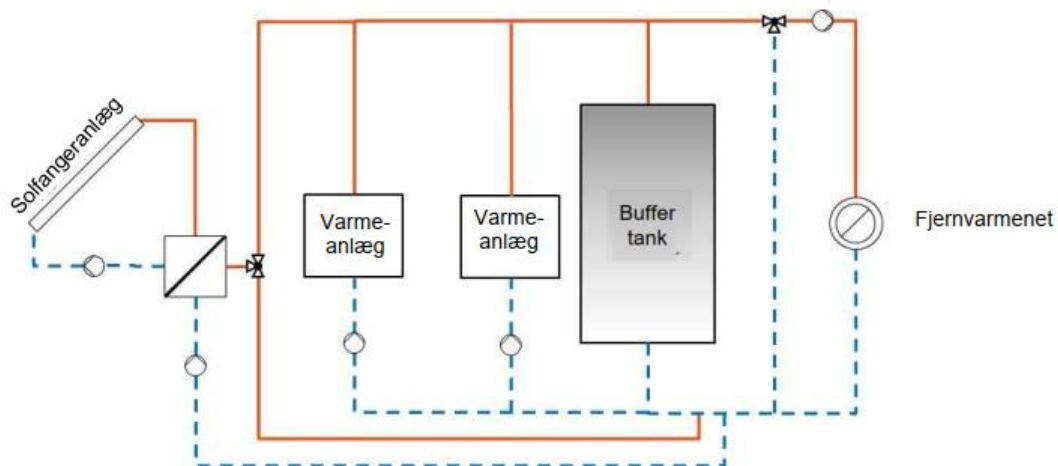
Integrationen af solvarmeanlægget skal være veludformet, så solvarmeanlæggets lave returtemperaturer kan opvarmes. De fleste solvarmeanlæg, der er integreret i DHC-nettet, er **centralt forbundet** med hovedvarmeanlægget. I dette tilfælde kan solvarmeanlægget integreres parallelt eller i serie som vist i Figur 38 og Figur 39 afhængigt af de øvrige varmegeneratorer i anlægget.

En **decentral integration** af solvarmeanlægget kan være hensigtsmæssigt i tilfælde af flere mindre distribuerede solfangerområder, der forsyner større fjernvarmesystemer. I et sådant tilfælde kan en direkte indføring realiseres (uden varmelagre). Egnede understationer er blevet udviklet til denne anvendelse og tillader indløb ved konstante

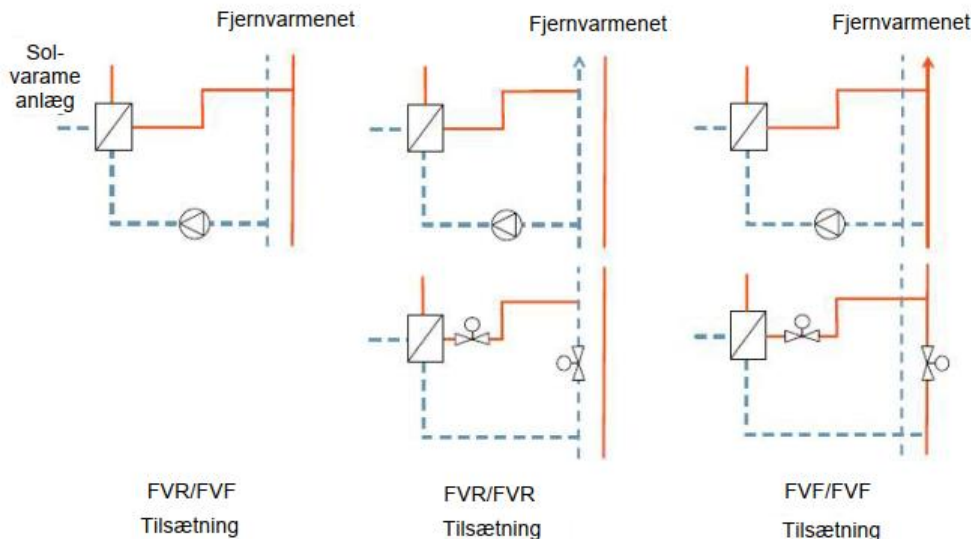
temperaturer, selv i situationer, hvor solstråling er stærkt fluktuerende.



Figur 38: Tilslutning af solfangere i serie til DHC-nettet med en temperaturøgning udenfor solvarmelagre (Kilde: Solites)



Figur 39: Tilslutning af solfangere parallelt med DHC-nettet for at øge returflow i fjernvarmenettet (Kilde: Solites)



Figur 40: Tre koncepter til decentral forsyning af solvarme i fjernvarmesystemet med en pumpe (øverste række) eller med justerbare ventiler (nederste række) (Kilde: Solites)

5.3.3 Integration af biomassevarme

Biomasse er det **organiske stof**, der skabes af levende eller nyligt afdøde organismer. (plantemateriale, mennesker, dyr og deres efterladenskaber) Det omfatter også sekundære produkter, når biomasse anvendes, såsom bioaffald, papir, træprodukter mv. Primært organisk materiale produceres ved fotosyntese af planter, der optager CO₂ fra atmosfæren, vand samt energi fra sollys og opbygger kulstof-baserede forbindelser. Disse kulstofforbindelser indeholder den lagrede energi fra solen, som kan frigives igen ved forbrænding. Mere information om anvendelse af biomasse i små modulære vedvarende opvarmnings- og kølenetværk fås i "Cool-Heating Handbook" (Rutz et al. 2017).

Biomasse er for tiden langt **den største vedvarende energikilde** i EU. I 2012 tegnede biomasse og affald sig for ca. to tredjedele af alt forbrug af vedvarende energi i EU. For at være effektivt at reducere drivhusgasemissioner skal biomasse produceres på en bæredygtig måde. Biomasseproduktion indebærer en kæde af aktiviteter, der spænder fra dyrkning af råmateriale til endelig energiomdannelse. Hvert trin undervejs kan udgøre forskellige bæredygtighedsudfordringer, der skal holdes under kontrol. (EC, 2019).

Europa-Kommissionen har udstedt ikke-bindende anbefalinger omkring **bæredygtighedskriterier** for biomasse (EF, 2019). Disse anbefalinger skal anvendes på energianlæg med mindst 1 MW termisk varme eller elkraft.

De:

- forbyder brugen af biomasse på jord omdannet fra skov og andre områder med høj kulstof oplagring, samt områder med stor biodiversitet
- sikrer, at biobrændstoffer udsender mindst 35% mindre drivhusgasser i løbet af deres livscyklus (dyrkning, forarbejdning, transport osv.) I forhold til fossile brændstoffer. For nye installationer stiger dette forhold til 50% i 2017 og 60% i 2018
- favoriserer nationale biobrændstof støtteordninger for højeffektive installationer
- tilskynder til overvågning af oprindelsen af al biomasse, der forbruges i EU for at sikre deres bæredygtighed.

For fjernvarmesystemer er brugen af biomasse generelt meget interessant, da mange forskellige muligheder for integration af biomasse i eksisterende systemer er tilgængelige. Hvad angår andre RE-teknologier afhænger udvælgelsen af biomaseteknologier til opgradering af fjernvarme afhængigt af systemets nuværende status, rammebetingelserne og målsætningerne.

Biomassens oprindelsesveje er præget af mange forskellige råmaterialekilder, teknologier og anvendelser. Dette muliggør integration af biomasse i mange fjernvarmesystemer, afhængigt af systemets behov. For større fjernvarmesystemer kan følgende biomasse anvendes: voluminøst affaldstræ (møbler, byggeaffaldstræ, malet træ osv.), Støv, træflis fra skove (rester, energi træ), flis fra hurtig rotations træ (SRC)¹, industrielt fremstillede piller (træpiller, blandede biomasse piller), afgasset biomasse, biometan (fra anaerob omsætning af bioaffald) og pyrolyse olie. En vigtig udfordring for brugen af biomasse, især for større og centraliserede anlæg, er biomassens logistik. Derfor er nye tiltag, som f.eks. brug af "midtvejs-bioenergi-bærere" (ristet biomasse, biomethan, piller, biomethan) af stor interesse, da de reducerer de logistiske problemer.



Figur 41: Typiske biomasse brændselstyper til brug i fjernvarme: flis, piller, ristet piller, pyrolyseolie (fra øverste venstre til nederste højre) (Kilder: D. Rutz)

Selv om biomasse er vedvarende og en vigtig energikilde, skal der i fremtidige fjernvarmesystemer også inddrages andre RE-teknologier for at **reducere den nødvendige mængden af biomasse**. Dette er vigtigt på grund af den stigende konkurrence om biomasse til energi, fødevarer, foder og produkter, der er forbundet med øget konkurrence om jordbrugsarealer.

To meget forskellige tilgange til opgradering af fjernvarmesystemer med anvendelse af biomasse, nemlig installation af nye biomassefyrede kedler og kraftvarmeanheder eller udskiftning af fossile brændselsinstallationer med biomasseinstallationer.

¹ Yderligere information se Rutz et al. (2015) „Sustainable Short Rotation Coppice - A Handbook“ at https://www.srcplus.eu/images/Handbook_SRCplus.pdf

Ved den første fremgangsmåde, **installationen af nye biomassefyrede kedler eller kraftvarmeanheder**, giver varmeproduktionssystemet maksimal fleksibilitet i udvælgelsen af de rigtige teknologier, da denne repræsenterer en helt ny installation. Nye installationer er ideelt placeret i nærheden af varmemeforbrugerne for at minimere rørledninger. Det kan være fornuftigt at installere flere enheder på forskellige steder. I de fleste tilfælde vil den valgte teknologi bestå af en eller flere mindre træpillekedler eller enheder med forgasning, dampcyklus eller Organisk Rankine kraftvarme (ORC) teknologier. Fra det miljømæssige synspunkt kan en helt ny installation være den bedste løsning. Der skal dog findes nye placeringer til enhederne, som kan være en udfordring for bioenergi projekter. Desuden kan de oprindelige investeringsomkostninger blive højere end blot for udskiftning af fossile brændselsanlæg med biomasseinstallationer.

I den anden tilgang forbliver status med et stort centraliseret kraftværk det samme, og biomassen anvendes enten som **komplet erstatning** af det oprindelige brændstof eller som medforbrænding. Det endelige mål er en komplet erstatning af fossile energisystemer med biomasse eller andre vedvarende energikilder. Men nogle virksomheder kan vælge at bruge medforbrænding som en mellemliggende løsning for at nå dette mål.

Medforbrænding er forbrændingen af det originale brændstof med biomasse på samme tid og på samme sted (men ikke nødvendigvis i samme anlæg). Medforbrænding kan udføres direkte (i samme forbrændingskammer), indirekte (efter forbehandling) eller parallelt (separat forbrænding).

Direkte biomasseforbrænding er forholdsvis enkel og omkostningseffektiv, men den er mere følsom over for variationer og forskellighed i brændstofkvalitet. Tekniske problemer kan begrænse den mulige andel af afbrænding af biomasse. Normalt vil askeaflejring, tilsodning, slagger og tæring øges. Dette kan forkorte levetiden for enheder, der er i direkte kontakt med forbrændingsgasserne, såsom overhedere, varmevekslere, selektiv katalytisk reduktion (SCR) osv. Direkte samforbrændingssystemer omfatter forskellige teknologiske løsninger:

- *Samformaling ved* blanding af kul og biomasse og kombineret formaling i det oprindelige system og indsprøjtning gennem kulbrændere eller fødesystem.
- *Samfødning:* Separat formaling af kul og biomasse med opblanding af den formalede biomasse i hovedflowet.
- *Kombineret brænder:* Biomasse og kul formales separat og transporteres til brænderen, hvor kul bruger de oprindelige porte og biomasse bruger nye porte eller ubrugte kanaler. I dette tilfælde, foregår forbrændingstrinnene samtidigt og med lignende aerodynamik som i det originale design.
- *Nye brændere:* Brændstofferne sambrændes ved hjælp af uafhængige fødelinjer. Kul tilføres gennem det oprindelige injektionssystem, mens biomasse transporteres til bestemte dedikerede brændere eller indfødningsporte, som er bygget ind til forbrændingskammeret. Nye brændere (injektionssystemer) kan erstatte tidligere kulbrændere eller kan installeres i nye positioner i forbrændingskammeret. Denne mulighed kan indebære brugen af forskellige forbrændingssystemer.

De vigtigste **indirekte sambrændingssystemer** er:

- *Separeret forbrænding:* forbrænding af biomasse i en separat kedel eller et system og indføring af røggasser derfra nedenstrøms fra strålingskammeret i den oprindelige kedel.
- *Koblet anlæg:* Separat forbrænding i en ny kedel specielt designet og bygget til biomasseforbrænding. Det originale og det nye system forbindes til det fælles varme-væskekredsløb. Forbrændingsgasser blandes ikke, og røggasserne skal behandles separat.

- *Forgasningssystemer:* Biomassen omdannes til en brændbar gasfase ved hjælp af en gasgenerator. Den resulterende syntesegas bliver enten direkte eller efter forudgående behandling, injiceret i det oprindelige forbrændingskammer eller den oprindelige kedel gennem nye dedikerede kanaler.
- *Pyrolyse:* Biomasse omdannes til en blanding af gas, bioolier og kul ved hjælp af pyrolyse. Fraktioner kan adskilles og indføres i kedlen forskellige steder.

I et kraftværk eller kraftvarmeværk anvendes ofte forskellige kedler eller kraftvarmeenheder. Dette muliggør en mere fleksibel drift af det samlede "anlæg" og reducerer risici (f.eks. vedligeholdelse, nedbrydning). Hvis der anvendes flere kraftvarmeværker eller kedler, kan biomassen samforbrændes med forskellige metoder i de forskellige enheder, også kendt som **parallel samforbrænding**.

Afslutningsvis, fordelten ved direkte samforbrænding er lav CAPEX, men kun små procentdele biomasse kan anvendes (mindre end 20%). Fordelen ved indirekte samforbrænding er, at højere biomasseandele kan anvendes (op til 50%), mens CAPEX kan blive højere. Parallel samforbrænding er den mest fleksible løsning under drift.

Kulindustrien har allerede stor erfaring med samforbrænding af biomasse på grund af de relativt lave CAPEX-krav, skalerbare løsninger og mange muligheder for at samforbrænde. "IEA Bioenergy Task 32" vedligeholder en database med 150 samforbrændings-initiativer. Et relevant eksempel er Drax kraftværket - et af de største i Europa - som for det meste er fyret med biomasse. Men i fremtiden forventes det, at mere komplette opgraderinger (fuld konvertering) vil blive taget i brug.



Figur 42: Kraftvarmeværk i Salcininkai, Litauen, hvor en biomasse-kedel (5 MW varme) erstattede en af de tre naturgas-kraftvarmeværker. De resterende to gas-kraftvarme-enheder har en kapacitet på 3,5 MW og 6 MW varme (Kilde: D. Rutz)



Figur 43: Ena Energies Kraftvarmeværk i Enköping bruger træflis fra affaldstræ (højre) og fra kort rotationstræ (SRC) (Kilde: D. Rutz)



Figur 44: Træflis fyret kraftvarmeværk og dets damp turbine fra Stadtwerke Augsburg Energie GmbH i Tyskland (kapacitet: 80.000 t / træflis, 7,8 MW el, 15 MW varme) (Kilde: D. Rutz)

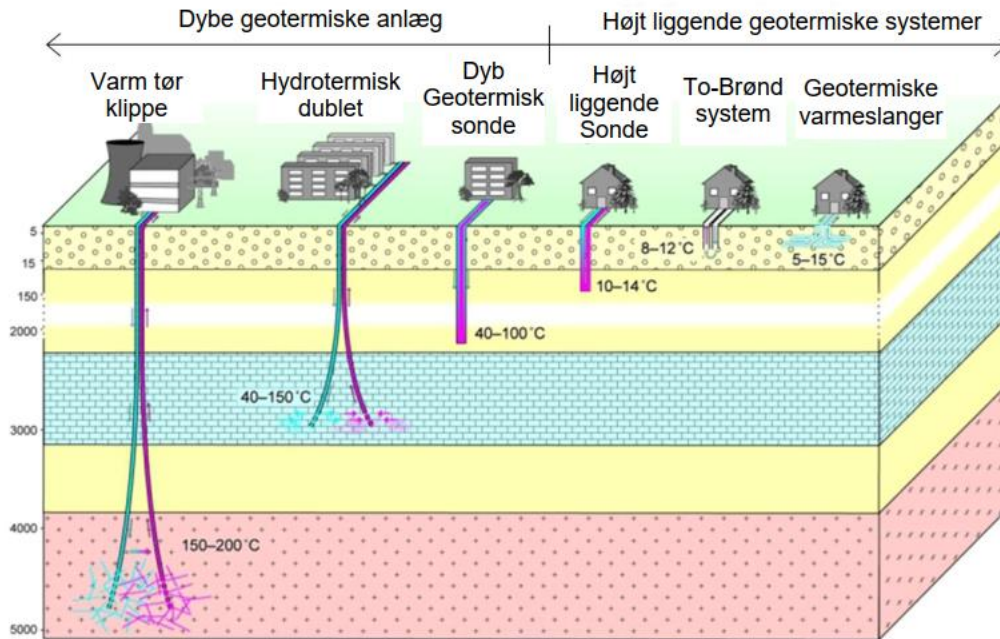
5.3.4 Integrering af jordvarme

Geotermisk energi er energilagring i form af varme under jordoverfladen. Afhængig af dybden kan geotermisk energi opdeles i to kategorier, jordoverfladevarme og dyb geotermisk energi. De mest almindelige anvendelsessystemer til overfladisk og dyb energi er vist i Figur 45.

Overflade geotermisk energi beskriver anvendelsen af geotermisk varme op til en dybde på ca. 400 m gennem brønde, kollektorer og geotermiske sonder. Den øverste undgrund kan bruges til opvarmning af bygninger såvel som til køleformål via et lavtemperatur fjernvarmenet og et potentielt reversibelt varmepumpe system.

Dyb geotermisk energi refererer til den termiske udnyttelse af undergrunden fra 400 m og dybere. Dyb geotermisk energi kan anvendes i åbne systemer (petrotermiske og hydrotermiske dipoler) samt lukkede systemer (dybe geotermiske sonder). Dybe geotermiske sonder giver fordelene af lokalitetsuafhængighed uden efterforskningsrisiko, men de er normalt kun økonomisk rentable, hvis borehullet allerede eksisterer. Den afgørende fordel ved åbne systemer er en væsentligt højere varmeeekstraktion (termisk ydelse på ca. 1 til mere end 50 MW varme) sammenlignet med lukkede systemer (maks. nogen hundrede kW varme). På grund af det høje energibehov er åbne geotermiske systemer velegnede til fjernvarmesystemer. For åbne systemer er termisk energi til rådighed enten ved produktion af allerede eksisterende dybt termisk vand (hydrotermiske systemer) eller via kunstigt skabte varmevekslere i varme tørre sten (petrotermiske systemer). Det termiske vand pumpes op til overfladen gennem produktionsbrønden, hvor en del af varmeenergien udvindes via en varmeveksler. Efter varmevekslingen pumpes det termiske vand normalt tilbage i jorden gennem en injektionsbrønd. For det meste bores disse geotermiske dubletter i to afvigende retninger fra et enkelt borested. Typiske brønddybder ligger i området fra 2000 til 4.000 m. Afhængigt af det geotermiske system (geologi, hydrologi og driftsaspekter) kan der anvendes en kombination af flere produktions- og / eller re-injektionsbrønde.

Udover opvarmning i fjernvarmenettet kan dyb geotermisk energi også bruges til elproduktion. Geotermiske kraftværker kræver en minimal varmekilde temperatur på omkring 100 °C samt tilstrækkelige flowhastigheder af termisk vand. Effektiviteten af elproduktionsprocessen er dog kun omkring 10% med disse dybtliggende varmekilder temperaturer.



Figur 45: Forskellige types for anvendelse af jordvarme (baseret on: Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2016)

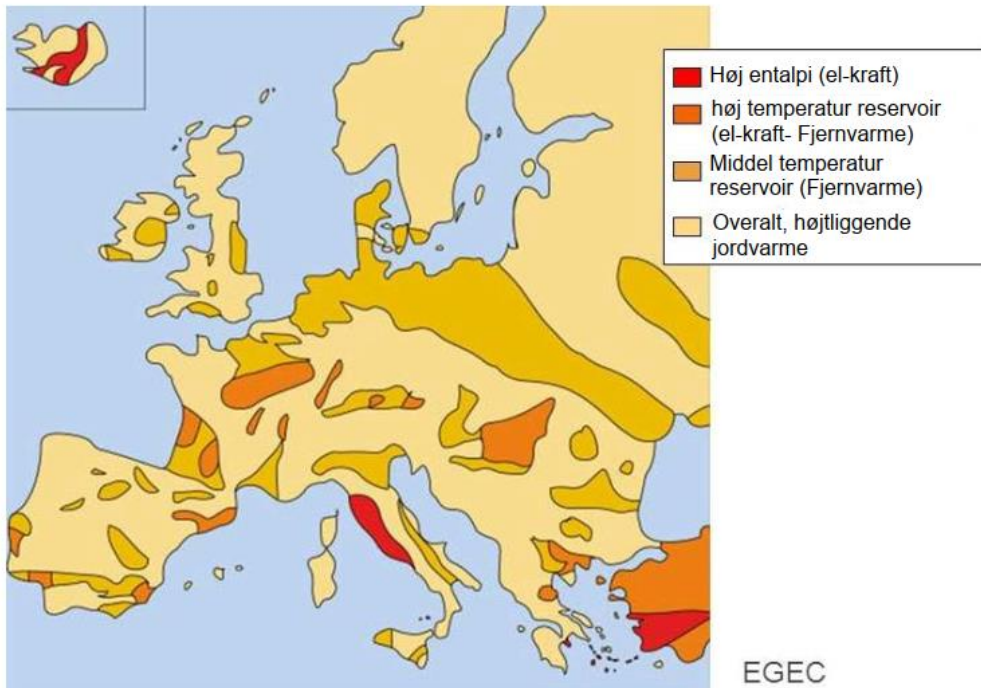
Det **geotermiske potentiale** afhænger stærkt af den lokale geologi og hydrogeologi. De områder med det højeste geotermiske potentiale påvirkes således af Europas geologiske forhold (Figur 46). Høj entalpi områder er forbundet med aktive vulkanske områder som Island, Tyrkiet og Italien. Medium entalpisystemer, der er forbundet med termisk grundvand med høj temperatur i sedimentbaser, findes under forskellige geologiske forhold, f.eks. Melassebassinet i Alpernes nordlige forkant. Geotermiske fjernvarmesystemer blev for det meste bygget i regioner med gunstige geotermiske forhold og højtemperatur kilder.

Det **interaktive GeoDH-kort²** giver et overblik over den geotermiske ressourcevurdering og fremhæver de områder, hvor potentialet for geotermisk fjernvarme eksisterer. Baseret på oplysninger om geologiske data, allerede operationelle fjernvarmesystemer og varmeforbrug, viser det potentialet i 14 europæiske lande (Italien, Frankrig, Tyskland, Holland, Irland, UK, Slovakiet, Slovenien, Tjekkiet, Rumænien, Bulgarien, Polen, Danmark og Ungarn) (GeoDH, 2014).

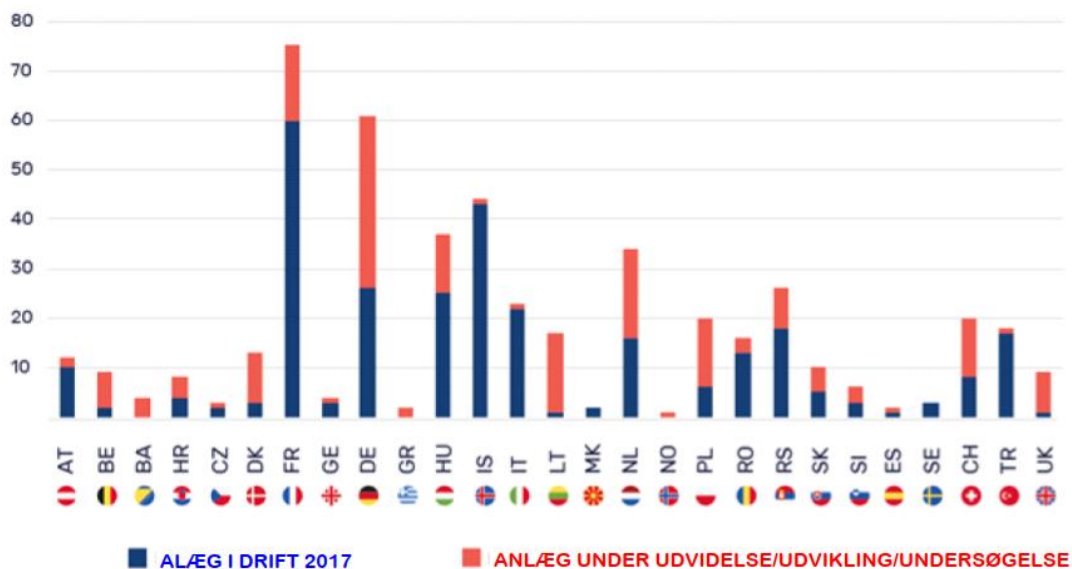
Anvendelsen af dyb geotermisk energi i fjernvarmesystemer kræver sammenfaldet af et højt geotermisk potentiale og et høj varmebehov.

I 2017 tegnede kapaciteten på geotermisk fjernvarme sig for 4,9 MW varme og en samlet årlig varmeproduktion på 11,7 GWh varme over hele Europa. Den gennemsnitlige årlige vækstrate i de seneste år var omkring 10%. Ved udgangen af 2017 er antallet af værker i drift 294 (Figur 47).

² https://map.mbfisz.gov.hu/geo_DH/



Figur 46: Forenklet overblik over det geotermiske potentiale i Europa (Kilde: EGEC, 2014)



Figur 47: Antal geotermiske fjernvarmeværker i drift og under udvidelse / udvikling / undersøgelse af europæisk land (Kilde: EGEC, 2018)

Temperaturområdet for dybe geotermiske ressourcer er meget bredt. Høj-entalpisystemer kan nå toppetemperaturen på >180 °C (Arnórsson, 1995). Det virker således muligt at levere endda til 2. generations varmenet fra sådanne kilder eller i det mindste bruge dem til at hæve returnettets temperatur (Sandrock et al., 2019).

Hvis det er nødvendigt på grund af utilstrækkelige reservoirtemperaturer eller høje fremløbstemperaturer fra varmekædet, kan temperaturen hæves til det ønskede temperaturniveau ved hjælp af varmepumper.

Dybe åbne geotermiske systemer er nul-emissions varmesystemer, der er i stand til og meget velegnede til grundlast applikationer i fjernvarmesystemerne. For at kunne gennemføre et sådant system skal opmærksomheden rettes mod nogle **specifikke aspekter**.

Hvis fjernvarmenettet allerede er tilgængeligt, udgør hovedinvesteringen kun omkostningerne til et dybt geotermisk system af borerne. Da der er flere risici under borearbejdet, samt risikoen for utilstrækkelige flowmængder eller utilstrækkelige temperaturer i den geotermiske ressource, anbefales det at indgå en geotermisk efterforsknings-risikoforsikring.

De mest almindelige tekniske problemer ved udnyttelsen af geotermisk energi, har været relateret til geotermiske væskes kemi. De indeholder nogle gange betydelige koncentrationer af mineraler og gasser, der kan forårsage aflejringer og tæring i brønde og overfladeinstallationer, som de geotermiske væsker strømmer igennem (Gunnlaugsson et al. 2014). For at forebygge sådanne problemer skal der træffes egnede foranstaltninger, som valg af rigtige materialer og komponenter. En meget vigtig komponent er den elektriske dykpumpe, som anvendes i produktionsbrøndene.

5.3.5 Integrering af overskydende varme

Ifølge analysen af det EU-finansierede projekt STRATEGO³ blev 2.943 PJ-overskudsvarme (eksklusive varme fra termisk kraftproduktion) i 2010 afgivet af 1.222 undersøgte faciliteter i Europa (Persson 2015). Denne overskudsvarme kan teoretisk levere mere end 30% af energiforbruget til rumopvarmning og varmtvandsbehov i private husholdninger, svarende til 9 349 PJ i 2016 (EF, 2018d).

Overskudsvarme kan karakteriseres ved temperaturniveauer, energimængder, industrisektor og processer, oprindelsessteder, og hvordan den kan anvendes. I denne håndbog vil der blive set nærmere på emnet industriel overskudsvarme og på to eksempler med fokus på lavtemperatur overskudsvarme.

Generelt kan overskudsvarme anvendes på forskellige måder, klassificeret til internt brug i processen, intern brug på anlægget og ekstern anvendelse. Ekstern brug kan være enten uden for virksomheden, men stadig i tæt afstand til dets anvendelses sted eller på et andet sted, f.eks. i et fjernvarmesystem. Der vil blive fokuseret på sidstnævnte her.

Der er en række faktorer der har indflydelse på en eventuel anvendelse af overskudsvarme, der skal overvejes: (Hirzel et al., 2013):

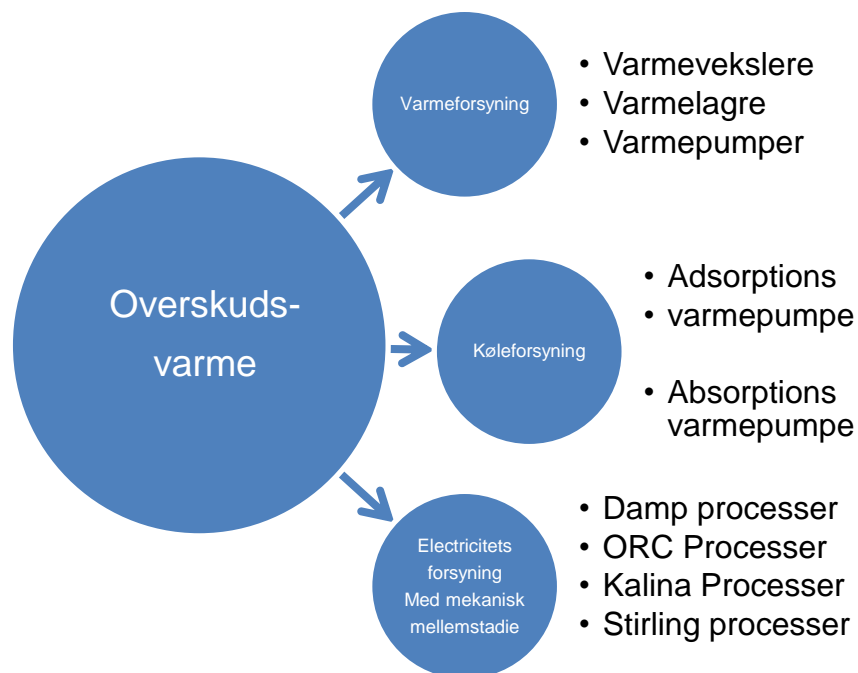
- **Energimængde:** Energimængden afhænger af varmekapaciteten, der kan anvendes, og mængden af flowet samt temperaturforskellen mellem den tilførte energi og den minimale ønskede temperatur.
- **Temperaturniveau:** Jo højere temperaturniveauet af overskudsvarme er, desto lettere kan den bruges i forskellige andre processer. Hvis temperaturforskellen mellem varmekilde og varmeaftageren er større, kan dimensionerne af varmevekslerne reduceres.
- **Sammensætning og fase:** (gasform / flydende / fast og kemiske egenskaber): Ved valg af komponenter som f.eks. varmevekslere, ventiler og rør, skal sammensætningen og fase af det medium, der leverer overskudsvarme, overvejes. Ætsende egenskaber i et medium kan forkorte komponenternes levetid drastisk. For at undgå f.eks. kondensering af ætsende væsker må varmekilden

³ <http://stratego-project.eu/>

opretholdes på en minimumstemperatur. Ved brug af naturgas angives denne minimumstemperatur ved 120 °C. Derudover kan nogle væsker indebære risiko for aflejringer, som reducerer gennemstrømningen **og også effektiviteten af varmevekslere og andre komponenter.**

- **Anvendelsen:** Overskuds varme kan skyldes stråling eller konvektion, som er vanskeligere at udnytte, end hvis energien er bundet i en væske.
- **Simultanitet:** Ideelt set forekommer overskudsvarmen på tidspunkter sammenfaldende med varmebehovet. Ellers kan varmelagre bidrage til at afbalancere udbud og efterspørgsel.
- **Varighed:** På den ene side er det klart, at overskudsvarmen skal være til stede hele året. Jo mere kontinuerligt varmen kan udnyttes, desto hurtigere vil investeringen afskrives. På den anden side, i tilfælde af ekstern anvendelse for f.eks. fjernvarme skal det aftales, hvor længe overskudsvarmen kan leveres og anvendes, og hvordan ændringer skal håndteres.
- **Afstand:** Hvis varmekilde og varmeforbrug er tæt på hinanden, vil investeringer i infrastruktur og varmetab være lavere.

Figur 48 visualiserer forskellige anvendelser overskudsvarme og hvilken teknologi der kan bruges til at høste energien.



Figur 48: Anvendelse af overskudsvarme og anvendeligt udstyr (Baseret på Hirzel et. al., 2013)

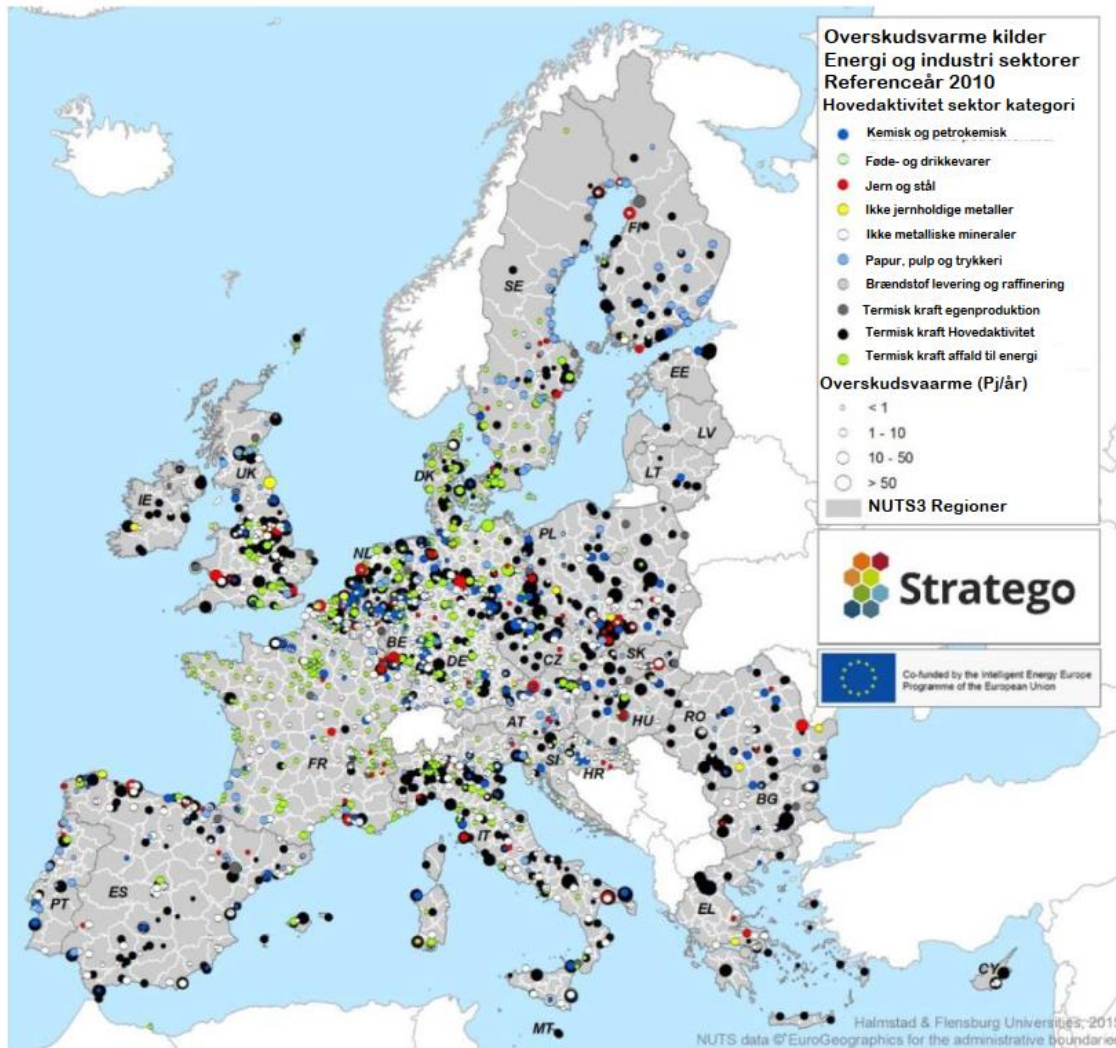
Industriel overskudsvarme

Industriel overskudsvarme kan have meget forskellige egenskaber, med henvisning til de ovenfor forklarede indflydelsesfaktorer. En fordel ved industriel overskudsvarme er, at det ofte forekommer i store mængder og dels på høje temperaturniveauer.

For at kvantificere den teoretiske anvendelige overskudsvarme i Europa evaluerede STRATEGO-projektet forskellige sektorer med fokus på industrisektorer. De analyserede sektorer er: kemiske og petrokemiske, fødevarer og drikkevarer, brændstofforsyning og raffinaderier, jern og stål, ikke-jernholdige metaller, ikke-metalliske mineraler og papir, papirmasse og trykning.

Inden for disse kategorier tegner brændstofforsyning og raffinaderier sig for 1.059 PJ (36%) af overskudsvarmen. Ifølge Persson et. al. (2014) er det meste af overskudsvarme tæt på større byer og derfor tæt på områder med højt varmebehov.

Figur 49 giver et overblik over de værker og faciliteter i Europa, der blev taget i betragtning i statistikken. Udover det generelle overblik kan det ses, at nogle industityper ikke findes i alle lande.



Figur 49: Kortlægning af forskellige industrielle overskudsvarmekilder i EU28-lande i STRATEGO-projektet (Kilde: STRATEGO project)

Som kortet over STRATEGO-projektet indikerer, kan mange værker i jern- og stålindustrien stadig forbedre deres effektivitet ved at reducere overskudsvarmen. Li et. al. (2016) har analyseret potentialet ved at integrere overskudsvarme fra to forskellige stålværker i Kina til et fjernvarmesystem.

I det dette tilfælde er tre overskudsvarmekilder blevet lokaliseret:

- 1) Slagge-skyllvand fra højovne (<100 °C)
- 2) Kølevand fra højovne (35-45 °C)
- 3) Blandet, mættet lavtryksdamp (143 °C)

For at nå de krævede temperaturer for fjernvarmenettet er der valgt en kaskadeopvarmning af fjernvarmevandet. I første fase anvendes varme fra slaggeskylning og lavtryksmættet damp. Ved dette trin når fjernvarmevandet ca. 67 °C. I andet trin bruger absorptionsvarmepumper kølevandet til yderligere at øge fjernvarmevandet til 75 °C. Derudover anvendes absorptionsvarmepumper som et tredje trin med varmevekslere for at reducere returen til 30 °C.

Et generelt problem i denne sag er den varierende belastning på fjernvarmenettet, som dertil er ude af drift i sommermånederne. En rimelig mængde varme kan derfor ikke bruges om sommeren. Ikke desto mindre ville de to stålværker i tilfælde af en fuldstændig udbygning af projektet kunne forsyne 2,35 PJ-varme til byen i nærheden.

Lav-temperatur overskudsvarme

Integrationen af overskudsvarme til fjernvarmesystemer har et stort potentiale i byer. Især lavtemperaturkilder mellem 20 og 40 °C er tilgængelige mange steder, to eksempler vil blive vist i dette kapitel.

I modsætning til overskudsvarme fra store fabrikker eller anlæg har the European Project ReUseHeat⁴ analyseret fire forskellige tilfælde, hvor der anvendes lav-temperatur-overskuds-varme i et fjernvarmenet. Som regel kaldes disse systemer Low-Ex (Lav-Exergy) systemer, hvor varmepumper er de eneste varmeleverandører.

Datacentre afgiver hele den forbrugte elektricitet anvendt til databehandling som varme i serverhallerne. Hvis der anvendes luftkøling, kan luften cirkuleres gennem en varmeveksler, der igen kan bruges som varmekilde i fordampere til en varmepumpe. Termisk energi på kondensatorsiden kan bruges til at løfte temperaturen i fjernvarmenettet fra returtemperatur-niveauet til fremløbstemperatur-niveauet. En lagertank kan bruges til at afbalancere spidsbehovet i fjernvarmenettet eller til at dække tider uden forsyning fra datacenteret. Et sikkerhedssystem til varmeforsyningen anvendes også i disse tilfælde, da varmepumpen sædvanligvis kun er dimensioneret til at levere basisbelastningen til fjernvarmenettet.

I skandinaviske lande, især i Sverige, anvender en række store varmepumper (>1 MW) **spildevand** som en kilde til at levere varme til fjernvarmenettet. Størstedelen af de store varmepumper blev installeret i 1980'erne i tider med el-overskud på nettet. Siden da er den installerede kapacitet kun faldet lidt, men er nu under konkurrence med affalds- og biomasse-kraftvarmeverker samt konfronteret med ændringer af elpriser og afgifter.

Temperaturerne på det behandlede spildevand i de svenske varmepumpeanlæg varierer mellem 12 og 20 °C. To-trins turbokompressorer bruges almindeligvis til at opnå de krævede temperaturer i fjernvarmenettet, som i gennemsnit har 86 °C i fremløb og 47 °C i returflowet (Averfalk, 2017).

Baseret på den svenske erfaring med at integrere industriel overskudsvarme i fjernvarmenettet har Lygnerud et. al. (2017) analyseret de forbundne risici. For at vurdere en potentiel forretningsplan om integration af industriel overskudsvarme skal forskellige **nøglefaktorer** overvejes:

- Usikkerhed om, hvor længe industrien vil have overskudsvarme
- Ændringer i omkostningerne til varmekilder som følge af ændringer af f.eks. afgifter kan ændres
- Afstand til fjernvarmenettet
- Forskellige perspektiver på udnyttelse af overskudsvarme fra industri og fra forsyningsvirksomheder

⁴ <https://www.reuseheat.eu/>

- Målsætning for uafhængig varmforsyning i industrien
- Ustabil varmforsyning fra industrien
- Manglende evne til at skabe en aftale, som er til gavn for begge parter
- Fjernvarmforsyningen skal have en backup facilitet for overskudsvarmen

5.3.6 El-til-Varme

El-til-Varme applikationer konverterer el-energi til termisk energi. Derfor giver teknologien El-til-Varme muligheden for sammenkobling af elsektoren med varmesektoren, som kendes under betegnelsen sektorkobling. El-til-Varme er implementeret i husholdninger, virksomheder og industrier. En specifik anvendelse er integrationen i fjernvarmesystemer. Derfor kan elektrokedler og varmepumper anvendes som beskrevet i det følgende.

Elektrokedler konverterer el-energi direkte til termisk energi. Mulige teknologier er elektrokedler eller elvandvarmere. Den teknologi der anvendes i et bestemt tilfælde, afhænger af lokale forhold og individuelle krav. Begge teknologier er egnede til energistyring. Investeringsomkostningerne varierer med hensyn til den ønskede kapacitet og nødvendige eksterne enheder.

Hovedkomponenterne i elektrokedler er deres elektroder. Disse elektroder er omgivet af vand og bruger fysiske egenskaber til at producere varmeenergi. Hvis elektroderne er tilsluttet, fører den ohm-modstand af vandet til dets opvarmning. Med en ekstra varmeveksler kan denne varmeenergi overføres til fjernvarmesystemet. Denne adskillelse er nødvendig, fordi kedlen og fjernvarmesystemet har forskellige særlige krav til vandets egenskaber. Kedlens kapacitet kan blive trinløst reguleret ved hjælp af vandstanden og resulterende neddykning af elektroderne. De almindelige kapaciteter af elektrokedler varierer mellem 5 MW og 50 MW (AGFW, 2017). En skematisk fremstilling af en elektrokedel er vist i Figur 50.

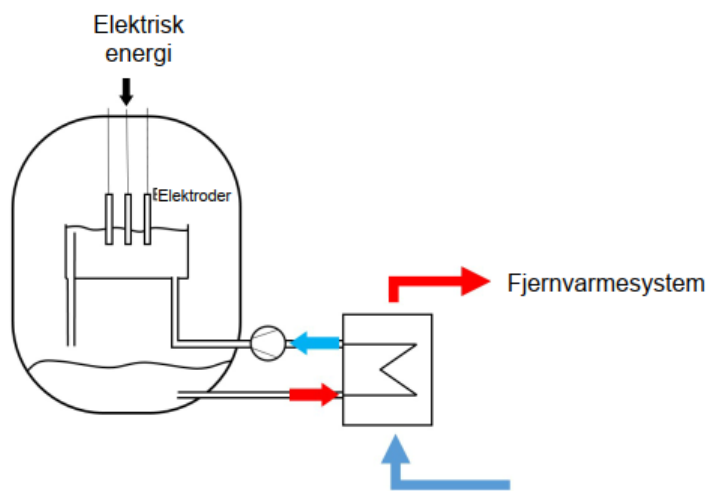


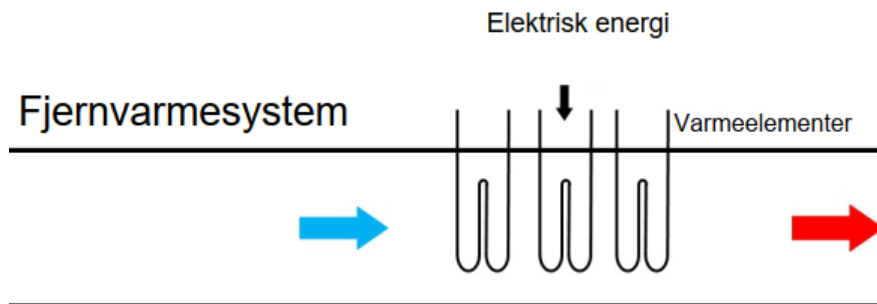
Diagram af en elektrokedel (kilde: AGFW)

Figur 50:



Figur 51: Elkedel på 10 MW og 14,4 m³ kapacitet på solvarmeanlægget i Gram, Danmark (Kilde: D. Rutz)

Elektriske gennemstrømnings-vandvarmere giver mulighed for at opvarme fjernvarmevandet uden yderligere vandkredsløb. El-gennemstrømnings-vandvarmere består af et eller flere varmeelementer, som anbringes i fjernvarmefflowet. Når varmeelementet er aktiveret, opvarmes det og overfører varmeenergi til det strømmende vand. Reguleringen af effekten kan foretages ved at regulere elforsyningen til varmelegemerne. Hvis der er flere varmelegemer, kan antallet af elementer der er i drift reguleres. Derfor er denne teknologi også trinløst regulerbar. Almindelige kapaciteter på el gennemstrømnings-vandvarmere er mellem 100 kW og 10 MW (AGFW, 2017). En forenklet gengivelse er vist i Figur 52.



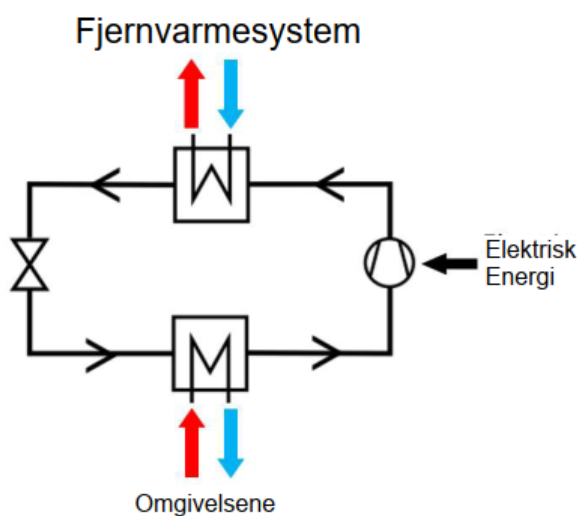
Figur 52: Diagram for elektrisk gennemstrømnings-vandvarmer (kilde: AGFW)



Figur 53: Elektrisk gennemstrømnings-vandvarmer (kilde: Klöpper-Therm GmbH & Co.KG)

Varmepumper kan udføres som kompressorvarmepumper, absorptionsvarmepumper og adsorptionsvarmepumper. Til anvendelse i forbindelse med kraftvarme er kompressorvarmepumper de mest egnede og er den almindeligt benyttede teknologi til fjernvarme. (AGFW, 2017)

Kompressorvarmepumper bringer (pumper) termisk energi på et lavtemperaturniveau fra eksterne kilder som luft, geotermisk energi, vand eller overskudsvarme og op til energi på et højere temperaturniveau til videre anvendelse. Den leverede energi kaldes nyttig energi. Omdannelsen af el-energi sker indirekte ved at drive systemets kompressor. Arbejdsprincippet, der er vist i Figur 54. Kompressoren pumper en varmevæske, der er ansvarlig for varmetransporten, rundt i et lukket kredsløb. Den valgte væske afhænger af den valgte varmekilde og temperaturniveauet. Varmetransmissionen sker med to varmevekslere, den ene til at optage den termiske energi fra omgivelsernes lavtemperatur-kilde og den anden til at overføre den termiske energi til fjernvarmesystemet. (AGFW, 2017; Wesselak et al., 2013).



Figur 54: Principdiagram for kompressorvarmepumper (baseret på AGFW, 2017)

Der er en vigtig forskel for **anvendelsesområdet** for de to teknologier (elkedler og varmepumper), der skal nævnes. Elektrokedler til fjernvarmen bruges til at stabilisere elnettet og yde kontrollerede effektbelastninger. Hvis der forekommer et overskud af el-energi på elnettet, kan der tændes for elektrokedlerne for at forbruge denne overskudsenergi, omdanne den til termisk energi og derved afbalancere elnettet. En fordel er på den ene side de indtægter, der kan hentes ved at kunne levere kontrollerede effektbelastninger, og på den anden side kan denne varmeproduktion på grund af svingende elpriser være mere omkostningseffektiv end andre.

I modsætning hertil anvendes varmepumper til at dække de grundlæggende varmebehov. Varmepumpernes effektivitet defineres af ydelseskoefficienten (COP), der udregnes som den afleverede nyttige termiske energi divideret med den forbrugte el-energi (se ligning nedenfor, baseret på AGFW, 2017).

$$COP = \frac{|\dot{Q}_{varme}|}{P_{elektricitet}}$$

Da de anvendte varmekilder (luft, geotermisk energi, vand og overskudsvarme) estimeres som frit tilgængelige, tages deres forbrug ikke i betragtning ved effektivitetsberegningen. Det er derfor muligt at få effektivitetsværdier højere end 1. Normalt betragtes brugen af frit tilgængelig varme som omkostningsfri, hvilket betyder, at de heller ikke tages i betragtning ved beregningen af driftsomkostningerne. Derfor kan varmeproduktionen ved hjælp af varmepumper være meget energieffektiv og omkostningseffektiv. Denne fordel kan endda øges, hvis nedkøling af varmekilden er en yderligere fordel for andre systemer eller processer. Det betyder for eksempel, at spildvarmen fra andre køleanlæg kan bruges som lavtemperatur varmemedium til varmepumpen.

De vigtigste hindringer mod implementering af varmepumper i fjernvarmesystemer er deres høje investeringsomkostninger og at deres rentabilitet afhænger af den lokale elpris. Investeringsomkostningerne er internationalt set ret stabile, mens elpriserne er meget forskellige afhængigt af de nationale eller lokale energimarkeder. På grund af de generelt høje investeringsomkostninger anvendes varmepumper ofte kun til at dække grundvarmebehovet, men ikke til at klare maksimalbelastninger, der så skal dækkes af andre varmegeneratorer. Varmepumper er også teknisk uegnede til at være den eneste teknologi, der skal dække de samlede varmebehov i fjernvarmesystemer.

5.3.7 Integring af teknologier til varmelagre

Belastningen i fjernvarmenettet varierer konstant. På en enkelt dag kommer der spidsbelastninger, og i fjernvarmesystemer varierer belastningen også mellem sommer og vinter. Samtidig er omkostningerne til varmeproduktion ikke de samme på alle tidspunkter. Termiske energilagre (TES) kan anvendes til at flytte produktions- eller forbrugsspidsen og til at køre med bestemte produktionsanlæg, når det er mest økonomisk.

Kortvarig termisk energilagring

Konventionelle kortvarige lagre er **trykløse tanklagre**, som arbejder med atmosfærisk tryk. Tankene er velisolerede og bruges normalt til at forskyde spidsbelastninger. I sådanne lagre er temperaturerne lidt under 100 °C. I nogle tilfælde er gamle olietanke blevet renoveret for at bruge dem som termiske energilagre i fjernvarmesystemer.

Tryksatte lagerbeholdere kan holde temperaturer over 100 °C. Det kan være nødvendigt for at imødekomme forbrugernes behov eller for at tillade at akkumulere energi ved højere temperaturniveauer fra f.eks. el til varmeanlæg. Tryksatte lagre kan holde mere energi i samme vandmængde i forhold til ikke-trykbærende lagre på grund af den højere temperatur. De højere trykniveauer kræver strengere sikkerhedsforanstaltninger

sammenlignet med ikke-tryksatte lagre. Dette resulterer også i højere bygge- og vedligeholdelsesomkostninger.



Figur 55: Ikke tryksat varmelager til fjernvarmesystemet i Zagreb (kilde: www.pogledaj.to)

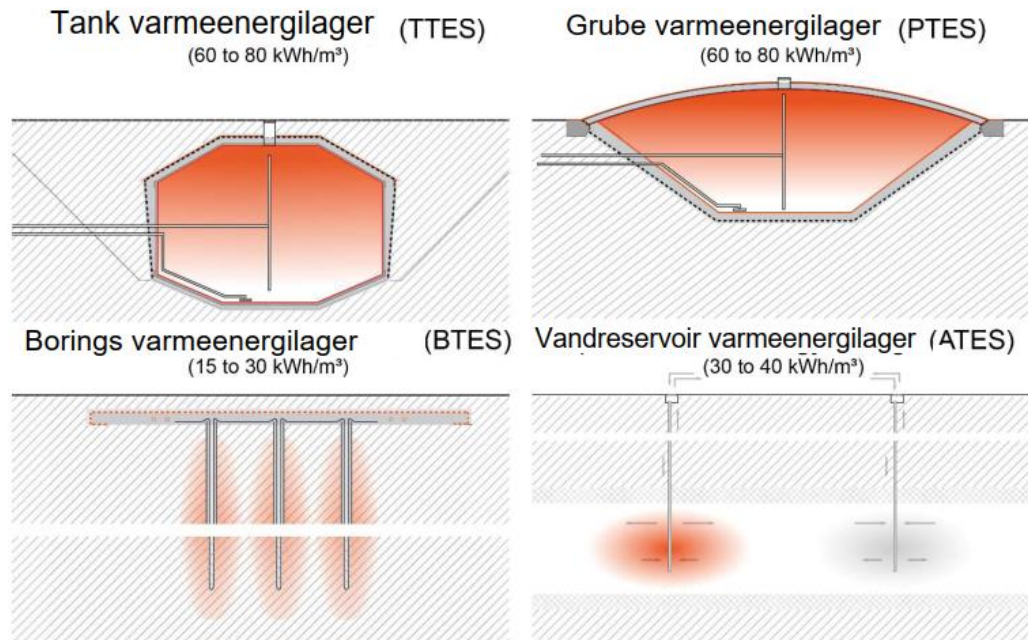
I 2015 blev det første tyske dobbelt-zone termiske lager taget i drift i Nürnberg. Teknologien blev opfundet af Dr. Hedbäck og blev derefter patenteret af Bilfinger VAM. Den er baseret på en øvre vandzone, der er adskilt af en fleksibel membran fra den nedre zone. Vægten af den øvre zone skaber tryk på den nedre zone, der gør det muligt at holde vand i den nedre zone med temperaturer over 100 °C. Vandtemperaturen i den øvre zone er derfor lavere.

Fordelene er en højere energilagerkapacitet i samme volumen sammenlignet med normale ikke-tryksatte lagre og samtidig lavere udgifter til sikkerhedsforanstaltninger som det er tilfældet med trykbeholdere.

Storskala underjordisk oplagring af varmeenergi (TES)

Fire hovedkoncepter til storskala undergrunds-TES er blevet udviklet og demonstreret i de sidste årtier som vist i Figur 56. Hvert af disse koncepter har forskellige muligheder med hensyn til lagerkapacitet, lagringseffektivitet, mulige hastigheder for opladning og afladning af energi, krav til lokale jordbetingelser og systemgrænsevilkår (f.eks. temperaturniveauer).

Det mest egnede TES-koncept til et specifikt projekt findes altid ved en teknisk-økonomisk vurdering for de specifikke grænsevilkår. I de følgende underafsnit introduceres TES-konceptet kort.



Figur 56: Oversigt over tilgængelige koncepter for underjordiske termiske energilagere (Kilde: Solites)

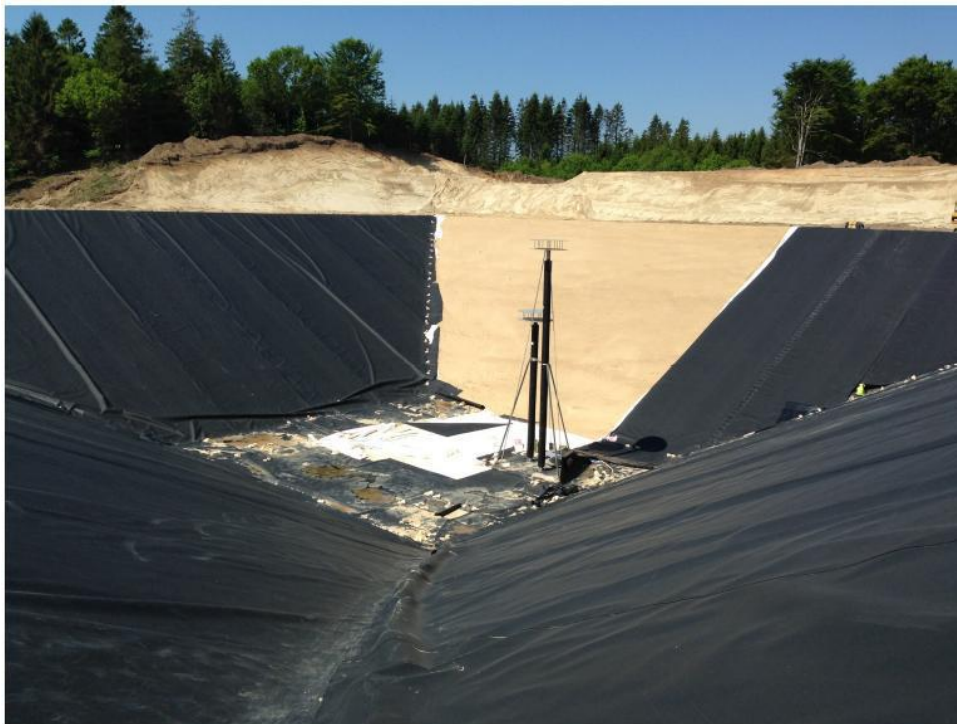
Termiske energilagertanke har en opbygning af beton, stål eller fiberforstærket plast (sandwichelementer). Betonbeholdere er bygget ved hjælp af in situ støbt beton eller præfabrikerede betonelementer. En ekstra dug (polymer, rustfrit stål) monteres normalt på tankens indvendige overflade for at sikre konstruktionens diffusionstæthed overfor vand- og damp. Isoleringen er placeret på tankens yderside.



Figur 57: Tank til varmelagring med 5.700 m³ vandvolumen bygget af præfabrikerede betonelementer i München, Tyskland (under opførelse og færdiggørelse, Kilde: Solites)

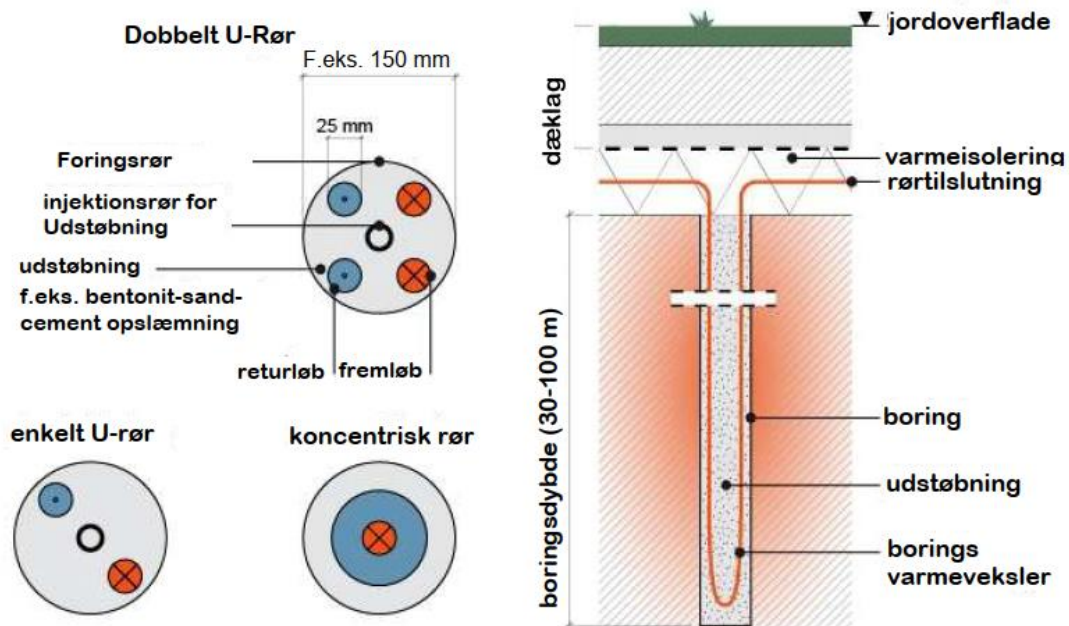
Termiske energilagere i gruber (PTES) er bygget uden statiske konstruktioner ved montering af en membran med eller uden isoleringsmateriale i en udgravning. Lågets design afhænger af lagermediet og geometrien. Ved anvendelse af vand sammen med grus, jord eller sand som opbevaringsmedium kan låget være konstrueret med en membran og isoleringsmateriale ofte identisk med væggene. Lågkonstruktionen til en vandfyldt PTES kræver en større bygningsmæssig indsats og er den dyreste del af et varmeenergi-lagre. Typisk understøttes den ikke af en underliggende konstruktion, men flyder oven på vandet. Temperaturerne i lageret begrænses normalt af foringsmaterialet til 80 - 90 °C. -Termisk energilagring i gruber er placeret dækket af jord. I store PTES er

jorden fra udgravningen anvendt til at skabe banker, der gør det muligt at hæve oplagringen noget over terrængrube.



Figur 58: Opførelse af SUNSTORE 3 et grube-termisk damvarme energilager i Dronninglund (Dronninglund Fjernvarme i Danmark)

Ved **Termisk energilagring i borer** anvendes den underjordiske geologi som lageringsmateriale. Der er ikke noget adskilt lagrings område. Egnede geologiske formationer er sten- eller vandmættede jordarter med et ubetydelig grundvandsflow (gradient). Varmen tilføres eller udtages ved vertikale boringsvarmevekslere, som er installeret i boringen i en dybde af typisk 30 til 100 m under jordoverfladen. Boringsvarmevekslere kan være enkelt- eller dobbelt-U-rør eller koncentriske rør, der for det meste er fremstillet af syntetiske materialer.



Figur 59: Almindelige typer og vertikale snit af borehulsvarmevekslere (Kilde: Solites)

Grundvandsmagasiner som termiske energilagre er vandfyldte områder under jorden, der består af permeable sand-, grus-, sandsten- eller kalkstenlag med mulighed for høj hydraulisk gennemstrømning. Grundvandsmagasiner er egnede til oplagring af varmeenergi, hvis uigennemtrængelige lag eksisterer over og under, og den naturlige grundvandstransport er ubetydelig. I dette tilfælde bores to brønde (eller flere grupper af brønde) i det vandførende lag og tjener til indvinding og injektion af grundvand. Ved oplagring af varme bliver koldt grundvand pumpet op fra den kolde brønd, og opvarmet enten ved hjælp af en varmekilde eller en køleanvendelse og injiceres derefter i den varme brønd. Ved indvinding af den oplagrede varme vendes flowretningen: Varmt vand ekstraheres fra den varme brønd, afkøles af et kølelegeme og re-injiceres i den kolde brønd. På grund af de skiftende flowretninger er begge brønde udstyret med pumper, produktionsrør og injektionsrør.

Specifikke aspekter

De mest almindelige formål med TES i fjernvarmesystemer er:

- Bufferoplagring til kortvarig opbevaring af varme eller spidsbelastning
- Langsigtet eller sæsonmæssigt lagring af f.eks. solvarme eller overskudsvarme
- Energistyring af flere varmeproducenter som kraftvarme, solvarme, varmepumper og industriel overskudsvarme
- Kølelagring af f.eks. omgivende kulde (luft, overfladevand) eller "fordamper"-kulde fra varmepumper

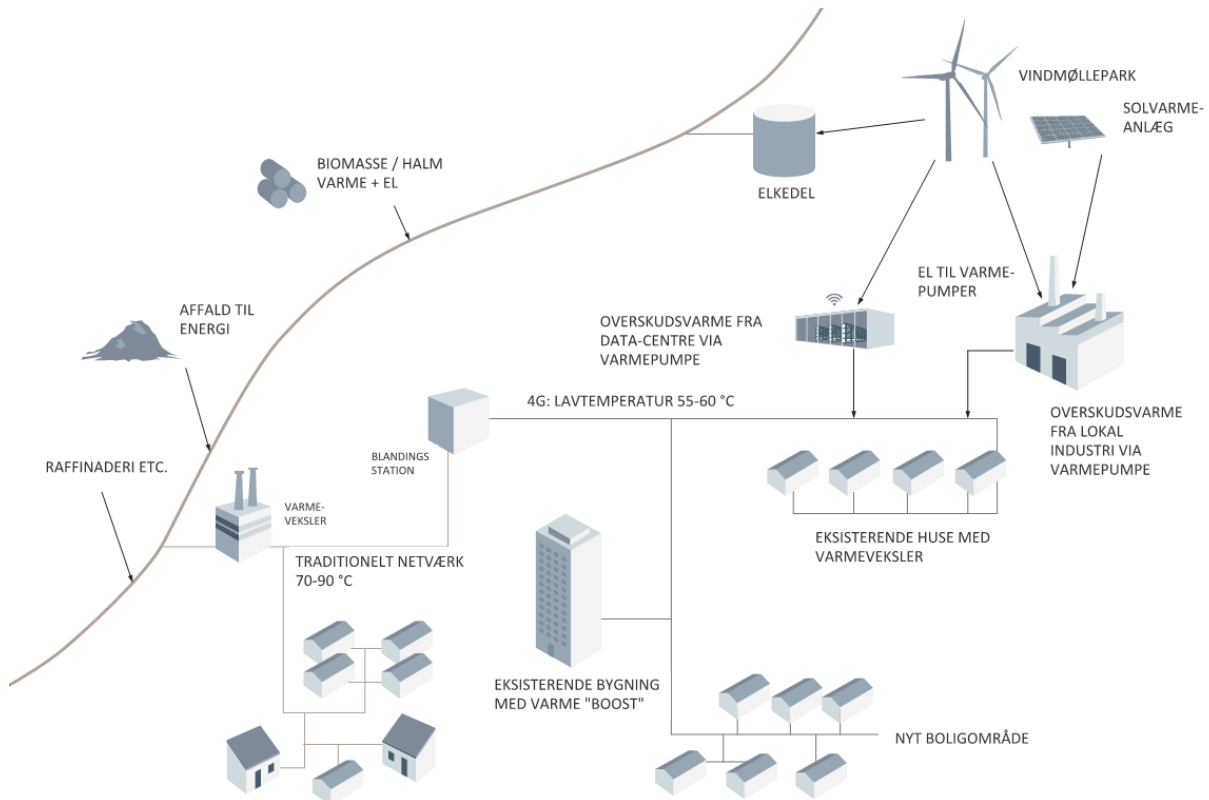
En velovervejnet integration i det samlede energiforsyningssystem er afgørende for en effektiv drift af en storskala TES. Dette omfatter et passende hydraulisk systemlayout samt et omhyggeligt design af ikke kun oplagringen, men også andre systemkomponenter som ekstra varme- eller køleproducenter, fjernvarmenet, varmevekslerstationer og helt op til planlægning af bygningerne. Specielt skal processtyringssystemet konfigureres til at sikre, at lagerfaciliteterne udnyttes bedst

muligt, afhængigt af specifikke projektmål, såsom maksimering af vedvarende energi eller kraftvarmeproduktion.

Opbevaringstemperaturniveauer, temperatur lagdeling og returtemperaturer i opvarmningsnettet har stor indvirkning på effektiviteten af en TES. Disse parametre afhænger ikke alene af oplagringen, men også i høj grad på det tilsluttede energisystem. Derfor er der behov for en præcis forudsigelse af de samlede systemegenskaber under design af lagringsfaciliteter. Driftstemperaturer i lageret i løbet af året og opvarmnings- og nedkølingshastigheder skal forudsiges sammen med fjernvarmenettets returtemperaturer, da de har en nøglerolle for udnyttelsen af lageret. Sammen med de maksimale opvarmnings-temperaturer definerer de den anvendelige temperaturforskel og dermed den termiske kapacitet af en TES. For nogle lagerkoncepter kan yderligere komponenter som kortvarige buffertanke eller varmepumper også være økonomisk rimelige supplementer.

5.3.8 Opgradering med vedvarende energi – find den rigtige blanding

Vedvarende energikilder kan tilvejebringe en CO₂-neutral og bæredygtig varmekilde. Imidlertid fører integration og kontrol af disse inden for et varmenet til specifikke udfordringer. Traditionelt omfatter fjernvarmesystemet en varmekilde, et distributionsnet og slutbrugere af varmen. Moderne netværk skal være klogere med flere integrerede varmekilder af forskellig størrelse, temperaturprofil og placeringer i netværket. Kontrol af udbud og efterspørgsel skal være smartere og mere integreret for at imødekomme varmekundernes krav, samtidig med at der anvendes maksimal brug af periodiske vedvarende energikilder. Et varmenet, der tager disse faktorer i betragtning, kan ud som noget i retning af Figur 60.



Figur 60: Fjernvarme med variable varmekilder (kilde: COWI)

Basisvarmebelastningen skal leveres af en pålidelig og kontrollerbar varmekilde. Normalt kører et affald-til-energi anlæg kontinuerligt og kan ikke så let lukkes ned, det er derfor en sandsynlig kandidat til basisbelastningen. På samme måde er højtemperatur affaldsvarme fra tung industri, såsom raffinaderi, en kontinuerlig varmekilde ved høj temperatur. Biomassekedler og kraftvarmeværker er mere fleksible (selv om de ikke kan starte med kort varsel) og kan bruges til at øge forsyningen, når det er nødvendigt. I modsætning til affaldskedler kan biobrændsel opbevares og anvendes efter behov.

Vedvarende energikilder som vind og sol er af natur, svingende ressourcer. Disse skal integreres så direkte som muligt, når de er tilgængelige, med termisk opbevaring integreret i nettet for at give maksimal udnyttelse.

Et netværk som dette kræver sofistikeret kontrol for at sikre, at delene arbejder sammen og ikke imod hinanden. Nettet behøver for eksempel at vide, om der er forsyning til rådighed fra et solvarmeanlæg eller en varmepumpe og justere så varmen bliver reduceret fra højtemperaturkilderne.

Kortlægning af mulighederne og at opnå den optimale løsning kan være en kompliceret proces. Nettet opbygges typisk over tid, med tilføjelser og forbedringer, der foretages periodisk på det eksisterende net. Softwarepakker, som letter modelleringen af forskellige løsninger, kan være værdifulde for at vurdere den optimale blanding af varmeforsyningsteknologier til et bestemt område sammen med de lokale begrænsninger.

En sådan softwarepakke er **EnergyPro**, som kan bruges til at opbygge en model af forskellige muligheder for varmeforsyning og deres indbyrdes forhold. Ved hjælp af EnergyPro kan varmeforsyningens driftsparametre optimeres. Figur 61 viser et skærmbillede fra EnergyPro for drift af et net i en lille Dansk by, hvor der er en solvarmekilde samt gas-kraft-varme og kedler. Den første graf viser solstråling per time for stedet, som bruges til at beregne varmeproduktionen fra solfangerne. Den anden graf viser timepriser for el. Den tredje graf viser varmebehovet og de forskellige varmegeneratorer produktion. Den fjerde viser elproduktion, og den femte viser timeværdier for varmelagerets status.



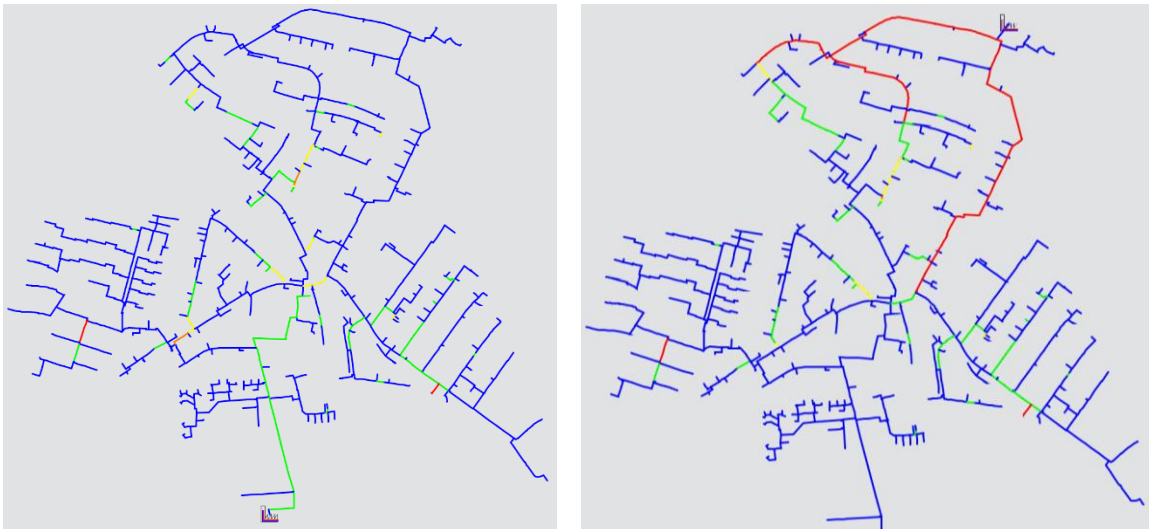
Figur 61: EnergyPro model (EMD international A/S)

Et andet eksempel er Optits løsning til optimering af energiproduktion (Upgrade DH 2018c), som allerede er indlejret i den daglige drift af flere fjernvarmesystemer i Italien. Dette værktøj giver mulighed for optimering af planlægningen af driften af anlægs-komponenterne for at maksimere indtjeningen på kort og lang sigt.

Termodynamisk modellering ved hjælp af en softwarepakke som **TERMIS** kan være en nyttig metode til at vurdere de tekniske konsekvenser af ændringer i varmekilden og leverancer specifikt på selve fjernvarmenettet. Denne modellering tager højde for størrelsen og driftsparametrene for en ny varmekilde sammen med den fysiske placering på nettet. Modellen kan bruges til at vurdere, hvordan hele nettet vil fungere med de foreslåede ændringer. For eksempel kan følgende spørgsmål besvares:

- Er rørene store nok til at transportere varme fra produktionsstedet til de tilsluttede belastninger på netværket?
- Er der punkter, hvor ekstra pumper skal installeres for at opretholde pres på netværket?

Figur 62 viser et eksisterende netværk, hvor et ny varmeproduktionsanlæg skal tilføjes. Det er resultatet viser straks, at selv om lokaliteten eventuelt kunne passe til placeringen af et varmeproduktionsanlæg, skal en stor del af netværket opgraderes, hvis en varmetilførsel af den angivne størrelse skal tilføjes på det sted.



Figur 62: TERMIS skærmbilleder med tilføjelse på et nyt produktionsanlæg (Kilde: COWI)

5.4 Teknisk dataovervågning, kontrol og digitalisering

Den effektive drift af fjernvarme er baseret på den komplekse interaktion mellem forskellige varmeproducerende anlæg med forskellige forbrugere. I fremtidige energisystemer kan flere forskellige varmekilder ikke kun anvendes i et enkelt system, men der kan også leveres yderligere tjenester, såsom interaktionen med elnettet. Integrationen af SDH kan kræve dedikerede lagre. Alt dette vil øge kompleksiteten af hele systemet.

Teknisk **dataovervågning** er et bredt begreb med forskellige anvendelsesområder, som kan hjælpe med at håndtere kompleksiteten af fremtidens energisystemer. Det overordnede mål for overvågning ser ud til at være simpelt: "at opnå en tilstand med optimal drift". Men "det optimale" er specifikt for hvert system og kan blandt andet påvirkes af økonomiske, energitekniske eller miljømæssige faktorer. Selvom målene kan være forskellige, kan det ikke desto mindre antages, at fremtidige varmeforsyningssystemer næppe kan betjenes uden **digitalisering** (SRO, dvs. Styring, Regulering, Overvågning).

For at håndtere mængden af tilgængelige data er det et vigtigt skridt til at analysere dataene ved hjælp af såkaldte **operationsindikatorer**, som giver operatøren en hurtig og nem ide om systemets aktuelle status. Disse indikatorer kan være parametre i systemet, som enten kan måles direkte eller beregnes ud fra de målte parametre. Nogle letforståelige og almindeligt anvendte parametre er temperaturniveauer (forsyning og returledning), trykniveauer og energiforbrug.

For fremtidige systemer kan det være nødvendigt at indsamle de relevante data ved at installere forskellige måleinstrumenter på forskellige system- og netværkspunkter. Afhængig af grænsevilkårene, systemkompleksiteten (antal værker, kunder, forbindelser osv.) og optimeringsmålsætningen, kan forskellige parametre være mere relevante end andre. Niveaulet for automatisering vil dog påvirke antallet af nødvendige målepunkter og parametre. Løbende forskningsaktiviteter i Tyskland, af AGFW og Technische Hochschule Rosenheim, har til formål at identificere de mest relevante parametre og nøgleindikatorer for et energi dataovervågning inden for projektet NEMO⁵.

Tabel 5 præsenterer kravene til dataindsamling, der blev anvendt til energiovervågningen af seks fjernvarmesystemer indeholdt i Mona projektet (Bücker et al., 2015). De adresserede parametre blev vurderet som vigtige for en vellykket energi overvågning. De nævnte krav er anført for den pågældende komponent og den anslåede betydning vist.

⁵ <https://www.agfw.de/nemo/>

Tabel 5: Krav til dataindsamling og registrering af måledata for en fuldstændig energisk overvågning (baseret på Bücker et al., 2015)

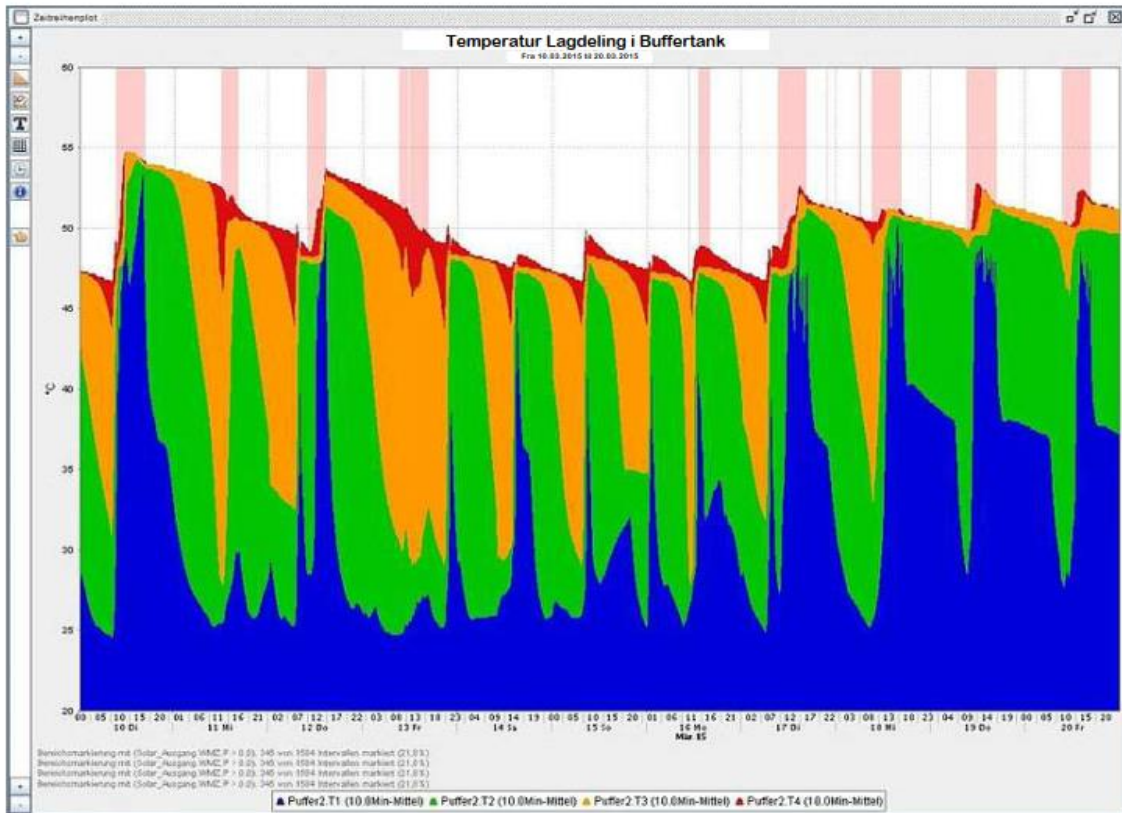
Komponent	Krævet måleinstrument	Betydning
VarmeProduktion	Varmemåler	Nødvendig
	Masseflowmåler	Vigtig
	Elmåler	At foretrække
Termisk lager	Temperatur sensor (4 stk.)	Nødvendig
Net	Varmemåler	Nødvendig
	Differenstryksensor	Nødvendig
Netpumpe	Elmåler eller status rapportering	Vigtig
Kedelhus	Elmåler	Nødvendig
	Udetemperatur sensor	At foretrække
Forbruger	Varmemåler	Vigtig

Med **digitaliseringen** er det muligt at måle mange flere parametre og automatisk analysere dem, hvilket kan have en større effektiv virkning på opgraderinger. Med indsamling af flere og bedre data kan uudnyttede opgraderingspotentialer findes ved at beregne flere nøgletal. Fordelene skal dog retfærdiggøre omkostningen til dataindsamling, og det er derfor nødvendigt at identificere de mest rentable fordele i forhold til omkostningerne ("cost/benefit" analyse).

Den nødvendige **målefrekvens** for det ovennævnte Mona-projekt viste sig at være tilstrækkeligt med ca. 15 minutter (Bücker et al., 2015). I så fald giver det nok detaljer til at vise dynamiske effekter uden at generere uhåndterbare datamængder. Under indvirkning af ændrede krav og den løbende udvikling af databehandlingsværktøjer, vil denne periode sandsynligvis blive forkortet kontinuerligt.

Det er umuligt at give et komplet overblik over **eksisterende softwareværktøjer**, der understøtter dataovervågningen generelt. Nogle softwareværktøjer er beskrevet i "Best Practice Instruments and Tools for Diagnosing and Retrofitting of District Heating " (Upgrade DH, 2018c).

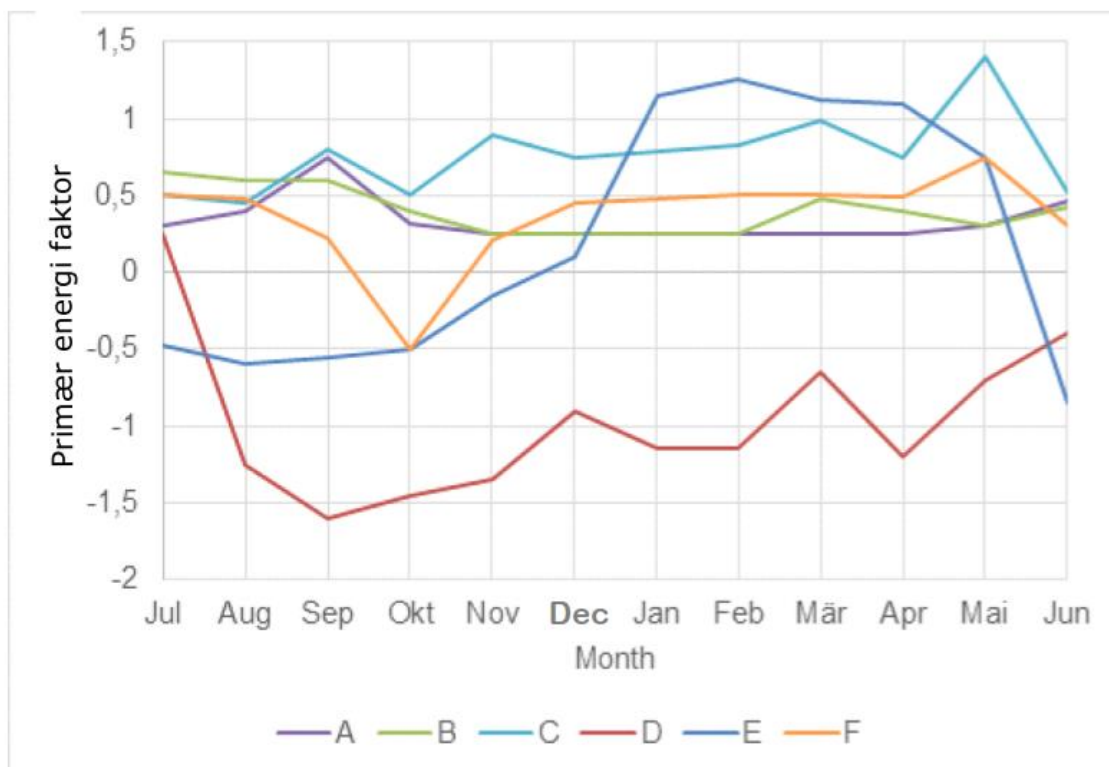
Et eksempel på et sådant softwareværktøj er **Monisoft**, der er udviklet af Karlsruher Institut für Technologie (KIT) og opdateret af Technical University of Applied Sciences i Rosenheim, Tyskland. Afhængigt af interne krav og ekspertise kan det anvendte softwareværktøj til at indsamle og forberede data til overvågningen variere. Figur 63 viser en visuel præsentation af data.



Figur 63: Temperaturlagdeling af en termisk oplagring overvåget af Monisoft (Kilde: Hochschule Rosenheim)

Til evaluering af data kan forskellige softwareværktøjer eller instrumenter anvendes. I det følgende eksempel præsenteres evalueringen af overvågede primære energidata fra seks anonyme fjernvarmesystemer (A, B, C, D, E og F). Beregningen af de primære energifaktorer er baseret på metoden i (AGFW FW 309, 2018). Figur 64 viser den grafiske præsentation (de negative værdier skyldes beregningsmetoden i AGFW FW 309, 2018, negative årlige værdier er sat til nul).

Et nærmere kig på fjernvarmesystem C viser betydeligt højere værdier i maj, som i dette tilfælde var relateret til afbrydelsen af en biomassekedel i denne periode. En potentiel opgraderingsforanstaltning er at minimere nedlukningstiden for biomassekedlen for at kunne generere en lavere primær energifaktor.



Figur 64: Primær energifaktor for fjernvarmesystemerne A, B, C, D, E og F (egen graf, baseret på Bücker et al., 2015)

5.5 Muligheder for efterspørgselsrespons

Definitionen for efterspørgselsrespons (Demand Response - DR) diskuteres ofte i energisektoren, normalt i el-energi sammenhæng. Den bruges også ofte til Demand Side Management (DSM). (Styring af efterspørgsel). Ifølge Forschungsstelle für Energiewirtschaft eV (2019) er en passende definition (oversat fra engelsk): "Efterspørgselsrespons". Det er en kortsigtet og forudsigelig ændring i forbrugernes belastning som følge af prissignaler på markedet eller på grund af aktivering af kontraktlige aftaler om at tilvejebringe visse kapaciteter. Disse markedspriser eller kapacitetsaftaler udløses af ikke planlagte, uregelmæssige eller ekstreme energihændelser.

For fjernvarmesystemer, vil **belastningsændringer** kunne reducere forbrugspukler. Dette sker, når mange forbrugere har brug for varme samtidig. Det kan være f.eks. når mange tilsluttede private huse anvender varmt vand om morgenen / eftermiddagen f.eks. til brusebad, eller når natsækningen slukkes samtidig. Til disse spidsbelastninger i varmekonsum har de fleste fjernvarmesystemer nogle spidsbelastningskedler, der kun arbejder i et par timer om året. Problemet er, at de medfører betydelige omkostninger og normalt bruger fossile brændstoffer (fyringsolie, naturgas) til denne kortsigtede levering. Det er derfor, der er mange optimeringsmetoder til at reducere / undgå disse spidsbelastninger, som for eksempel at anvende præcis belastningsforudsigelse (Faber et al., 2018) eller ved at integrere (buffer-) lagre.

Som omtalt i kapitel 5.3.6 kan integrationen af spidseffekt optaget i strøm-til-varme anlæg under solrige (PV) og blæsende (vindenergi) dage også betragtes som DR. I så fald bliver tilgangen til sektorkobling relevant for hele energisektoren. Dette gøres ved at bruge overskuds-el som kilde til fjernvarme (strøm til varme) eller til produktion af gas (strøm til

gas), som enten kunne bruges til el eller varmeproduktion eller gennem kraftvarme (kombineret varme og el) til begge dele.

Imidlertid undersøges også efterspørgselsreaktionerne for fjernvarme med direkte ændringer af forbrugerbelastninger i forskningsaktiviteter på europæisk plan som i STORM Project⁶. I dette projekt skal den udviklede STORM controller (innovativ DH & Cooling Network Controller) baseret på maskinindlæring og anvendt kunstig intelligens kunne øge brugen af affaldsvarme og vedvarende energikilder og øge energieffektiviteten på distriktsniveau (Johansson et al., 2018).

⁶ <https://storm-dhc.eu/>

Ordliste og forkortelser

Ordliste og forkortelser beskriver og definerer forskellige specifikke eller almindelige udtryk, udtryk og ord, som bruges i denne håndbog. Et væsentligt formål med denne liste er at lette oversættelsen af håndbogen til de nationale sprog. Flere udtryk er tilpasset fra Wikipedia og fra Rutz et al. (2017).

a: Se År

Absorption: En proces, hvori atomer, molekyler eller ioner optages i en bulkfase (gas, flydende eller fast stof). Dette er en forskellig proces fra adsorption, idet molekyler, der gennemgår absorption, optages i stoffet, ikke på en overflade (som i tilfælde af adsorption).

Adsorption: vedhæftning af atomer, ioner eller molekyler fra en gas, et flydende eller opløst fast stof til en fast overflade.

Anaerobisk forrådnelse: (AD) Også kaldet fordøjelse eller fermentering: En mikrobiologisk nedbrydningsproces af organisk stof under komplet mangel på ilt, der udføres ved den samlede virkning af en bred vifte af mikroorganismer. Anaerob forrådnelse (AD) har to primære produkter: biogas (en gas bestående af en blanding af metan, carbondioxid, andre gasser og sporstoffer) og slam (det fordøjede substrat). AD-processen er almindelig for mange naturlige miljøer, og det anvendes i dag til at producere biogas i lufttætte reaktortanke, der almindeligvis kaldes rådnetanke.

ATES: (Aquifer Thermal Energy Storage), Vandreservoir til oplagring af varmeenergi.

Barrel of Oil Equivalent (BOE): Mængden af energi indeholdt i en tønde råolie, dvs. ca. 6.1 GJ, svarende til 1.700 kWh. En "petroleumstønde" er en rumfangsmåling svarende til 42 amerikanske gallon (35 Imperial gallon eller 159 liter); ca. 7,2 tønder svarer til en ton olie (metrisk).

Biogas: Gas dannet ved anaerob forrådnelse bestående hovedsagelig af metan og kuldioxid, men også af svovlbrinte, vand og mindre fraktioner af andre forbindelser.

Biometan: Biogas opgraderet til metan af naturgaskvalitet indhold $\text{CH}_4 >95\%$.

Brændstof: Ethvert materiale tilført til en proces, der i denne proces konverteres til en anden tilstandsform eller et andet produkt.

Brændværdi: Mængden af varmeenergi frigivet under forbrænding af en bestemt mængde brændstof (biogas, biometan). Der regnes med en høj og en lav brændværdi, (afhængig af om kondenseringsvarmen af den ved forbrændingen dannede vanddamp medregnes).

BTES: Borehul TES varmeenergilagere.

Kapacitet: Den maksimale effekt, som en maskine eller et system kan producere eller understøtte sikkert (den maksimale øjeblikkelige energi fra en ressource under særlige forhold). Kapaciteten af varme- og el-producerende udstyr er normalt udtrykt i kilowatt eller megawatt.

CAPEX: (CAPital EXpenditure); Kapacitetsomkostninger; Kapitalomkostninger, faste udgifter.

CHP: Kombineret varme-kraftanlæg: (Synonym: Co-genererings-plant): Samproduktion af elektricitet og nyttig termisk energi fra en fælles brændselskilde. Spildvarme fra industrielle processer kan bruges til at drive en elektrisk generator (bundcyklus). Omvendt kan overskudsvarme fra et elproduktionsanlæg anvendes til industrielle processer eller rum- og vandopvarmningsformål (topcyklus).

CO₂: Se Kuldioxid.

Coefficient of performance (COP): Ydelses-koefficient eller COP (nogle gange CP), for en varmepumpe er forholdet mellem den producerede varmemængde (i det betragtede varmereservoir) og det udførte arbejde. COP blev oprettet for at sammenligne varmepumper i forhold til deres energieffektivitet

Co-generering: Se (CHP) Kombineret Kraft-Varme-anlæg.

COP: Se "Coefficient of Performance" se ovenfor.

Damp: Damp betegner et stof i gasfasen ved en temperatur, der er lavere end dens kritiske punkt. Dette betyder, at dampen kan kondenseres til en væske eller et fast stof ved at øge dets tryk uden at reducere temperaturen. For eksempel har vand en kritisk temperatur på 374 °C (647 K), som er den højeste temperatur, ved hvilken flydende vand kan eksistere. I atmosfæren ved normale temperaturer vil vanddamp kondensere til væske, hvis dets partialtryk øges tilstrækkeligt. En dampfase kan eksistere sammen med en væskefase (eller faststof).

DH: (District Heating) Fjernvarme.

DHC: (District Heating and Cooling) Fjernvarme og køling.

DR: (Demand response) forbruger reaktion.

Drivhusgas (GHG): Gasser, der opfanger refleksionen af solens varme i Jordens atmosfære, og derved skaber drivhuseffekten. De to store drivhusgasser er vanddamp og kuldioxid. Andre drivhusgasser omfatter metan, ozon, chlorfluorcarboner og nitrogenoxid.

DHW: (Domestic hot water supply) Varmtvandsforsyning.

Effekt: Arbejds mængde eller energi overført pr. tidsenhed (som defineret i fysikken) samt el fra nettet (definition i energisektoren).

Entalpi: Entalpi er et mål for den samlede energi i et termodynamisk system. Det omfatter den latente energi, som er den energi, der kræves for at skabe et system og mængden af energi, der kræves for at gøre plads til det ved at det fortrænger sine omgivelser og etablere sit volumen og tryk.

Entropi: Entropi er et mål for, hvor ensartet energi fordeles i et system. I et fysisk system giver entropi et mål for den mængde energi, der ikke kan anvendes til at udføre et arbejde.

Ergi: I termodynamikken, er En-ergien i et system, den maksimale effektive arbejds mængde, der kan udvindes under en proces, der bringer systemet i ligevægt med et reservoir. Når det er omgivelserne, der udgør reservoiret, er ergien det potentiale, der er til rådighed til at forårsage en forandring i et system, til det opnår ligevægt med omgivelserne. Ergi er den energi, der er til rådighed. Når først systemet og omgivelserne opnår ligevægt, er ergien lig nul. Bestemmelse af ergi var termodynamikkens første formål.

Fjernenergi: (District energy) Kombination af fjernvarme og kølings systemer.

Fjernkøling: (District cooling) Fjernkøling er et system til distribution af kølet vand fra en centralt beliggenhed enhed til bolig- og erhvervskøling, såsom klimaanlæg.

Fjernvarme: (District Heating) Ifølge EF (2018c) er fjernvarme eller by opvarmning "*distribution af varme gennem et netværk til en eller flere bygninger ved brug af varmt vand eller damp produceret centralt, ofte fra Kombinerede varme-kraftanlæg, fra affaldsvarme fra industrien eller fra dedikerede varmesystemer*".

Flad solfanger: Mest almindelige type solfangerpanel.

Flow: Mængden af et transportmedium, af en bestemt mængde og temperatur, som strømmer fra en varmekilde til en varm modtager.

Fossile brændsler: Fossile brændstoffer er dannet i løbet af millioner af år ved naturlige processer, gennem anaerob nedbrydning af døde organismer.

GPS: (Global Positioning System) GPS er et globalt satellit-navigations-system, der angiver geolokation og tidsinformation til en GPS-modtager hvor som helst på eller nær jorden.

Installeret kapacitet: Er den samlede elektriske og/eller termiske kapacitet af de energiproducerende anlæg.

Kondenserende kedel: Kondenserende kedler er vandvarmende anlæg med høj effektivitet (typisk større end 90%-100%), som opnås ved at udnytte den resterende varme i røggassen til at forvarme det kolde returvand til kedlen. De kan brænde gas eller olie og kaldes kondenserende kedler, fordi vanddampen i røggassen, der produceres under forbrænding, kondenseres til vand, som forlader systemet via et afløb.

Kilowatt (kW): En måleenhed for elektrisk effekt og/eller varme effekt svarende til 1.000 watt.

Kilowatt-time (kWh): Den mest almindeligt anvendte energienhed. Den er målet for summen af den mængde kilowatt (el eller varme), der leveres i løbet af en time.

Kuldioxid: CO₂ er en naturligt forekommende kemisk forbindelse sammensat af to oxygenatomer kovalent bundet til et enkelt kulstofatom. Det er en gasart ved standard temperatur og tryk og eksisterer i jordens atmosfære i denne tilstand som en sporgas i en koncentration på 0,039 volumenprocent.

kW_{el}: Elektrisk effekt (kapacitet).

kWh: Se Kilowatt-time.

kW_{th}: Termisk effekt (varme).

Køling: Køling er overførsel af termisk energi via stråling, ledning eller konvektion og hvorved temperaturen i modtagersystemet bringes fra et højere temperaturniveau til et lavere temperaturniveau.

Legionella: Sygdomsfremkaldende gruppe af bakterier, der kan være meget sundhedsfarlige.

Mickro/Mini-net: Et integreret lokalt net til produktion, transmission- og distribution (af el eller varme), der betjener flere kunder.

Naturgas: Er en fossil kulbrinte-gasblanding, der primært består af metan, sammen med andre kulbrinter, kuldioxid, nitrogen og svovlbrinte.

Netværks vand: Varmetransport medium.

ORC: (Organic Rankine Cycle) Organisk Rankine Cyklus: ORC-processen er opkaldt efter dets anvendelse af en organisk væske med høj molekylvægt, med en væskefaseændring eller kogepunkt, der forekommer ved en lavere temperatur end vand-til-damp faseændringen. Væsken tillader Rankinecyklus varmegenvinding fra lavere temperaturkilder, såsom fra biogasanlæg.

Overskudsvarme: Se spildvarme.

PE: Polyetylen.

PEHD: Polyethylen med høj-densitet.

PJP: Rør med plastikkappe.

Procesvarme: Varme anvendt i en industri til forskellige interne eller eksterne processer (fx til opvarmning af forrådnelsestanke).

PTES: (Pit Thermal Energy Storage) Grube varmelager.

PUR-Skum: (cellular polyurethane foam) Polyuretan skum.

Returstrøm: Det afkølede transportmedium, af en bestemt mængde og temperatur, som strømmer fra varmeaftager til varmeproducent.

Rørnet: Fjernvarmerør, der distribuerer varmen til forbrugerne, som igen er forbundet med stikrør.

Varme: Er energi overført fra et system til et andet ved termisk interaktion. I modsætning til arbejde er varme altid ledsaget af overført Eksergi (se ovenfor). Varmestrømmen fra et højere til et lavere temperaturpotentiale forekommer spontant. Denne strøm af energi kan udnyttes og delvist omdannes til nyttigt arbejde ved hjælp af en varmemotor. Den anden lov i termodynamikken forbyder varmeflow fra et legeme med en lavere til en højere temperatur, men ved hjælp af en varmepumpe kan eksternt arbejde bruges til at transportere energi fra et lavt til et højt temperaturniveau. I almindeligt sprogbrug har varme en mangfoldighed af betydninger, herunder temperatur. I fysik er "varme" ved definition en overførsel af energi og er altid forbundet med en proces af en slags. "Varme" anvendes ombytteligt med "varmestrøm" og "varmeoverførsel". Varmeoverførsel kan forekomme på forskellige måder: ved ledning, stråling, konvektion, netto-masseoverførsel, friktion eller viskositet og ved kemisk forandring.

Varmeveksler: En enhed bygget til effektiv varmeoverførsel fra et medie til et andet, hvor medierne er adskilt af en fast væg, så de aldrig blandes, eller bringes i direkte kontakt.

SCADA: (Supervisory Control and Data Acquisition) er et digitalt kontrolsystem, der bruger computere, netværks-datakommunikation og grafiske brugerflader til at betjene tekniske processer, i dette tilfælde til fjernvarme.

SCOP: (Seasonal Coefficient Of Performance) sæsonkorrigeret COP-faktor (se denne).

SDH: (Solar District Heating) Solvarmebaseret fjernvarme.

Smartnet: Er et el-net, der bruger informationsteknologi og andre teknologier for at tilpasse forsyningen med efterspørgslen på den mest effektive måde. Smarte net er foranstaltninger til forbedring af energieffektiviteten, og med den stigende andel i vedvarende energikilder, bliver det endnu mere vigtigt at stabilisere nettet.

Spildvarme: Varme fra enhver proces, f.eks. Fra en kraftvarmehenhed, som afgives til atmosfæren og derfor ikke udnyttes. Det kan også kaldes overskudsvarme siden "varme", som en energiform ikke kan forsvinde (gå til spilde) i henhold til loven om konservering af energi.

Spædevand: Er den vandmængde, der er nødvendigt for at genopfylde det tabte vand, f.eks. gennem lækage i fjernvarmenettet.

Stikledninger: Fjernvarmestik, der forbinder forbrugeren med fjernvarmenettet.

Temperaturforskel (ΔT): Differencen mellem to temperaturniveauer, resultatet er altid positivt.

TERMIS: Er et IT-værktøj til matematisk modellering af varmesystemer. Det bruges til at simulere driften af et fjernvarmenet, der er lagt ind i programmet. Den henter realtidsdata fra nettet, beregner og analyserer aktuelle driftsforhold. Bestemmer parametre for den i øjeblikkelige netværksdrift og på ethvert punkt i netværket.

TES: (Thermal Energy Storage) Termisk energi lager

Transmissionsrør: Større fjernvarmerør, der bringer varmen fra varmekilden frem til fjernvarmenettet.

TTES: (Tank Thermal Energy Storage). Cylindrisk ståltank.

Udgravningslængde: Tracelængde: Enkeltlængde af fremløb- og returrør: For eksempel, 100 m udgravningslængde betyder 100 m forsyning og 100 m returrør.

Vakuumsolfanger: Er en solfanger bestående af vakuumrør, i hvilke den varmeabsorberende væske cirkuleres.

Varmecentral: Er installationen, der forbinder fjernvarmenettet med forbrugeren, Det indeholder oftest en varmeveksler.

Varme overførings effektivitet: Forholdet mellem den anvendte varmeeffekt og den faktiske varme produceret i en forbrændingsanordning.

Varmetransportmedium: Det medium, der bruges til at bringe varmen fra varmekilden til modtageren. I fjernvarmesystemer er mediet normalt vand, det også kaldet kredsløbsvand.

VSD: (Variable Speed Drive pumps) Pumper med variabel hastighed, (f.eks. med frekvensomformer).

Watt (W): En standard måleenhed (i SI Systemet) for den hastighed, hvormed energi forbruges eller produceres af udstyr eller den hastighed, hvormed energi bevæger sig fra et sted til et andet. Det er også en standard måleenhed for elektrisk kraft. Udtrykket "kW" står for "kilowatt" eller 1.000 watt. Udtrykket "MW" står for "Megawatt" eller 1.000.000 watt.

ΔT : (Delta T) se Temperaturforskel ovenfor.

Referencer

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

- EGEC European Geothermal Energy Council (2018): EGEN geothermal market report 2017 – key findings
- Euroheat & Power (2018a) European heating sector well positioned for renewables integration. - <https://www.euroheat.org/news/european-heating-sector-well-positioned-renewables-integration/> [14.09.2018]
- Euroheat & Power (2018b) Top District Heating Countries – Euroheat & Power 2015 Survey Analysis. - <https://www.euroheat.org/news/district-energy-in-the-news/top-district-heating-countries-euroheat-power-2015-survey-analysis/> [14.09.2018]
- Euroheat & Power (2017) Country by Country 2017. - <https://www.euroheat.org/publications/country-country-2017/> [23.01.2019]
- European Commission (2016) An EU Strategy on Heating and Cooling. - EC 16.2.2016 COM(2016) 51 final; https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1_EN_ACT_part1_v14.pdf
- European Commission (2018a) Heating and cooling. - <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/heating-and-cooling> [14.09.2018]
- European Commission (2018b) Energy consumption in households. - https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_consumption_in_households [14.09.2018]
- European Commission (2018c) Glossary: City heating. - https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:City_heating
- European Commission (2018d) Energy consumption in households, Source data for tables and figures https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/images/1/16/Energy_consumption_households_final.xlsx [22.01.2019]
- European Commission (2019a) New Renewables, Energy Efficiency and Governance legislation comes into force on 24 December 2018. - https://ec.europa.eu/info/news/new-renewables-energy-efficiency-and-governance-legislation-comes-force-24-december-2018-2018-dec-21_en [23.01.2019]
- European Commission (2019b) Biomass. - <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/biomass> [23.01.2019]
- European Commission (2019c) Energy consumption in households. - https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_consumption_in_households [11.02.2019]
- Eurostat (2019) CONCEPTS AND DEFINITIONS. – https://ec.europa.eu/eurostat/ramon/nomenclatures/index.cfm?TargetUrl=DSP_GLOSSARY_NOM_DTL_VIEW&StrNom=CODED2&StrLanguageCode=EN&IntKey=16452285&RdoSearch=&TxtSearch=&CboT_heme=&IntCurrentPage=1%20https://www.google.de [23.01.2019]
- Faber, T., Groß, J., & Finkenrath, M. (2018). Innovative Last prognosen mit »Deep Learning«-Methoden. Euro Heat and Power, 47(1-2), 35–38. https://www.hs-kempten.de/fileadmin/fh-kempten/FZA/KWK-Flex/EuroHeat&Power_2018_1-2-18_S_35-38.pdf Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (2019). Demand Response. Retrieved from <https://www.ffe.de/publikationen/fachartikel/344-demand-response> [20.01.2019]
- Frederiksen, Svend; Werner, Sven (2013): District heating and cooling. Lund: Studentlitteratur.
- GeoDH (2014): Developing Geothermal District Heating in Europe, EU-Funded Project
- Gerdvilla, Simas (2017): Country By Country Survey 2017. - <https://www.euroheat.org/publications/country-country-2017/> [08.01.2019]
- Gunnlaugsson, E., Ármannsson, H., Thorhallsson, S., Steingrímsson, B. (2014): Problems in geothermal operation – scaling and corrosion
- Hirzel, S., Sontag, B., Rohde, C., (2013) Industrielle Abwärmenutzung - https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2013/Kurzstudie_Abwaermenutzung.pdf [11.02.2019]
- Hungenberg, Harald; Wulf, Torsten (2015): Grundlagen der Unternehmensführung. Einführung für Bachelorstudierende. 5. Aufl.: Springer Gabler
- Johansson, C., Vanhoudt, D., Brage, J., & Geysen, D. (2018). Real-time grid optimisation through digitalisation – results of the STORM project. Energy Procedia, 149, 246–255.
- Kühne, Jens; Jan Hinz, Arne (2016): Softwaregestützte Kraftwerkseinsatzoptimierung von KWK-Anlagen. Optimierungstools mit großer Einsatzbandbreite. In: Euro Heat and Power 45 (4), S. 38–43
- Laurberg Jensen L., Rutz D., Mergner R., Doczekal C., Pukšec T., Sunko R., Sunko B., Redžić E., Merzić A., Gjorgievsk V., Batas Bjelic I. (2017) Guideline on drafting heat/cold supply contracts for small DHC systems. - https://www.coolheating.eu/images/downloads/CoolHeating_D5.3_Guideline_on_drafting_heat_cold_supply_contracts_for_small_DHC_systems.pdf [16.01.2019]

- Lund H. et al. (2014) 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy*. 68: 1–11. doi:10.1016/j.energy.2014.02.089.
- Lygnerud, K., Werner, S., (2017) Risk of industrial heat recovery in district heating systems. *Energy Procedia* 116 (2017) 152-157
- Makela, V.M. 2008. Bases for the recommendations for new norms in Russian district heating. Mikkeli University of Applied Sciences
- Miedaner O. Winterscheid C., Grimm S., Heiler D., Kazagic A., (2018) Template for the global assessment of the district heating system in _____. – Word document template; Upgrade DH Project https://www.upgrade-dh.eu/images/Publications%20and%20Reports/UpgradeDH_Del3.2_TemplateForGlobalAssessmentOfDemoCases_Solites%20%282%29.docx [21.01.2019]
- MVV Netze (2015) TAB Heizwasser Technische Anschlussbedingungen Heizwasser für Nah- und Fernwärme. - https://www.mvv-netze.de/medien/dokumente/bauen/technische-regelwerke/fernwaerme/tab_fernwaerme_2015.pdf
- Pauschinger et al. (2018), Design Aspects for Large-Scale Aquifer and Pit Thermal Energy Storage for District Heating and Cooling - https://www.iea-dhc.org/fileadmin/documents/Annex_XII/IEA_DHC_AXII_Design_Aspects_for_Large_Scale_ATES_PTES_draft.pdf [04.02.2019]
- Persson, U., Möller, B., Werner, S., (2014) Heat Roadmap Europe: Identifying strategic heat synergy regions. *Energy Policy* 74, 663-681.
- Persson, U., (2015) Quantifying the Excess Heat Available for District Heating in Europe - <http://stratego-project.eu/wp-content/uploads/2014/09/STRATEGO-WP2-Background-Report-7-Potenital-for-Excess-Heat.pdf> [22.01.2019]
- prEN 13941, 09/2016: Fernwärmerohre - Auslegung und Installation von gedämmten Einzel- und Doppelrohr-Verbundsystemen für direkt erdverlegte Heißwasser-Fernwärmenetze. DIN EN 13941. Online verfügbar unter <https://www.beuth.de/de/impressum>.
- REN 21 (2018) Renewables 2018 Global Status Report. - <http://www.ren21.net/gsr-2018/> [20.03.2018]
- Roth, Tobias (2018): Best Practice Analysis for the Improvement of District Heating. Bachelor Thesis. Hochschule Rhein-Main, Rüsselsheim.
- Rutz, D., Doczekal C., Zweiler R., Hofmeister M., Laurberg Jensen L. (2017) Small Modular Renewable Heating and Cooling Grids - A Handbook. - ISBN 978-3-936338-40-9; WIP Renewable Energies, Munich, Germany, 110p. www.coolheating.eu
- Rutz D. (ed.); Dimitriou I., Rutz D. (2015) Sustainable Short Rotation Coppice, A Handbook. - WIP Renewable Energies, Munich, Germany; ISBN 978-3-936338-36-2; www.srcplus.eu
- Sandrock, Maaß, Weisleder, Westholm, Schulz, Löschan, Baisch, Kreuter, Reyer, Mangold, Riegger, Köhler (2019): Kommunalen Klimaschutz durch Verbesserung der Effizienz in der Fernwärmeversorgung mittels Nutzung von Niedertemperaturwärmequellen am Beispiel tiefeingeothermischer Ressourcen. Geplante Veröffentlichung: 2019
- Sauerwein, S.T. (2013a). Einleitung: Der Rainflow Algorithmus. Retrieved from <http://lastgang.agfw.org/anleitung.php#einleitung>
- Sauerwein, Sebastian Thi (2013b): Untersuchung zu Methoden der technischen Zustandsanalyse von Fernwärmenetzen auf Basis von Ganglinien. Diplomarbeit. Technische Hochschule Mittelhessen - THM, Gießen. Fachbereich für Maschinenbau und Energietechnik. Online verfügbar unter http://lastgang.agfw.org/Untersuchung_zu_Methoden_der_technischen_Zustandsanalyse_von_Fernwaermenetzen_auf_Basis_von_Ganglinien.pdf [02.01.2019]
- SDH (2012) Solar district heating guidelines - Collection of fact sheets; WP3 – D3.1 & D3.2 https://www.solar-district-heating.eu/wp-content/uploads/2018/06/SDH-Guidelines_update_09.2017.pdf
- Siemens Building technologies (2002) District Heating Training Course. Chapter 4. Mikkeli Polytechnic
- Sunko R., Sunko B., Rutz D., Mergner R., Doczekal C., Pukšec T., Laurberg Jensen L., Redžić E., Gjorgievsk V., Batas Bjelic I. (2017) Guidelines on improved business models and financing schemes of small renewable heating and cooling grids. - https://www.coolheating.eu/images/downloads/CoolHeating_D5.1_Guideline.pdf [16.01.2019]
- Töpfer, Armin (2006): Betriebswirtschaftslehre. Anwendungs- und prozessorientierte Grundlagen. 2. Aufl.: Springer
- Upgrade DH (2018a): Upgrading the performance of district heating networks. Best practice examples on upgrading projects. Hg. v. AGFW - Projektgesellschaft für Rationalisierung, Information und Standardisierung. www.upgrade-dh.eu.

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

