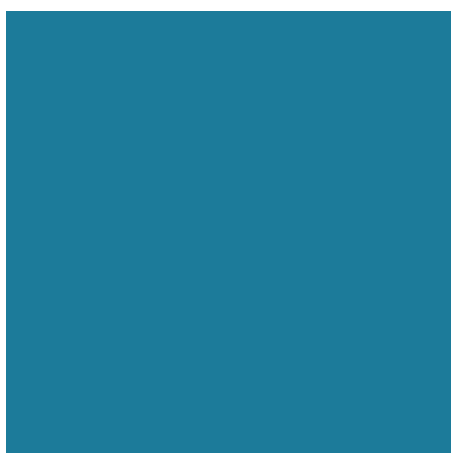
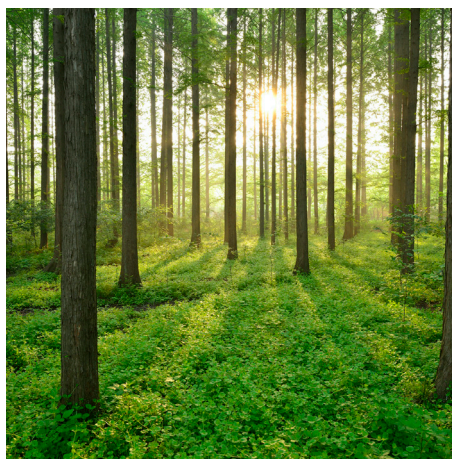


# 70 NYA MÖJLIGHETER FÖR FJÄRRVÄRME

RAPPORT 2024:1039



# 70 nya möjligheter för fjärrvärme

HENRIK GADD, MOHAMMAD SAEID ATABAKI, MEI GONG  
ERIK MÖLLERSTRÖM, HEIDI NORRSTRÖM, FREDRIC OTTERMO  
URBAN PERSSON, LUIS SÁNCHEZ GARCIA, SVEN WERNER

ISBN 978-91-89919-39-6 | © Energiforsk augusti 2024

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

## Förord

**Den svenska fjärrvärmens var tidig med att ersätta fossila bränslen med andra råvarubaser, men med bibehållen teknik. Även omvärldens fjärrvärme har nu påbörjat en utfasning av fossila bränslen till följd av den internationella klimatpolitiken, och då omvärlden inte har samma möjliga råvarubas som Sverige har en snabb utveckling startat mot ny fjärrvärmeteknik. Detta projekt syftar till att sammanställa det senaste teknikläget inom fjärrvärme- och fjärrkylasektorn. Rapporten kan användas som stöd i form av en idébank för såväl tekniska som strategiska vägval.**

Projektet har letts och genomförts av Henrik Gadd från Högskolan i Halmstad tillsammans med Mohammad Saeid Atabaki, Mei Gong, Erik Möllerström, Heidi Norrström, Fredric Ottermo, Urban Persson, Luis Sanchez Garcia och Sven Werner.

En referensgrupp bestående av Dado Hadziomerovic, Vattenfall (sammankallande); Einar Port, Mälarenergi; Anders Einarsen, Mälarenergi; Johan Andersson, Mälarenergi; Anders Gunnarsson, Borås Energi och Miljö; Niklas Olsson, Tekniska verken i Linköping; Jessica Englund, E.ON Energiinfrastruktur; Magnus Revland, Finspångs tekniska verk; Cecilia Bergquist, Halmstad Energi och Miljö och Martin Marklund, Södertörns fjärrvärme har följt och kvalitetssäkrat projektet.

Projektet ingår i programmet Futureheat vars långsiktiga mål är att bidra till visionen om ett hållbart uppvärmningssystem med framgångsrika företag som utnyttjar nya tekniska möjligheter och där de samhällsinvesteringar som gjorts i fjärrvärme- och fjärrkyla tas till vara på bästa sätt. Detta projekt ingår i programmets tredje etapp.

Programmets leds av en styrgrupp bestående av Cecilia Bergquist, Halmstad Energi och Miljö (ordförande); Erik Axelsson, Göteborg Energi; Stefan Hjærtstam, Borås Energi och Miljö; Peter Mattsson, Södertörns Fjärrvärme; Svante Carlsson, Skellefteå Kraft; Stina Berg, Tekniska Verken i Linköping; Dado Hadziomerovic, Vattenfall; Fabian Levihn, Stockholm Exergi; Lisa Granström, Mälarenergi; Magnus Ohlsson, Öresundskraft; Magnus Revland, Finspångs Tekniska Verk; Harald Andersson, E.ON Energiinfrastruktur; Johan Thelander, Karlstads Energi; Ulf Lindqvist, Jämtkraft; Patrik Grönbeck, Norrenergi.

Författarna ansvarar för rapportens innehåll.

*Carolina Holmberg, programansvarig Futureheat*

## Sammanfattning

**Den pågående omvandlingen av europeiska fjärrvärmesystem från användning av fossilbaserad teknik till icke-fossil värmeförsörjning sammanfattas med en utvald samling av 70 möjligheter kopplade till fossilfrihet. Dessa möjligheter exemplifieras med 284 genomförda, planerade eller föreslagna fall. De 70 möjligheterna för koldioxidfri fjärrvärme omfattar att använda värme, ansluta kunder, flytta värme, lagra värme, avskilja koldioxid och tillföra värme tillsammans med några aspekter för hela värdekedjan till värmeanvändning från värmeåtervinning eller värmegenerering. Uppsättningen av 70 möjligheter är varken komplett eller innehåller några rekommendationer för vilka möjligheter som bör användas.**

Syftet med detta projekt har varit att tillhandahålla en omfattande inventering av tidiga aktiviteter för att erhålla fossilfri fjärrvärme som nyligen utförts av fjärrvärmeföretag eller andra värmeaktörer. Dessa aktiviteter omfattar både direkt substitution av värme som tidigare erhöles från förbränning av fossila bränslen och stödjande indirekta åtgärder för att erhålla mer effektiva fjärrvärmesystem. Dessa stödjande åtgärder minskar kostnaderna eller ökar intäkterna som förbättrar fjärrvärmens konkurrenskraft. Tidshorisonten har varit 2030, kopplat till EU:s mål för minskning av växthusgasutsläppen med 55 % jämfört med 1990 års utsläpp. Denna inventering av tidiga projekt för fossilfri fjärrvärme har givit följande tre viktiga slutsatser.

**För det första**, aktiviteter för **fossilfri fjärrvärme** kan delas in i ersättande och stödjande möjligheter. **Ersättande möjligheter** i värmeförsörjningen inkluderar linjär försörjning från förnybar energi, värmeåtervinning från processer som genererar restvärme och icke-fossila sätt att möta spetsbehov under mycket kalla dagar. Den linjära värmeförsörjningen baseras på geotermisk värme, solvärme och eltillförsel. Nya aktiviteter för värmeåtervinning är möjliga från många olika samhällsprocesser, såsom bioraffinaderier, vätgasförsörjning, petrokemiska anläggningar, eldistribution, fjärrkyla, datacenter, batterifabriker, livsmedelsförsörjning och avloppsvatten. Värmelager kan göra värmeleveransen mer oberoende av värmertilförseln, vilket också ger ytterligare möjligheter att minska spetsbelastningar. **Stödjande möjligheter** innehåller främst aktiviteter för att erhålla lägre temperaturer i värmedistributionsnät, vilket ökar lönsamheten vid användning av lågtempererade värmekällor. Dessa aktiviteter utförs när man använder värme, ansluter kunder och flyttar värme. En planerad stödaktivitet är också avskiljning av biogen koldioxid från det naturliga kolkretsloppet, även om ett lämpligt internationellt ersättningsystem för detta fortfarande saknas.

**För det andra**, karaktären hos **möjligheterna till fossilfritt** skiljer sig från de traditionella erfarenheterna baserade på fossila bränslen. Tillgången på möjligheter till fossilfritt beror på lokala förhållanden, medan fossila bränslen transporterades från tillgängliga globala resurser, vilket gav full frihet att använda fossila bränslen var som helst i världen. Härigenom kommer fossilfria fjärrvärmesystem inte bli så



likartade som traditionella fjärrvärmesystem var med fossila bränslen. De lokala förutsättningarna för fossilfri fjärrvärme ger något lägre frihetsgrader för implementering av ersättande möjligheter i befintliga byggnader eller system. Därför är det viktigt för framtiden att utnyttja den högre frihetsgrad som är möjlig i nya byggnader och system genom att använda nya metoder mm.

**För det tredje, de gemensamma nämnarna** för de 70 identifierade möjligheterna är antal frihetsgrader för fossilfrihet, handlingsplaner för att erhålla lägre temperaturer i värmedistributionsnät, olika sätt att använda värmepumpar för att uppgradera låga framtemperaturer för att tillgodose högre temperaturbehov hos kunderna, möjliga smarta digitaliseringsalternativ, tydliga leveransansvar, gynnsamma institutionella ramar samt digitala planeringsverktyg. Dessa sju gemensamma nämnare är effektiva verktyg för att få mer effektiva fossilfria fjärrvärmesystem, eftersom den traditionella fjärrvärmetekniken en gång i tiden utformades för system baserade på användning av fossila bränslen.

## Betydelsefulla fall i denna rapport

1. **Använda Värme:** 8 miljoner kg tomater per år från restvärme i Frövi, fall 2.4.3.
2. **Använda Värme:** Ånga från restvärme i Mölndal, fall 2.5.1.
3. **Ansluta kunder:** Lägenhetscentraler i Frankfurt, fall 3.1.1.
4. **Flytta värme:** Flera olika framtemperaturer i Chevilly-Larue, fall 4.3.1.
5. **Lagra värme:** Värmelager i bergrum på en miljon m<sup>3</sup> i Vanda, fall 5.6.8.
6. **Avskilja koldioxid:** Avfallsförbränning i Oslo, fall 6.2.4.
7. **Förnybar linjär tillförsel:** 400 MW geotermi för München, fall 7.2.2.
8. **Förnybar linjär tillförsel:** 64 MW Eavor-loop i Geretsried, fall 7.2.12.
9. **Förnybar linjär tillförsel:** 110 MW solfjärrvärme i Silkeborg, fall 7.6.7.
10. **Förnybar linjär tillförsel:** 500 MW med havsvärme och värmepump i Helsingfors, fall 7.8.4.
11. **Värmeåtervinning:** Värme från elektrolysör på 20 MW i Hofors, fall 8.2.1.
12. **Värmeåtervinning:** Kombinerad värmning och kylning med kall fjärrvärme i Zürich, fall 8.8.1.
13. **Värmeåtervinning:** Värme utan värmepump från vattenkylt datacenter i Ålborg, fall 8.10.1.
14. **Värdekedjan:** 17 olika sätt att använda värmepumpar i fjärrvärmesystem, fall 10.3.1.

## Sökord

Fossilfritt, möjligheter, fall, fjärrvärme, omvandling, Europa

## Summary

**The ongoing transformation in European district heating systems from the usage of fossil-based technologies to non-fossil heat supplies is summarised by a collection of 70 possibilities linked to decarbonisation. These possibilities are exemplified by 284 implemented, planned, or proposed cases. The 70 possibilities for decarbonised district heating include using heat, connecting customers, moving heat, storing heat, removing carbon dioxide, and supplying heat together with some features for the entire value chain, to heat usage from heat generation or recycling. This collection of 70 possibilities is neither complete nor does it contain any recommendations for the possibilities or advocate for specific possibilities.**

The purpose of this project was to provide an extensive inventory of decarbonisation activities recently performed by district heating operators and other heat suppliers. These decarbonisation activities include the direct substitution of heat obtained from the combustion of fossil fuels and indirect supporting actions for obtaining more efficient district heating systems. These indirect actions reduce costs and increase revenue, thereby improving the competitiveness of district heating. The time horizon is 2030, which is linked to the EU target for the reduction of greenhouse gas emissions by 55% compared to 1990. This inventory of early decarbonisation projects concerning district heating systems has revealed the following three key conclusions.

**First, decarbonisation activities** can be divided into substituting possibilities and supporting possibilities. **Substituting possibilities** in heat supply include linear supply from renewables, heat recycling from processes that generate excess heat, and non-fossil ways of meeting peak heat demands during very cold days. The linear heat supply is based on geothermal heat, solar heat, and electricity supply. Heat recycling is possible from various processes related to biorefineries, hydrogen supply, petrochemical plants, electricity distribution, district cooling, data centres, battery factories, food supply chains, and sewage waters. Heat storage can make heat delivery more independent of heat supply and provide additional opportunities to reduce peak loads. **Supporting possibilities** mainly comprise activities for obtaining lower temperatures in heat distribution networks to increase profitability when using low-temperature heat sources. These activities are performed when using heat, connecting customers, and moving heat. Another supporting activity is the removal of biogenic carbon dioxide from the natural carbon cycle, although an appropriate international accounting system for its removal is still missing.

**Second, the decarbonisation possibilities** of district heating systems differ from those of traditional systems based on fossil fuels. The availability of decarbonisation possibilities for district heating depends on local conditions, whereas fossil fuels are transported from available global resources and are used worldwide. Hereby, decarbonised district heating systems will not be as uniform

as traditional systems based on fossil fuels. The local conditions lower the degrees of freedom for the implementation of substituting possibilities in existing buildings and systems. Hence, it is important to adopt new methods for utilising the highest degree of freedom possible in new buildings and systems.

**Third, the common denominators** for the 70 identified possibilities are both more and less degrees of freedom, action plans for achieving lower heat distribution temperatures, the use of heat pumps for upgrading low-temperature supplies to meet high-temperature demands, smart digitalisation options, clear supply responsibilities, more favourable institutional frameworks, and digital planning models. These seven common denominators are efficient tools for obtaining decarbonised and more efficient district heating systems in the future. These redesigned and new systems will be somewhat different than traditional systems, which have been based on a district heating technology that was originally elaborated for systems based on fossil fuels.

## Highlight cases identified in this report

1. **Using heat:** 8 million kg tomatoes per year from excess heat in Frövi, case 2.4.3.
2. **Using heat:** Steam from excess heat in Mölndal, case 2.5.1.
3. **Connecting customers:** Flat substations in Frankfurt, case 3.1.1.
4. **Moving heat:** Multiple supply temperatures in Chevilly-Larue, case 4.3.1.
5. **Storing heat:** Rock caverns of one million m<sup>3</sup> in Vantaa, case 5.6.8.
6. **Removing carbon dioxide:** Waste incineration in Oslo, case 6.2.4.
7. **Linear renewable supply:** 400 MW Geothermal for Munich, case 7.2.2.
8. **Linear renewable supply:** 64 MW Eavor loop in Geretsried, case 7.2.12.
9. **Linear renewable supply:** 110 MW solar heat in Silkeborg, case 7.6.7.
10. **Linear renewable supply:** 500 MW with sea water and heat pumps in Helsinki, case 7.8.4.
11. **Heat recycling:** Excess heat from 20 MW electrolyser in Hofors, case 8.2.1.
12. **Heat recycling:** Combined heating and cooling in cold network in Zurich, case 8.8.1.
13. **Heat recycling:** Excess heat without heat pump from data centre in Aalborg, case 8.10.1.
14. **Value chain:** 17 ways of using heat pumps in district heating systems, case 10.3.1.

## Keywords

Decarbonisation, possibilities, cases, district heating, transformation, Europe

## Definitioner, förklaringar och vokabulär

Cirkulationsflöde	Flöde som används för att upprätta en lämplig framtemperatur till en fjärrvärmecentral när inget värmebehov föreligger i fjärrvärmecentralen eller för att varmhålla en oanvänd fjärrvärmeledning (bypass- eller kortslutningsflöde är synonymer till cirkulationsflöde).
DHC+	Den europeiska forskningsplattformen för fjärrvärme och fjärrkyla, som drivs av EHP sedan 2009.
Distributionsförlust	Förlorad värme från ett fjärrvärmenät, definierat som skillnaden mellan värmeförlusten och alla värmeleveranser till kunderna.
Dubbelriktad anslutning	Anslutning av en kunds byggnad som möjliggör både värmeleverans till och värmeförlust från en kund genom en kombination av en fram-till-returanslutning och retur-till-framanslutning.
EHP	Euroheat & Power, den europeiska föreningen för fjärrvärme och fjärrkyla, som har sitt säte i Bryssel och som grundades i Paris den 19 maj 1954.
EU	Europeiska unionen.
Fjärrvärmecentral	Installerad enhet som överför och mäter en värmeleverans från ett distributionsnät till en kund, samt även en värmeförlust i andra riktningen om kunden är en prosumer med en dubbelriktad anslutning.
Flernivåkonfiguration	Nätkonfiguration som kan leverera mer än en framtemperatur.
Fram-till-framanslutning	Anslutning av en fjärrvärmecentral som antingen tar ut värme från eller tillför värme till enbart en framledning.
Fram-till-returanslutning	Traditionell anslutning av en fjärrvärmecentral för värmeleverans till en kund som önskar ta ut värme från ett fjärrvärmenät.
Heat Roadmap Europe	Klusterprojekt sedan 2012 för utvärdering av den framtida värmemarknaden i Europa, initierat av forskare vid Ålborgs universitet och Högskolan i Halmstad.
HRE	Heat Roadmap Europe.
Hög framtemperatur	Framtemperatur över ungefär 100°C.
Högtempererad fjärrvärme	Fjärrvärme som använder höga framtemperaturer.
IEA	International Energy Agency, som har sitt säte i Paris och som grundades 1974 inom ramen för OECD.
IEA-DHC	Gruppen för teknologisamarbete om fjärrvärme och fjärrkyla inom IEA:s program för internationella samarbeten om energiteknologier.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, som har sitt säte i Schweiz och som grundades 1988.
Kall fjärrvärme	Fjärrvärme som baseras på värmedistribution i ett kallt nät.
Kallt nät	Värmedistributionsnät som i allmänhet behöver kompletterande värmeförlust i kundernas fjärrvärmecentraler då ultralåga framtemperaturer används.
Klassisk konfiguration	En traditionell nätkonfiguration som använder en framledning och en returledning där leveransflöde och cirkulationsflöde blandas in i returledningen.
Kombinerad värmning och kylning	Synergi som utnyttjar restvärme från en kylprocess för värmeändamål.
Kostnadsreduktionsgradient	Nyckeltal för fjärrvärmesystem som uttrycker reduktionen i tillförelskostnader när lägre distributionskostnader tillämpas, uttrycks som årlig kostnadsreduktion per levererad värme och per reducerad temperaturnivå.
Kraftvärme	Synergi som utnyttjar restvärme för värmeändamål från en termisk kraftprocess.
KRG	Kostnadsreduktionsgradient.
KVK	Kombinerad värmning och kylning.
KVK-konfiguration	Nätkonfiguration som är baserad på kombinerad värmning och kylning.
Leveransflöde	Vattenflöde som passerar igenom och mäts i en fjärrvärmecentral.
LTFV	Lågtempererad fjärrvärme.
LULUCF	Engelsk förkortning av Land Use, Land Use Changes and Forestry, en av de fem korgar som används enligt IPCC:s riktlinjer för redovisning av utsläpp av växthusgaser.
Låg framtemperatur	Framtemperatur under ungefär 70°C.
Lågtempererad fjärrvärme	Fjärrvärme som använder låga framtemperaturer.
Medelhög framtemperatur	Framtemperatur mellan ungefär 70°C and 100°C.
Medeltempererad fjärrvärme	Fjärrvärme som använder medelhöga framtemperaturer.

Modifierad klassisk konfiguration	Modifiering av den klassiska konfigurationen genom en introduktion av en tredje ledning som är designad att ta hand om cirkulationsflödet.
Nätkonfiguration	Allmän term för val av att organisera och driva ett värmedistributionsnät.
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development, med säte i Paris.
Prosument	Kund som även kan tillföra värme till ett fjärrvärmenät.
Retur-till-fram-anslutning	Anslutning av fjärrvärmecentral som tillför värme till ett flöde från returledningen och levererar det till framledningen.
Retur-till-retur-anslutning	Anslutning av fjärrvärmecentral som antingen tar ut värme från eller tillför värme till enbart en returledning.
Totalt flöde	Summan av leveransflöde och cirkulationsflöde.
Ultralåg framtemperatur	Framtemperatur under ungefär 50°C.
Ultralåg konfiguration	Nätkonfiguration som använder ultralåga framtemperaturer.
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change, antagen 1992 i Rio de Janeiro.
Varm fjärrvärme	Fjärrvärme som baseras på värmedistribution i ett varmt nät.
Varmt nät	Värmedistributionsnät utan kompletterande värmeförsel i kundernas fjärrvärmecentraler, förutom för kunder med ovanligt höga temperaturkrav.
Värmefaktor	Nyckeltal för värmepumpar, definierat som kvoten mellan utgående värmeleverans och inkommande el- eller värmeförsel.
Värmeleverans	Värme levererad till kunder från ett fjärrvärmenät
Värmeförsel	Värme tillfört till ett fjärrvärmenät.
Värmeåtervinning	Allmän term för återvunnen värme för ytterligare användning innan värmen slutligen tillförs till omgivningen.



# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>12</b>
1.1	Syfte och inriktning för detta projekt	12
1.2	Nuvarande situation	12
1.3	Organisation av detta projekt	16
1.4	Definitioner av de 70 möjligheterna	18
1.5	Översikt för möjligheter och fall	26
1.6	Tillkännagivanden	28
<b>2</b>	<b>Använda värme</b>	<b>29</b>
2.1	Identifiering av kunders värmelastvariationer	29
2.2	Identifiering av avvikelser i kunders värmeanvändning	30
2.3	Biogas från fjärrvärme	31
2.4	Livsmedelsförsörjning	31
2.5	Ånga från fjärrvärme	34
2.6	Temperaturhöjning	35
2.7	Identifiering av kunders temperaturbehov	35
2.8	Identifiering av radiatorsystems termiska längder	37
2.9	Summering av 8 möjligheter om att använda värme	40
<b>3</b>	<b>Ansluta kunder</b>	<b>41</b>
3.1	Lägenhetscentraler	42
3.2	Lokal reduktion av returtemperatur	43
3.3	Standardisering av fel i fjärrvärmecentraler	43
3.4	Övervakning av fjärrvärmecentraler	45
3.5	Identifiering av fel i fjärrvärmecentraler	46
3.6	Identifiering av värmeväxlares termiska längder	47
3.7	Summering av 6 möjligheter om att ansluta kunder	48
<b>4</b>	<b>Flytta värme</b>	<b>49</b>
4.1	Klassisk konfiguration	50
4.2	Modifierad klassisk konfiguration	52
4.3	Flernivåkonfiguration	53
4.4	Ultralåg konfiguration	55
4.5	Kall KVK-konfiguration	56
4.6	Varm KVK-konfiguration	57
4.7	Plaströr	59
4.8	Decentraliserad inmatning	60
4.9	Identifiering av cirkulationsflöden	61
4.10	Central reduktion av returtemperatur	63
4.11	Kontinuerlig syremätning och syreavskiljning	64
4.12	Kontinuerlig korrosionsmätning	65
4.13	Summering av 12 möjligheter om att flytta värme	66
<b>5</b>	<b>Lagra värme</b>	<b>67</b>
5.1	Akviferlager	68
5.2	Borrhålslager	69
5.3	Gruvlager	72
5.4	Tanklager	73
5.5	Groplager	74
5.6	Bergumslager	76
5.7	Fjärrvärmeledningar som värmelager	80
5.8	Byggnader som värmelager	80
5.9	Andra värmelager	81

5.10	Summering av 9 möjligheter om att lagra värme	82
<b>6</b>	<b>Avskilja koldioxid</b>	<b>84</b>
6.1	Koldioxidavskiljning från biomassa	85
6.2	Koldioxidavskiljning från avfallsförbränning	88
6.3	Plaståtervinning före avfallsförbränning	90
6.4	Summering av 3 möjligheter om att avskilja koldioxid	91
<b>7</b>	<b>Värmetillförsel med linjär försörjning</b>	<b>92</b>
7.1	Geotermi från vulkaniska zoner	93
7.2	Geotermi från akviferer	95
7.3	Geotermi från kristallina berggrunder	102
7.4	Geotermi från övergivna gruvor	106
7.5	Geotermi från grunda borrhål	108
7.6	Solfjärrvärme	110
7.7	Elpannor	118
7.8	Vattenbaserad omgivningsvärme	121
7.9	Luftbaserad omgivningsvärme	124
7.10	Summering av 9 möjligheter om linjär värmeförsörjning	124
<b>8</b>	<b>Värmetillförsel med värmeåtervinning</b>	<b>126</b>
8.1	Bioraffinaderier	127
8.2	Vätgasförsörjning – restvärme	132
8.3	Vätgasförsörjning – kraftvärme	136
8.4	Petrokemiska anläggningar	140
8.5	Elektriska transformatorer	141
8.6	Nya industriprocesser	142
8.7	KVK – centraliserad fjärrkyla	145
8.8	KVK – decentraliserad fjärrkyla	148
8.9	KVK – luftkylda datacentraler	150
8.10	KVK – vattenkylda datacentraler	154
8.11	KVK – batterifabriker	155
8.12	KVK – livsmedelsförsörjning	157
8.13	Avloppsreningsverk	158
8.14	Summering av 13 möjligheter om värmeåtervinning	161
<b>9</b>	<b>Värmetillförsel för spetsbehov</b>	<b>162</b>
9.1	Pannor med fossilfria bränslen	163
9.2	Stora värmelager	164
9.3	Allokering av värmeunderskott	165
9.4	Summering av 3 möjligheter om spetstillförsel	167
<b>10</b>	<b>Värdekedjans möjligheter</b>	<b>169</b>
10.1	Frihetsgrader för tillgängliga möjligheter	169
10.2	Temperaturnivåer tillämpade i distributionsnät	173
10.3	Värmepumpar som verktyg i fjärrvärmesystem	177
10.4	Digitalisering som verktyg för identifiering av avvikelser	179
10.5	Leveransansvar	183
10.6	Institutionella ramverk	184
10.7	Digitala planeringsmodeller	193
10.8	Summering av 7 möjligheter i värdekedjan	195
<b>11</b>	<b>Aggregerade slutsatser</b>	<b>197</b>
<b>12</b>	<b>Referenser</b>	<b>198</b>
<b>13</b>	<b>Platsindex</b>	<b>217</b>

# 1 Inledning

## 1.1 SYFTE OCH INRIKTNING FÖR DETTA PROJEKT

Syftet med detta projekt har varit att ge en omfattande översikt över genomförda, planerade och föreslagna aktiviteter för fossilfri fjärrvärme som tidigt har utförts av fjärrvärmeoperatörer eller andra värmeleverantörer. Dessa aktiviteter omfattar både direkt substitution av värme från förbränning av fossila bränslen och indirekta åtgärder för att erhålla mer effektiva fjärrvärmesystem. Dessa indirekta åtgärder minskar kostnaderna eller ökar intäkterna som förbättrar fjärrvärmens konkurrenskraft.

Vårt tillvägagångssätt har varit att fokusera på verkliga möjligheter som har introducerats eller är nära att bli introducerade i de europeiska fjärrvärmesystemen. I stället för att samla och bedöma alla intressanta potentiella möjligheter fokuserar vi bara på erfarenheter från tidiga användare där företag redan tagit den initiala risken att använda en ny okonventionell teknologi eller metod. Den vetenskapliga litteraturen om fjärrvärme innehåller många potentiella möjligheter, men dessa grundläggande förslag måste bedömas både funktionellt och ekonomiskt innan verkliga installationer utförs i befintliga eller nya fjärrvärmesystem. I vår vokabulär blir en potentiell möjlighet en verklig möjlighet när ett företag har bestämt sig för att utnyttja en möjlighet genom ett investeringsbeslut eller allvarligt överväger ett investeringsförslag. Dessa identifierade möjligheter bör vara ryggraden för att inom fjärrvärmesystem uppnå EU:s nuvarande mål för 2030 att uppnå en minskning av koldioxidutsläppen med 55 % jämfört med 1990 års utsläpp.

För att bevisa att dessa reella möjligheter verkligen finns, presenteras kortfattat fall av genomförda, planerade och föreslagna möjligheter i samband med varje presentation av en möjlighet. På grund av begränsat utrymme i denna rapport är dessa fallbeskrivningar korta och utelämnar grundläggande detaljer. I stället tillhandahåller vi relevanta litteraturreferenser och internetlänkar att utforska för nyfikna läsare. Referenser används för dokumenterade forskningsresultat, medan länkar refererar till pressmeddelanden, pågående projekt och företagsinformation.

Därför är de två följande definitionerna avgörande för denna forskningsrapport:

- **Möjligheter** till fossilfri fjärrvärme har genomförts, planerats eller föreslagits, antingen inom eller utom dagens fjärrvärmeföretag.
- **Fall** presenteras som bevis för att dessa möjligheter kan genomföras inom fjärrvärmesystem.

Sammanhanget för de identifierade möjligheterna och fallen i denna rapport utvecklas vidare i avsnitt 1.3.

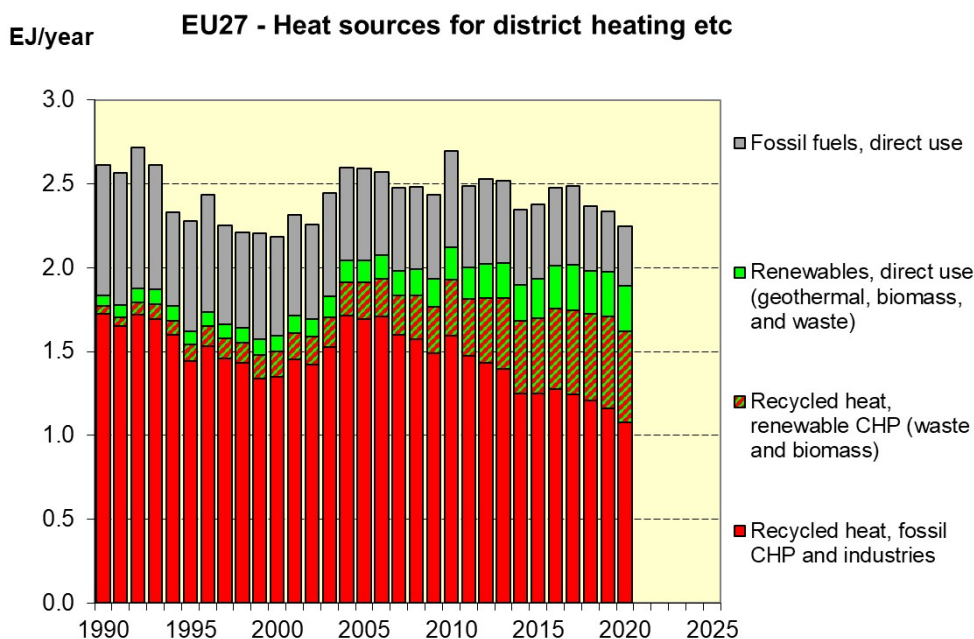
## 1.2 NUVARANDE SITUATION

Globalt sett domineras nuvarande fjärrvärmesystem fortfarande av kraftvärmesynergien och viss värmeåtervinning från avfallsförbränning, enligt (Gadd, 2012, Werner, 2017). Kraftvärmesynergien var den främsta drivkraften för

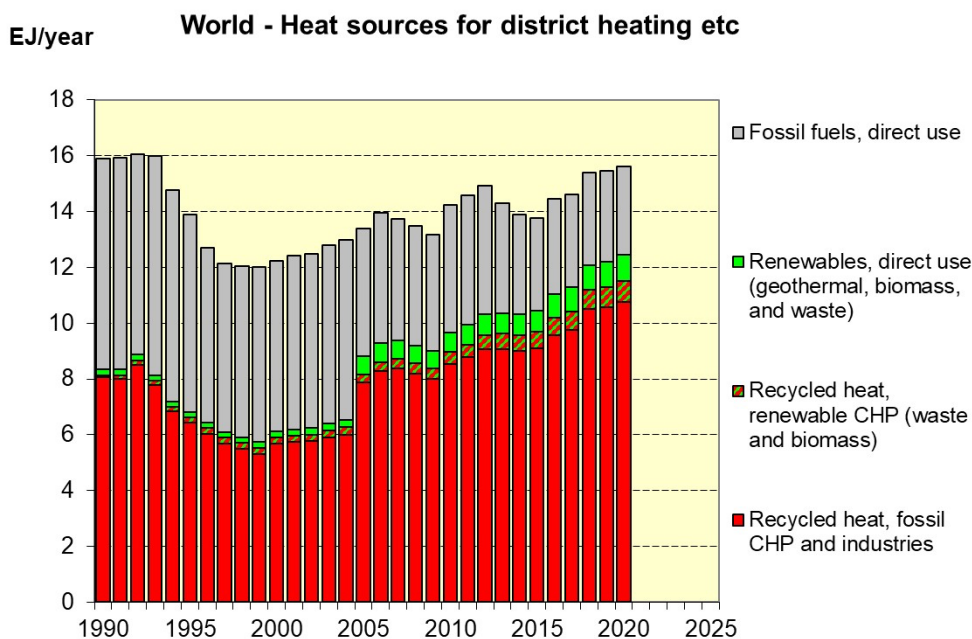
fjärrvärme inom fossilbränslesamhället. Denna synergi gav stora volymer värme, eftersom värmekraftverk skapar enorma värmeförluster vid elproduktion. De grundläggande förutsättningarna för distribution och leverans av värme i traditionella fjärrvärmesystem baserades också på temperaturer som erhöles från förbränning av bränslen.

Utvecklingen av värmeförseln till fjärrvärmesystemen under de senaste tre decennierna presenteras i Figur 1 för nuvarande EU27 och globalt i Figur 2. Dessa två diagram visar att processen för fossilfri fjärrvärme inom den internationella fjärrvärmesektorn har varit mycket långsam, särskilt globalt.

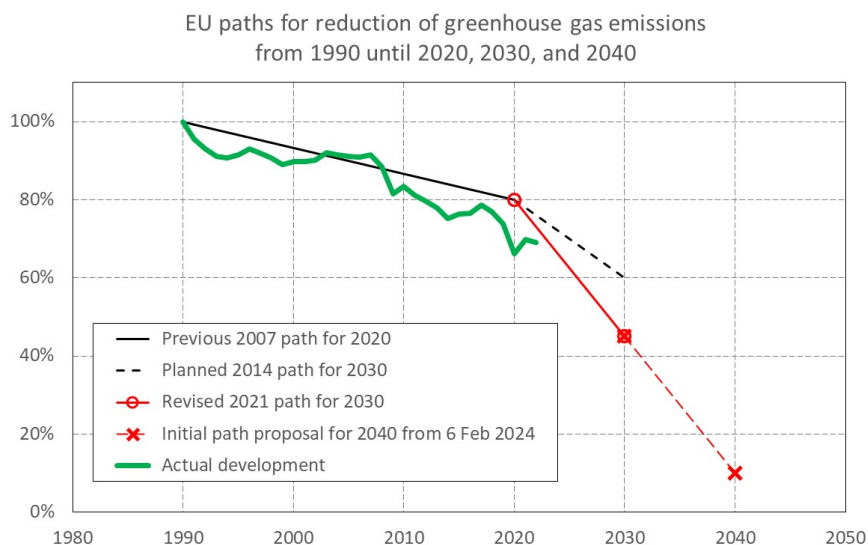
Även om klimatfrågan har varit i den globala allmänhetens medvetenhet sedan 1980-talet, har väldigt få länder verkligen implementerat starka politiska incitament för minskningar av fossila koldioxidutsläpp. Den allmänna politiska inställningen har i stället varit att skjuta upp avvecklingen av fossila bränslen inom energisystemet genom att bara föreslå långsiktiga reduktionsambitioner för 2050, snarare än att lansera kortsiktiga ambitioner för 2010, 2020 eller 2030. Därför har det globala samfundet redan förlorat den initiala möjligheten att utföra utsläppsreduktioner av energisystemet på ett smidigt och lugnt sätt under en längre tidsperiod.



Figur 1. Tillförd värme till alla fjärrvärmesystem i nuvarande EU27 mellan 1990 och 2020 enligt fyra olika tillförselmetoder. Datakälla: IEA:s globala energibalanser.



**Figur 2.** Tillförd värme till alla fjärrvärmesystem i världen mellan 1990 och 2020 enligt fyra olika tillförelsmetoder. Datakälla: IEA:s globala energibalanser.



**Figur 3.** Fem olika reduktionssteg för lägre utsläpp av växthusgaser inom EU27 sedan 1990.

I Europa har övergången till fossilfri fjärrvärme nu verkligen börjat. Den främsta drivkraften inom Europeiska unionen blev det reviderade målet 2021 för koldioxidreduktionen till 2030, se Figur 3. Jämfört med den ursprungliga planen från 2014 för 2030 med en minskning på 40 % jämfört med 1990, blev det nya reduktionsmålet 55 %. Konsekvensen från 2021 års revidering blev att den efterfrågade reduktionstakten under 2020-talet ökade med en faktor 1,75. Jämfört med den tidigare 2020-planen från 2007 har det årliga reduktionsmålet för 2020-talets decennium ökat med en faktor 5,25. Därför kommer de europeiska



fjärrvärmesystemen att förlora sin största värmekälla när fossila kraftvärmeverk läggs ner. Några av dem har redan stängts, som illustreras i Figur 1.

Alla energisektorer som använder fossila bränslen inom EU måste nu agera mycket snabbare fram till 2030 när det gäller koldioxidreduktioner. Denna snabba förändring av EU:s klimatambitioner (slutligen beslutad i juni 2021) har skapat en lavin av beslut om lägre koldioxidutsläpp i EU, även inom fjärrvärmesektorn. Vi kommer att se företag konkurrera om olika tekniker för lägre koldioxidutsläpp. Visst kaos kan förväntas i denna starka konkurrens, eftersom det bara är sex år kvar till 2030. Detta är trängselkostnaden för att EU inte har krävt mer kraftfulla koldioxidreduktioner i Europa under tidigare decennier.

Det nuvarande intresset, drivkraften och det politiska stödet för fjärrvärmes i Europa har aldrig varit så högt sedan den introducerades för mer än ett sekel sedan. Detta är också en situation som gäller för konkurrerande enskilda värmepumpar, även om deras marknadsandel på den europeiska värmemarknaden för närvarande är lägre än för fjärrvärmes.

Det stora europeiska intresset för fjärrvärmes under senare år har också lockat mer ekonomiska resurser till fjärrvärmeforskning. Tillgängliga resurser för EU-projekt om fjärrvärmes är nu nästan hundra gånger högre än för tjugo år sedan. Detta har initierat många innovationer som utmanar den traditionella fjärrvärmetekniken för att tillföra, flytta och leverera värme. Den traditionella tekniken har redan ifrågasatts för nya system, då den ursprungligen utvecklades inom fossilbränslesamhället. Framtida fjärrvärmesystem måste fungera i ett annat sammanhang, eftersom de bör ta hänsyn till helt andra framtida marknadsvillkor, såsom lägre värmebehov och fossilfri värmeförsörjning.

Många omfattande europeiska och ibland globala analysrapporter har skrivits under de senaste åren om fjärrvärmes av forskare, konsulter, branschorganisationer och EU-kommissionen. Några exempel på dessa marknadsrapporter om fjärrvärmes är:

- Nordisk värme- och kylförsörjning, (Patronen et al., 2017).
- Tilia-rapporten om integration av förnyelsebart och restvärme i fjärrvärmesystem, (Galindo Fernández et al., 2021).
- IRENA-rapporten om lågtempererad förnyelsebar värme i fjärrvärmesystem, (Bertelsen et al., 2021)
- Den speciella fjärrvärmerapporten (Volt et al., 2022) inom initiativet Clean Energy Technology Observatory (CETO), (Georgakaki et al., 2022).
- Den omfattande Tilia-översikten av europeiska fjärrvärmemarknader (Bacquet et al., 2022c, Bacquet et al., 2022d, Bacquet et al., 2022a, Bacquet et al., 2022b).
- Den tyska "Potenziale für UrbanTurn", (Hay et al., 2022).
- Översikten från Euroheat & Power om stödåtgärder och EU-projekt om fjärrvärmes och fjärrkyla, (Celsius and Euroheat & Power, 2023).
- Den årliga statusrapporten från Euroheat & Power om Europas fjärrvärmemarknader, (Euroheat & Power, 2023a)

Vissa intressanta projekt för fossilfri fjärrvärmes förekommer också i Nordamerika, medan färre initiativ har tagits i Kina och Ryssland, de två största nationella fjärrvärmesektorerna i världen. Den huvudsakliga slutsatsen från denna

introduktion angående den nuvarande fjärrvärmesituationen är att den Europeiska unionen har blivit det globala kompetenscentret för förändring av fjärrvärmetekniken för att tillföra, flytta och leverera värme.

### 1.3 ORGANISATION AV DETTA PROJEKT

#### 1.3.1 Informationskällor

Nya möjligheter gällande direkta och indirekta aktiviteter för fossilfri fjärrvärme har identifierats genom att kontinuerligt läsa olika nyhetsbrev om fjärrvärme och fjärrkyla under 2022 och 2023:

- Nyhetsbrev från internationella organisationer, såsom International Energy Agency (IEA), International District Energy Association (IDEA), Euroheat & Power (EHP), EHP:s plattform för fjärrvärmeforskning (DHC+), European Council for an Energy Efficient Economy (ECEEE) och European Geothermal Energy Council (EGEC).
- Nyhetsbrev från nationella branschorganisationer, såsom Dansk Fjernvarme i Danmark, Energiföretagen i Sverige och Wärmenetwerk i Nederländerna.
- Internationella branschtidskrifter, såsom District Energy från Nordamerika, de tyska och engelska versionerna av EuroHeat & Power samt HotCool från Danish Board of District Heating (DBDH).
- Nationella branschtidskrifter, såsom Fjernvarmen i Danmark och Energi, Bioenergi, Kyla&Värme och Energi&Miljö i Sverige.

Nyhetsförmedling efter den 31 december 2023 har i stort sett inte beaktats.

#### 1.3.2 Databas för insamling av indata

En databas användes som en mellanliggande indatasamling för att hantera alla indata från de använda informationskällorna. Identifierade möjligheter tillsammans med fall och referenser sammanställdes i databasen innehållande tolv etiketter, såsom:

- Del i fjärrvärmens värdekedja
- Ytterligare nyckelord
- Informationstyp (fall, möjlighet eller referens)
- Fall som presenteras i slutrapporten
- Status för varje fall (genomfört, planerat eller föreslaget)
- Möjlighet
- Organisation som initierat fallet
- Fallets geografiska placering
- Land där fallet hör hemma
- Informationskälla
- Internetlänk till fall och referenser
- Initiativtagare i författargruppen

### 1.3.3 Del av försörjningskedjan som kapitel

Alla möjligheter presenteras i olika kapitel uppdelade enligt de olika aktiviteterna i fjärrvärmens värdekedja till värmeanvändning från värmeåtervinning eller värmegenerering. De valda aktiviteterna är att **använda värme, ansluta kunder, flytta värme, lagra värme, avskilja koldioxid** samt **tillföra värme till distributionsnäten**. Tillförd värme delades in i tre olika grupper genom att erkänna de tre olika funktionerna i värmeförsörjningen: **linjär värmeförsörjning med förnybart, cirkulär värmeförsörjning med värmeåtervinning** samt **spetstillförsel**. Denna gruppering av möjligheter gav totalt åtta kapitel med grundläggande möjlighetsgrupper som definieras och presenteras ytterligare i avsnitt 1.4.

### 1.3.4 Möjligheter som avsnitt i varje kapitel

I varje kapitel presenteras möjligheterna i avsnitt med rubriker på andra nivån. Varje kapitel sammanfattas i en sista rubrik på andra nivån som innehåller viktiga resultat angående konsekvenser, kopplingar till reducerade koldioxidutsläpp och korta värderingar.

För vår heltäckande översikt av möjligheter till fossilfri fjärrvärme har vi tillämpat följande begränsningar:

- En initial begränsning var att vi hade en tröskel på 70 identifierade möjligheter till fossilfri fjärrvärme med avseende på begränsad tid och tillgängliga forskningsmedel för detta projekt.
- En annan begränsning är att vi enbart fokuserar på okonventionella teknologier och metoder. Därför inkluderar vi inte traditionell fjärrvärmeteknik, såsom kraftvärmeverk, biomassaanvändning, avfallsförbränning, prefabricerade fjärrvärmerör eller vanlig uppvärmningsteknik.
- Traditionella fjärrkylesystem beaktas inte, även om fjärrkyla ingår när möjligheter kring kombinerad värmning och kylning (KVK) diskuteras.
- En fjärde begränsning är att vi inte inkluderar mer långsiktiga möjligheter att implementeras efter 2030, eftersom vårt fokus har varit att presentera möjliga implementeringar före 2030.

### 1.3.5 Fall som underavsnitt i varje avsnitt

De angivna fallen presenteras i rubriker på tredje nivån i varje avsnitt om möjligheter. Fallen presenteras efter deras status. Tre etiketter användes för detta ändamål: genomförda, planerade och föreslagna fall. Innebörden av ett genomfört fall är att en reell version av möjligheten fanns när denna rapport skrevs i slutet av 2023, medan ett planerat fall hade ett investeringsbeslut, och ett föreslaget fall väntade på investeringsbeslut eller avvisades genom att aldrig få något investeringsbeslut. Genomförda fall presenteras alltid först, följt av planerade och föreslagna fall. Alla genomförda fall innehåller genomförandeåret i början av varje tredje nivås rubrik. Planerade och föreslagna fall har inte dessa årtal i sina rubriker, eftersom de ännu inte är genomförda. I stället är dessa rubriker markerade med "Planerat" eller "Föreslaget".

När det gäller fall har vi följande två begränsningar:

- En första begränsning är att vi främst har identifierat europeiska fall med tillägg av några få nordamerikanska och kinesiska exempel. Det europeiska sammanhanget är valt för att främja viktig information om intressanta fall för att korsa nationella gränser inom Europa. Svenska fall dominerar dock, eftersom författargruppen är knuten till en svensk högskola och har bättre kännedom om svenska fjärrvärmesystem.
- Presenterade fall är bara exempel för varje möjlighet. En läsare bör inte uppfatta dessa exempel som kompletta listor över genomförda, planerade eller föreslagna fall.

### 1.3.6 Aggregerade resultat

De aggregerade resultaten rörande de övergripande möjligheterna i värdekedjan, såsom **antal frihetsgrader, temperaturnivåer, värmepumpar, digitalisering, leveransansvar, institutionella ramverk** och **digitala planeringsmodeller**, presenteras och diskuteras i det tionde kapitlet som fungerar som det avslutande kapitlet för sammanfattning och diskussion. Sammanfattningen av dessa resultat presenteras i avsnitt 10.8.

### 1.3.7 Aggregerade slutsatser

De viktigaste slutsatserna från denna inventering av tidiga initiativ till fossilfri fjärrvärme kommuniceras i det sista elfte kapitlet. Sammanhanget för våra slutsatser kan sammanfattas med följande tre forskningsfrågor:

- Vilken typ av projekt för fossilfrihet har genomförts, planerats eller föreslagits i fjärrvärmesystem?
- På vilka sätt skiljer sig dessa projekt från traditionell fjärrvärme med värmeförsörjning med ursprung i användning av fossila bränslen?
- Vilka är de gemensamma nämnarna för tidiga projekt för fossilfria fjärrvärmesystem?

Läsaren kan inte förvänta sig att få slutsatser om:

- Aggregerade kvantifieringar av lägre koldioxidutsläpp eller förväntade volymer från de identifierade möjligheterna.
- Framtida utveckling och ekonomiska bedömningar för de identifierade möjligheterna.
- De ursprungliga bedömningarna av de identifierade möjligheterna, eftersom de utfördes av ägarna till de olika fallen. Dessa bedömningar har varit beroende av nationella och lokala förhållanden för varje enskilt fall, och dessa bedömningar varierar från plats till plats.

## 1.4 DEFINITIONER AV DE 70 MÖJLIGHETERNA

En översikt över de 70 möjligheterna som ingår i denna rapport definieras och förklaras kortfattat i de nio följande underavsnitten för varje grupp av möjligheter.

### 1.4.1 Om att använda värme (kapitel 2)

Det andra kapitlet om att använda värme innehåller olika möjligheter som dyker upp i kundernas värmesystem bortom leveransgränserna i fjärrvärmecentralerna.

De åtta möjligheterna att använda värme omfattar olika ytterligare värmeleveranser, värmebehov som har högre temperaturer än vad som normalt levereras i fjärrvärmenät, traditionella temperaturbehov och kundernas förmåga att använda lägre radiatortemperaturer.

Kopplingen till fossilfri värme är att dessa möjligheter kan ersätta nuvarande användning fossila bränslen hos de nya kunderna, skapa mer effektiv användning av levererad värme samt underlätta lägre temperaturer i värmedistributionsnäten.

Avsnitt för möjligheter om att använda värme	Kort beskrivning av varje möjlighet
2.1 Identifiering av kunders värmelastvariationer	Identifiering av kunders värmelaster genom skattning av deras dagliga användningsmönster
2.2 Identifiering av avvikelser i kunders värmeanvändning	Identifiering av avvikelser i kunders värmeanvändning genom identifikation av onormala användningsmönster
2.3 Biogas från fjärrvärme	Värmeleverans till en biogasprocess för att värma denna och undvika att använda egen biogas för detta ändamål, vilket ger en högre utleverans av producerad biogas
2.4 Livsmedelsförsörjning	Värmeleverans till livsmedelsförsörjningen
2.5 Ånga från fjärrvärme	Värmeleverans till en värmepump för ångproduktion
2.6 Temperaturhöjning	Värmeleverans med en högre temperatur erhållen med hjälp av en värmepump
2.7 Identifiering av kunders temperaturbehov	Identifiering av kunders temperaturbehov genom mätning av använda temperaturer
2.8 Identifiering av radiatorsystems termiska längder	Identifiering av status för kunders radiatorsystem genom skattning av den termiska längden för radiatorsystemet

### 1.4.2 Om att ansluta kunder (kapitel 3)

Kapitlet om att ansluta kunder tar upp möjligheter som dyker upp i gränssnittet mellan värmedistributionsnätet och kundens värmesystem. I Sverige kallas detta gränssnitt för en fjärrvärmecentral.

De sex möjligheterna för att ansluta kunder innehåller ett speciellt kundgränssnitt för lägenheter, lokal sänkning av returtemperaturen från en fjärrvärmecentral, klassificering av avvikelser i fjärrvärmecentraler samt identifiering av olika beteenden i fjärrvärmecentraler.

Den huvudsakliga kopplingen till lägre koldioxidutsläpp är att dessa möjligheter kan skapa mer effektiv användning av värme, såsom användning av lägre temperaturer i kundernas värmesystem.



Avsnitt för möjligheter om att ansluta kunder	Kort beskrivning av varje möjlighet
3.1 Lägenhetscentraler	Förändrat kundgränssnitt i nya flerbostadshus genom värmeleverans till varje lägenhet
3.2 Lokal reduktion av returtemperaturen	Reduktion av returtemperaturen från en fjärrvärmecentral med en värmepump
3.3 Standardisering av fel i fjärrvärmecentraler	Fel i fjärrvärmecentraler standardiseras för att erhålla frekvenser och beteenden för olika avvikelser
3.4 Övervakning av fjärrvärmecentraler	Mätningar med hög upplösning insamlas från fjärrvärmecentraler
3.5 Identifiering av fel i fjärrvärmecentraler	Avvikelser i fjärrvärmecentraler identifieras från mätningar med hög upplösning
3.6 Identifiering av värmeväxlares termiska längder	Termiska längder skattas från högupplösta temperaturmätningar i fjärrvärmecentraler för att identifiera värmeväxlarfel, såsom eventuell försmutsning

#### 1.4.3 Om att flytta värme (kapitel 4)

Kapitlet om att flytta värme tar upp möjligheter som återfinns i värmedistributionsnäten.

De tolv möjligheterna att flytta värme inkluderar sex olika nätkonfigurationer, användning av plaströr, decentraliserad värmeförsörjning, identifiering av kortslutningar eller genvägar som skapar oönskade cirkulationsflöden, central sänkning av den aggregerade returtemperaturen och kontinuerliga syre- och korrosionsmätningar.

Kopplingen till lägre koldioxidutsläpp är att dessa möjligheter kan skapa mer effektiv värmedistribution, såsom användning av lägre temperaturer i värmedistributionsnäten.

Avsnitt för möjligheter om att flytta värme	Kort beskrivning av varje möjlighet
4.1 Klassisk konfiguration	Traditionell konfiguration i distributionsnät med en framledning och en returledning med ett cirkulationsflöde mellan fram- och returledning när så erfordras
4.2 Modifierad klassisk konfiguration	Modifieringar av den klassiska konfigurationen för att erhålla lägre fram- och returtemperaturer än vad som kan erhållas med klassisk konfiguration
4.3 Flernivåkonfiguration	Mer än en framtemperatur tillämpas i ett distributionsnät
4.4 Ultralåg konfiguration	Kalla distributionsnät används för värmeleveranserna med en framtemperatur som är lägre än 50°C
4.5 Kall KVK-konfiguration	Tillämpning av synergien med kombinerad värme och kyla i ett kallt distributionsnät genom att använda det varma röret för värmning och det kalla röret för kylning

4.6 Varm KVK-konfiguration	Tillämpning av synergien med kombinerad värme och kyla i två separata distributionsnät genom att återvinna restvärme från ett fjärrkylennät och tillföra denna värme till ett fjärrvärmenät
4.7 Plaströr	Användning av plaströr i lågtempererade distributionsnät
4.8 Decentraliserad inmatning	Lokal värmeförsörjning i ett fjärrvärmesystem
4.9 Identifiering av cirkulationsflöden	Identifiering av storleken på det årliga cirkulationsflödet i ett distributionsnät
4.10 Central reduktion av returtemperatur	Central reduktion av returtemperaturen med en värmepump i ett distributionsnät
4.11 Kontinuerlig syremätning och syreavskiljning	Kontinuerlig mätning och avskiljning av syre i ett distributionsnät
4.12 Kontinuerlig korrosionsmätning	Kontinuerlig korrosionsmätning i ett distributionsnät

#### 1.4.4 Om att lagra värme (kapitel 5)

Kapitlet om att lagra värme innehåller möjligheter som dyker upp när värmelager tillämpas i fjärrvärmesystem för att bryta tidsberoendet mellan värmeförsörjning och värmeleveranser.

De nio möjligheterna för att lagra värme avser olika metoder för att ordna värmelagret, mestadels genom att använda vatten som värmebärare.

Den huvudsakliga kopplingen till lägre koldioxidutsläpp är att mer effektiv värmeförsörjning erhålls genom att bryta tidsberoendet mellan värmeförsörjning och värmeleverans.

Avsnitt för möjligheter om att lagra värme	Kort beskrivning av varje möjlighet
5.1 Akviferlager	Värmelagring i djupt belägna vattenmagasin under marken
5.2 Borrhållager	Värmelagring i marken med grunda borrhål
5.3 Gruvlager	Värmelagring i övergivna och vattenfyllda gruvor
5.4 Tanklager	Värmelagring i vertikala vattenfyllda tankar stående på marken eller nergrävda i marken
5.5 Groplager	Värmelagring i vattenfyllda och tätade gropar som grävts ut i marken
5.6 Bergrumslager	Värmelagring i vattenfyllda bergrum
5.7 Fjärrvärmeledningar som värmelager	Värmelagring i fjärrvärmenätets framledning genom en mindre höjning av framtemperaturen
5.8 Byggnader som värmelager	Värmelagring i byggnaders stommar genom små ändringar av innetemperaturens börvärde
5.9 Andra värmelager	Värmelagring med andra lagringsmetoder

#### 1.4.5 Om att avskilja koldioxid (kapitel 6)

Kapitlet om att avskilja koldioxid berör möjligheter som kan användas för att uppnå koldioxidavskiljning.

De tre möjligheterna för att ta bort fossil koldioxid avser avskiljning efter förbränning av biomassa eller avfall, eller bortförande av fossilbaserad plast före förbränning i avfallsförbränningsanläggningar.

Kopplingen till lägre koldioxidutsläpp är antingen avlägsnande av koldioxid från det naturliga kolkretsloppet eller undvikande av fossila koldioxidutsläpp från förbränning av fossilbaserad plast i avfallsförbränningsanläggningar.

Avsnitt för möjligheter om att avskilja koldioxid	Kort beskrivning av varje möjlighet
6.1 Koldioxidavskiljning från biomassa	Avskiljning av koldioxid från rökgaser efter förbränning av biomassa
6.2 Koldioxidavskiljning från avfallsförbränning	Avskiljning av koldioxid från rökgaser efter förbränning av avfall
6.3 Plaståtervinning före avfallsförbränning	Undvika koldioxidutsläpp genom att avskilja plast före avfallsförbränning

#### 1.4.6 Om värmeförsörjning med linjär försörjning (kapitel 7)

Kapitlet om linjär värmeförsörjning innehåller möjligheter när förnyelsebara energiresurser tillämpas för baslastbehov i fjärrvärmesystem. Härigenom är dessa möjligheter inte förknippade med någon värmeåtervinning.

De nio möjligheterna att leverera värme genom linjära försörjningskedjor inkluderar fem olika sätt att utvinna geotermisk värme tillsammans med fyra olika möjligheter för direkt användning av solvärme, överskottsel och omgivningsvärme från dels vatten, dels luft.

Kopplingen till lägre koldioxidutsläpp för linjär värmeförsörjning är den direkta ersättningen av fossilbaserad värmeförsörjning med förnybara värmekällor eller omgivningsvärme, vilket eliminerar fossila koldioxidutsläpp.

Avsnitt för möjligheter om linjär värmeförsörjning	Kort beskrivning av varje möjlighet
7.1 Geotermisk värme, vulkaniska zoner	Värmeutvinning från djupa geotermikällor nära sprickor i jordskorpan
7.2 Geotermisk värme, akviferer	Värmeutvinning från djupa vattenmagasin under marken, ibland med värmepump
7.3 Geotermisk värme, kristallina berggrunder	Värmeutvinning från djupa borrhål i kristallina berggrunder, ibland med värmepump
7.4 Geotermisk värme, övergivna gruvor	Värmeutvinning med värmepump från övergivna vattenfyllda gruvor
7.5 Geotermisk värme, grunda borrhål	Värmeutvinning med värmepump från grunda borrhål i marken
7.6 Solfjärrvärme	Värmegenerering från solinstrålning med termiska solfångare
7.7 Elpannor	Värmegenerering från inköpt el, mestadels överskottsel från blåsiga dagar
7.8 Vattenbaserad omgivningsvärme	Värmeutvinning från omgivningsvärme i hav, sjöar och vattendrag
7.9 Luftbaserad omgivningsvärme	Värmeutvinning från omgivningsvärme i luft

#### 1.4.7 Om värmeförbrukning med värmeåtervinning (kapitel 8)

Kapitlet om värmeåtervinning beaktar möjligheter som dyker upp när värmeåtervinning från externa restvärmeflöden kan tillämpas.

De tretton möjligheterna inkluderar bioraffinaderier, generering och användning av väte, petrokemiska anläggningar, elektriska transformatorer, nya industriella processer, sex olika alternativ för synergier med kombinerad värme och kyla samt lågtemperaturvärme från avloppsvatten.

Kopplingen till lägre koldioxidutsläpp är att värmeåtervinning ger en direkt ersättning av fossilbaserad värmeförsörjning med återvunnen värme, vilket eliminerar fossila koldioxidutsläpp.

Avsnitt för möjligheter om värmeåtervinning	Kort beskrivning av varje möjlighet
8.1 Bioraffinaderier	Värmeåtervinning av restvärme från raffinaderier för fossilfria transportbränslen
8.2 Vätgasförsörjning - restvärme	Värmeåtervinning av restvärme från elektrolysörer för produktion av vätgas
8.3 Vätgasförsörjning - kraftvärme	Värmeåtervinning av restvärme från planerbar elproduktion med vätgas i kraftvärmeverk
8.4 Petrokemiska anläggningar	Värmeåtervinning av restvärme från petrokemiska anläggningar
8.5 Elektriska transformatorer	Värmeåtervinning av restvärme från elektriska transformatorer
8.6 Nya industriprocesser	Värmeåtervinning av restvärme från nya fossilfria industriprocesser
8.7 KVK - centraliserad fjärrkyla	Värmeåtervinning med centrala värmepumpar av restvärme i fjärrkylanät från rumskyla

8.8 KVK - decentraliserad fjärrkyla	Värmeåtervinning med lokala värmepumpar av restvärme i kalla distributionsnät från rumskyla
8.9 KVK – luftkylda datacentraler	Värmeåtervinning med värmepump av restvärme från luftkylda datacentraler
8.10 KVK – vattenkylda datacentraler	Värmeåtervinning av restvärme från vattenkylda datacentraler, ibland med värmepumpar
8.11 KVK - batterifabriker	Värmeåtervinning av restvärme från tillverkning av elektriska batterier
8.12 KVK - livsmedelsförsörjning	Värmeåtervinning av restvärme från kylprocesser i livsmedelsförsörjningen
8.13 Avloppsreningsverk	Värmeåtervinning av restvärme i avloppsvatten från varmvattenanvändning i byggnader

#### 1.4.8 Om värmeförsörjning för spetsbehov (kapitel 9)

Kapitlet tar upp möjligheter som dyker upp när kundernas värmebehov under extra kalla dagar ska mötas, vilket skapar krav på ytterligare värmeförsörjning utöver vad ordinarie tillförselanläggningar kan leverera.

De tre möjligheterna att leverera värme för spetsbehov innehåller alternativa alternativ för att möta dessa efterfrågetoppar genom att använda icke-fossila bränslen i traditionella pannor, utnyttja stora värmelager eller tillämpa efterfrågestyrning.

Kopplingen till lägre koldioxidutsläpp för spetsförsörjning är antingen direkt substitution av fossilbaserad värmeförsörjning med icke-fossila värmekällor, användning av värmelager eller genom tillfälligt lägre värmeleveranser. Alla dessa tre aktiviteter kommer att eliminera fossila koldioxidutsläpp för detta ändamål.

Avsnitt för möjligheter om spetsförsörjning	Kort beskrivning av varje möjlighet
9.1 Pannor med fossilfria bränslen	Möta kunders spetsbehov med fossilfria pannor
9.2 Stora värmelager	Möta kunders spetsbehov med stora värmelager
9.3 Allokering av värmeunderskott	Möta kunders spetsbehov med rättvis allokering av tillfälliga värmeunderskott

#### 1.4.9 Om värdekedjans möjligheter (kapitel 10)

Fjärrvärmens värdekedja organiserar värmeflödet från värmeförsörjningen i olika enheter, eventuell koldioxidavskiljning från dessa enheter, värmelagring för att bryta tidsberoendet mellan efterfrågan och tillförseln, förflyttningen av värme i distributionsrören, värmeöverföringen i fjärrvärmecentralerna, och den slutliga värmeanvändningen inom kundernas byggnader. Genom att fokusera på dessa övergripande frågeställningar för hela värdekedjan lämnas det silotänkande som valdes för de åtta föregående kapitlen.



Detta kapitel tar upp aggregerade möjligheter som dyker upp i sju olika strategigrupper avseende värdekedjan. Dessa sju möjligheter inkluderar frihetsgrader för olika möjligheter, lämpliga temperaturnivåer i distributionsnäten, användning av värmepumpar för att lösa brister mellan låga framledningstemperaturer och höga temperaturbehov, digitaliseringsmöjligheterna för övervakning och felsökning, leveransansvar, de institutionella ramverken som sätter villkoren för fjärrvärme på internationella, nationella, regionala, lokala nivåer samt digitala planeringsmodeller för en effektiv aggregering av lokala förhållanden till regionala och nationella nivåer.

De huvudsakliga kopplingarna till lägre koldioxidutsläpp är antingen metoder för att planera och organisera effektiva fjärrvärmesystem eller samhällsstöd för att främja fossilfria fjärrvärmesystem.

Avsnitt för möjligheter om fjärrvärmens värdekedja	Kort beskrivning av varje möjlighet
10.1 Frihetsgrader för tillgängliga möjligheter	Olika arter av frihetsgrader inom fjärrvärmens värdekedja
10.2 Temperaturnivåer tillämpade i distributionsnät	Olika sätt att använda olika nättertemperaturer
10.3 Värmepumpar som verktyg i fjärrvärmesystem	Olika sätt att använda värmepumpar inom fjärrvärmens värdekedja
10.4 Digitalisering som verktyg för identifiering av avvikelser	Olika sätt att använda digitalisering inom fjärrvärmens värdekedja
10.5 Leveransansvar	Olika leveransansvar inom fjärrvärmens värdekedja
10.6 Institutionella ramverk	Olika tillfällen och hinder inom fjärrvärmens värdekedja som kan relateras till internationella och nationella lagar, regler och stödsystem
10.7 Digitala planeringsmodeller	Olika sätt att använda öppen datainformation för planering av utbyggda eller nya fjärrvärmesystem

## 1.5 ÖVERSIKT FÖR MÖJLIGHETER OCH FALL

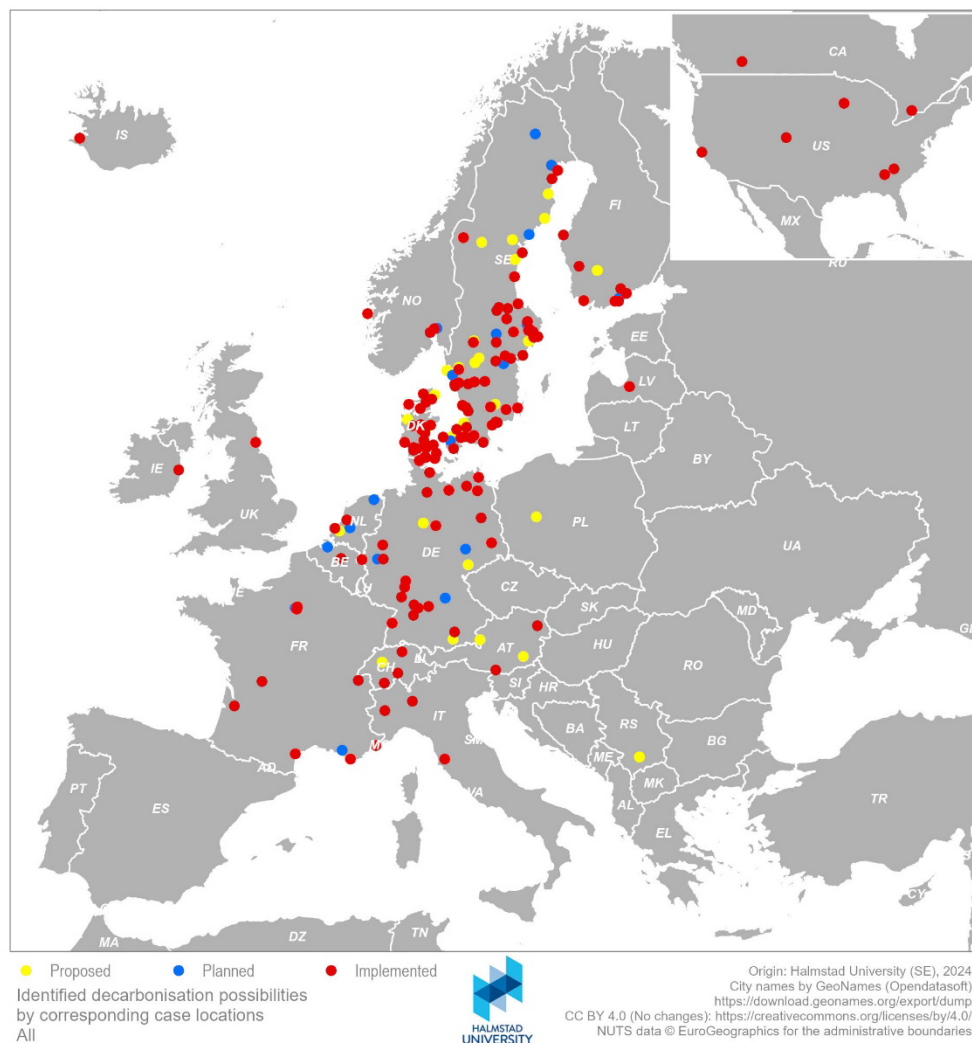
Som tidigare beskrivits i avsnitt 1.3 användes en databas som indatasamling för att hantera och förbereda arbetet med de identifierade möjligheterna och fallbeskrivningarna i denna rapport. Vid slutförandet av detta projekt innehöll projektdatabasen 85 möjligheter, 361 fall och 147 referenser. Denna slutrapport innehåller 70 möjligheter och 284 fall efter bantningsprocessen. Härmed finns avvikelser mellan antalet möjligheter och fall i databasen och i rapporten. Dessa avvikelser redovisas per kapitel i Tabell 1 och Tabell 2. Fjärrkyla i den sista raden i dessa tabeller var från början ett avsett separat fokusområde men eliminerades i bantningsprocessen för att nå enbart 70 möjligheter. En översikt över platserna för alla identifierade fall i databasen för denna rapport återfinns i Figur 4.

**Tabell 1. Översikt av antal möjligheter som återfinns i databasen och i rapporten.**

	Inkluderat i databasen	Inkluderat i rapporten	Ej inkluderat i rapporten
Kapitel 2 – Använda värme	10	8	2
Kapitel 3 – Ansluta kunder	6	6	
Kapitel 4 – Flytta värme	21	12	9
Kapitel 5 – Lagra värme	9	9	
Kapitel 6 – Avskilja koldioxid	4	3	1
Kapitel 7 – Linjär värmeförsörjning	9	9	
Kapitel 8 – Värmeåtervinning	13	13	
Kapitel 9 – Spetstillförsel	3	3	
Kapitel 10 – Värdekedjan	7	7	
Fjärrkyla	3		3
<b>Totalt</b>	<b>85</b>	<b>70</b>	<b>15</b>

Tabell 2. Översikt av antal fall som återfinns i databasen och i rapporten.

	Inkluderat i databasen	Inkluderat i rapporten	Ej inkluderat i rapporten
Kapitel 2 – Använda värme	22	16	6
Kapitel 3 – Ansluta kunder	14	12	2
Kapitel 4 – Flytta värme	53	32	21
Kapitel 5 – Lagra värme	39	36	3
Kapitel 6 – Avskilja koldioxid	22	18	4
Kapitel 7 – Linjär värmeförsörjning	77	62	15
Kapitel 8 – Värmeåtervinning	96	72	24
Kapitel 9 – Spetstillförsel	11	10	1
Kapitel 10 – Värdekedjan	26	26	
Fjärrkyla	1		1
<b>Totalt</b>	<b>361</b>	<b>284</b>	<b>77</b>



Figur 4. Karta som visar de identifierade fallen i databasen för alla delar i fjärrvärmens värdekedja.

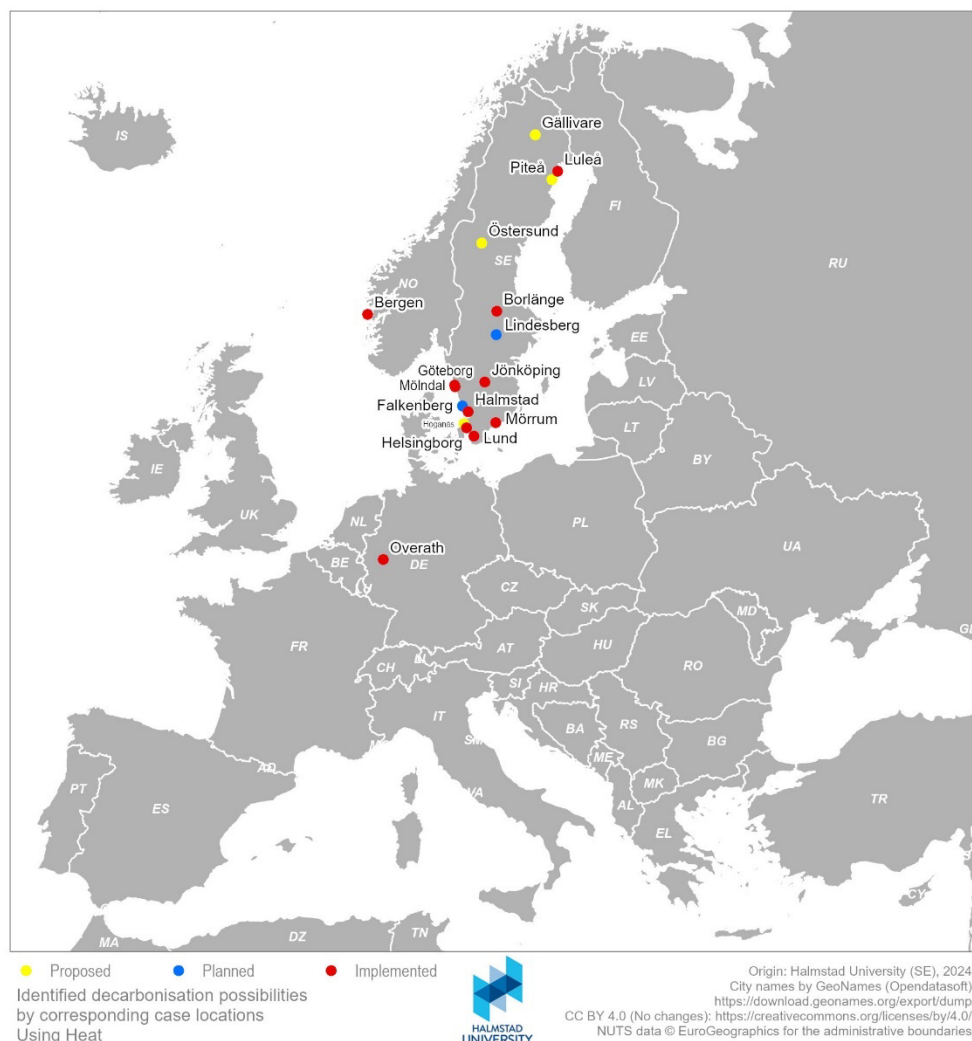
## 1.6 TILLKÄNNAGIVANDEN

Författargruppen uppskattade återföringen från styrgruppen för Energiforsk-programmet Futureheat under ansökningsprocessen och återföringen under skrivprocessen från detta projekts referensgrupp. En tidig version av denna rapport lästes också under 2023 av en bredare extern grupp av granskare utanför referensgruppen. Vi uppskattar värdefull återföring från Bengt-Göran Dalman, Dag Henning, Henrik Näsström, John Johnsson, Thore Sahlin, Jens Brage, Raziyeh Khodayari, Lieve Helsen, Erik Axelsson och Patrik Grönbeck i denna externa grupp.

Denna rapport förväntas ge en kompakt översikt över en dynamisk, intensiv och pågående process för minskade koldioxidutsläpp av fjärrvärmesystem innehållande information om både företag och projekt. Nyligen genomförda förändringar av företag och projekt mellan 31 december 2023 (sista datum för beaktade nyheter) och 30 april 2024 (projektets slutdatum) har i allmänhet inte inkluderats, men vissa undantag har dock tagits med.

## 2 Använda värme

De åtta identifierade möjligheterna att använda värme, enligt underavsnitt 1.4.1, inkluderar identifiering av kunders värmelastmönster, avvikelser i värmeanvändning, värmeleveranser till livsmedelsproduktion, högre temperaturbehov än normalt levererade i fjärrvärmenät, traditionella temperaturbehov och kunders förmåga att använda lägre radiatortemperaturer.



Figur 5. Karta som visar platser för identifierade fall i databasen gällande användning av värme

### 2.1 IDENTIFIERING AV KUNDERS VÄRMELASTVARIATIONER

För att identifiera kunders värmelastmönster är förståelse för kundernas dygns- och veckovariationer samt deras och värmeanvändning avgörande. Traditionella uppskattningar baserade på endast fåtal mätningar räcker inte alltid eftersom varje byggnad är unik när det kommer till värmelastmönster på grund av olika typer av drift- och byggnadsegenskaper, men också för att en byggnads användning förändras över tid.

### 2.1.1 2019: Öresundskraft, Helsingborg-Ängelholm, Sverige

SeMI var ett forskningsprojekt finansierat av KK-stiftelsen som har genomförts vid Högskolan i Halmstad. I studien analyserades värmebehov under 2016 från 1 222 byggnader med en total yta på 3,4 miljoner m<sup>2</sup> och ett totalt värmebehov på 430 GWh. Syftet med projektet var att använda några olika datadrivna metoder för att identifiera och förstå värmelastbehov hos olika typer av kunder för att i nästa steg kunna hitta avvikelser.

Den här studien identifierade värmelastmönster på veckonivå för sex olika kundkategorier. Dessa kan användas för att hitta avvikelser för enskilda byggnader men också för att bättre förstå den aggregerade värmelasten i hela fjärrvärmenätet. De sex kategorierna var 1. Flerbostadshus; 2. Lokaler; 3. Offentliga förvaltning; 4. Hälso- och sjukvårdsbyggnader; 5. Skolbyggnader, och 6. Industribyggnader. Från datamängden identifierades 16 huvudgrupper av värmelastmönster. En 17:e grupp var "outliers". En intressant iakttagelse var att outlier-gruppen inte bara innehöll felaktiga data utan även byggnader med helt unika värmelastmönster. Dvs outlier är inte självklart lika med felaktig!

Referens: (Calikus et al., 2019)

## 2.2 IDENTIFIERING AV AVVIKELSER I KUNDERS VÄRMEANVÄNDNING

Ett av de vanligaste sätten att identifiera fel i värmeanvändning är och har varit att analysera effektsignaturer manuellt. När man inför automatiserade metoder finns det en svårighet att skilja mellan fel och extremvärden. I det enda fallet för denna möjlighet presenteras en metod för att minska andelen falska fel.

### 2.2.1 2018: Öresundskraft, Helsingborg-Ängelholm, Sverige

I en artikel från Högskolan i Halmstad föreslås en ny metod för att hitta onormalt eller avvikande värmebehov med hjälp av robust regression. Datasetet består av mätaravläsningar från 1 700 byggnader i Öresundskrafts fjärrvärmenät i Helsingborg och Ängelholm. Ordinary Least Squares (OLS) är en typisk metod för att uppskatta energisignaturer. Genom att istället använda en Random Sample Consensus (RANSAC) algoritm, som är ett robust tillvägagångssätt för parameteruppskattning med hög grad av noggrannhet även när ett betydande antal extremvärden finns i datamängden, och sätta förhållandet till 20 % när regressionslinjen anpassas, visar det statistiska måttet R<sup>2</sup>-resultatet att RANSAC-metoden har bättre godhet-of-fit-poäng på 61 % av alla effektsignaturer. Detta är mycket högre än de uppskattningar som gjorts av OLS. Jämfört med avvikelsebaserade tillvägagångssätt är denna nya spridningsbaserade och aggregerade metod således betydligt bättre när det gäller att definiera tröskelvärden för att identifiera outliers och för att begränsa falsklarm.

Referens: (Calikus et al., 2018)

## 2.3 BIOGAS FRÅN FJÄRRVÄRME

Att använda fjärrvärme för att hygienisera och värma upp biogasprocessen i stället för att använda den egna biogasen är ett sätt att öka producerad mängd biogas. Därmed kan ytterligare biogas uppgraderas till bränslegaskvalitet för användning som förnybart bränsle i fordon. Härigenom kan fordon på systemnivå indirekt drivas med fjärrvärme.

En utvärdering av potentialen för ett genomsnittligt svenskt avloppsreningsverk visar att produktionen av biogas kan öka med 1,35 till 2,1 GWh årligen vilket är i linje med fallet vid NSVA nedan.

Två fall med olika råmaterial (substrat) presenteras nedan. Skillnaden i värmeförsörjning per GWh biogas i de två fallen beror på olika råvaror som används.

Referens: (Lundqvist, 2009)

### 2.3.1 2019: Biond, Helsingborg, Sverige

Biond är en biogasproducent med två anläggningar var av en i Helsingborg. Årsproduktionen är 70-80 GWh rågas. Eftersom råvaran är biologiska rester från hushåll, restauranger och slakterier finns det ett behov av att höja temperaturen till 70°C för hygienisering. Denna värme tillförs med fjärrvärme vid 80 °C och "retur" 70°C. Årlig fjärrvärmeförsörjning är cirka 6 GWh per år. Biogasprocessen är mesofil vilket innebär att temperaturen i reaktorn måste vara runt 37°C. Hygieniseringen av substratet är tillräcklig för att värma hela processen. Uppgradering till fordonskvalitet görs a i direkt anslutning biogasanläggningen men av ett annat företag. Utöver rågasen levereras också cirka 145 000 ton biogödsel årligen.

Detta fall finns på samma site som fall 4.1.3.

Länk:

<https://www.biond.se/anlaggningar/>

### 2.3.2 2007: NSVA, Helsingborg, Sverige

NSVA ansvarar för avloppsrening och levererar färskvatten för 8 kommuner i nordvästra Skåne. Substratet i biogasproduktionen är avloppsvattenslam från det kommunala avloppsvattnet i Helsingborg med 170 000 personekvivalenter avloppsvatten. Biogasproduktionen är 10 GWh årligen. Processen är mesofil, 37 °C, och värms upp från fjärrvärme, c:a 3 GWh årligen. Anläggningen använder också 1 GWh fjärrkyla och 1,8 GWh el. Anläggningen består både av rågasproduktion och uppgradering till fordonsgas.

Referens: Personlig kommunikation med NSVA.

## 2.4 LIVSMEDELSFÖRSÖRJNING

Denna möjlighet är att använda restvärme för att leverera värme till livsmedelsproduktion i växthus. Härigenom kan nuvarande användning av fossila bränslen för livsmedelsproduktion ersättas.



En internationell översikt över tidiga implementeringar av att använda restvärme för uppvärmning av växthus ges i (Nilsson and Nimmermark, 2013). Exempel på lokala bedömningar för att använda denna möjlighet har getts av (Markström and Torgnyson, 2014) och (Persson et al., 2020a). Internationellt har också ett visst intresse visats för att använda geotermisk värme för jordbruksändamål (IRENA, 2022).

#### 2.4.1 2012: Elleholm, Mörrum, Sverige

Växthuset i Elleholm utanför Karlshamn, har använt restvärme från Södra Cell Mörrums massafabrik sedan 2012. Huvudproduktionen från de 60 000 kvadratmeterna med växthus är tomater och restvärmen levereras av Karlshamns fjärrvärmesystem.

Länkar:

<https://elleholmstomater.se/miljo/>

<https://www.ja.se/artikel/50703/vi-mste-srskilja-oss.html>

<https://bioenergitidningen.se/fossilanvandningen-har-minskat-med-83-procent-sedan-2002/>

#### 2.4.2 2023: Luleå Energi, Luleå, Sverige

Luleå Energi har genomfört ett mindre pilotprojekt genom att använda fjärrvärme för livsmedelsproduktion. I ett växthus i stadens hamn odlas tomater och olika örter för en lokal restaurang. Värmen levereras från returledningen i fjärrvärmesystemet.

Länkar:

<https://www.energi.se/artiklar/2023/mars-2023/luleas-smarta-vaxthus-drivs-med-returvarme/>

<https://www.luleaenergi.se/hallbarhet/miljomassig-hallbarhet/vaxthuset/>

#### 2.4.3 Planerat: Regenergy Frövi, Sverige

Regenergy Frövi är ett projekt som förväntas tas i drift i april 2024. Totalt kommer ca 50 GWh värme återvinnas årligen från Billeruds pappersbruk som producerar kartong och vätskekartong. Värmen kommer att användas i ett 100 000 kvadratmeter stort växthus intill pappersbruket där det kommer odlas 8 000 ton tomater per år. Företaget WA3RM, vars affärsidé är att samordna den här typen av projekt, har ett 20-årigt avtal för att använda restvärmen. Driften av växthuset kommer att skötas av Local Harvest, ett holländskt företag. Den ursprungliga planen omfattade även uppfödning av stora räkor, men denna idé avvisades senare av miljöskäl.

Detta projekt är nu den svenska demonstratören i det internationella Coraliskprojektet och ersätter ett liknande, men avslaget projekt i Höganäs. Coralisk är ett EU-projekt för implementering av industriell symbios i energiintensiva industrier och varar mellan 2020 och 2024. Tre demonstratorer ingår i detta implementeringsprojekt där de två andra finns i Italien (Brescia) och Spanien (Cartagena) men dessa två har ingen anknytning till livsmedelsproduktion.

Länkar:

<https://www.wa3rm.com/>

<https://www.wa3rm.com/regenergy-frovi>

<https://www.energi-miljo.se/spillvarme-for-tomater-men-inga-rakor/>

<https://www.energi-miljo.se/snart-odlingsstart-i-spillvarmda-vaxthuset/>

<https://www.dn.se/ekonomi/brister-i-sveriges-livsmedelsberedskap-jatterakor-och-tomatodling-en-del-av-losningen/>

<https://cordis.europa.eu/project/id/958337>

<https://www.coralis-h2020.eu/>

<https://www.coralis-h2020.eu/lighthouses/lighthouse-hoganas/>

#### 2.4.4 Föreslaget: Regenergy Gällivare, Sverige

I samband med den förväntade implementeringen av Hybritprocessen föreslås att återvinna värme för livsmedelsproduktion. Hybritprocessen är ett nytt sätt att tillverka fossilfritt "grönt" stål genom att använda väte i stället för kol som används i nuvarande process. Detta utvecklingsprojekt är ett samarbete mellan LKAB, SSAB och Vattenfall.

Avsikten är att återvinna restvärme från Hybrits anläggning till fjärrvärmesystemet i Gällivare. Nästa steg är att även återvinna värme för livsmedelsproduktion. Samordnare för värmeåtervinningsidén för livsmedelsproduktion är företaget WA3RM. Värmeåtervinningen är fortfarande i sin designfas och beräknad vara klar 2027. Väsentliga förutsättningar såsom lokalisering och typ av livsmedelsproduktion är ännu inte beslutade.

Länkar:

<https://www.hybritdevelopment.se/en/>

<https://gallivare.se/arkiv/nyheter/2022/2022-07-12-livsmedelsproduktion-av-spillvarme---en-helt-ny-bransch-for-gallivare>

<https://www.wa3rm.com/regenergy-gallivare>

#### 2.4.5 Föreslaget: Regenergy Östersund, Sverige

I samband med byggandet av den andra EcoDataCenter-anläggningen föreslås en värmeåtervinning för hållbar livsmedelsproduktion genom att använda restvärmen från kylningsprocessen i detta nya datacenter. Den första fasen kommer att ha en ett eleffektbehov på 20 MW 2026, med en planerad expansion till 150 MW 2033.

Värmeåtervinningsprojektet är ett samarbete mellan Jämtkraft (som driver fjärrvärmesystemet i Östersund), EcoDataCenter, WA3RM och Östersunds kommun. Värmeåtervinningsprojektet är fortfarande i sin designfas och beräknas vara klart 2028. Väsentliga förutsättningar såsom lokalisering och typ av livsmedelsproduktion, är ännu inte beslutade.

Länkar:

<https://ecodatacenter.tech/data-center/ecodatacenter-2>

<https://www.datacenterdynamics.com/en/news/ecodatacenter-plans-150mw-data-center-campus-%C3%B6stersund-sweden/>

<https://www.wa3rm.com/regenergy-ostersund>

## 2.5 ÅNGA FRÅN FJÄRRVÄRME

I vissa industrisektorer används ånga. På grund av den höga temperatur som behövs, så har ånga huvudsakligen producerats med fossila bränslen. Ett alternativ är att använda fjärrvärme i kombination med högtemperaturvärmepumpar (HTHP, temperatur upp till 100 °C) eller värmepumpar för mycket hög temperatur (VHTHP, temperaturer över 100°C) för kan höja temperaturen från under 100°C upp till över 150°C. Två fall presenteras, det ena är från medicinsk industri och det andra är en tillverkare av värmepumpar för höga temperaturer.

Referens: (Tveit et al., 2021)

### 2.5.1 2017: Olvondo, Mölndal, Sverige

Astra Zeneca i Mölndal använde ursprungligen olja för att producera ånga. 1997 konverterade man till naturgas för att 2018 gå över till biogas för att minska koldioxidutsläppen. En del av uppgraderingen var att producera ånga med hjälp av högtemperaturvärmepumpar. Metoden är effektivare, mer robust, billigare och hållbar än tidigare lösning. Ångan som produceras har ett tryck på 1 MPa och en temperatur på 183°C och producerades med hjälp av värmepumpar med mycket hög temperatur (VHTHP). Värmekällan till värmepumparna är i huvudsak restvärme från kylkompressorer på cirka 40°C.

Astra Zenecas lösning använder norska Olvondos höglyftande värmepump baserad på en design med en omvänd stirlingmotor, som har verifierats i ett EU-projekt kallat Highlift. Höglyftsvärmepumpen installerades vid AstraZenecas FoU-center i Mölndal 2017. De industriella högtemperaturvärmepumparna anses nu vara ett viktigt verktyg i AstraZenecas hållbarhetsarbete för att minska koldioxidutsläppen.

Referenser:(Zevenhoven et al., 2020)

Länk:

<https://highlift.olvondotech.no/olvondo-technology-promotional-video/>

### 2.5.2 2023: SPHeat, Overath, Tyskland

Traditionella industriella värmepumpar har en framledningstemperatur under 100°C, men många industri processer använder temperaturer i intervallet 100 till 200°C. SPHeat (Sustainable Process Heat) har utvecklat en serie högtemperaturvärmepumpar för industriell processvärme, ThermBoosters som genererar 165°C. Detta är möjligt genom att använda en högtemperaturkolvkompessor med en effekt på mellan 400 kW och 1 MW per kompressor i ett eller två steg. Lågtemperaturvärme (8 till 120°C) kan därmed användas för att producera högkvalitativ processvärme på 165°C.

Två implementerade tillämpningar på SPHeats:s lösning är en gelatinfabrik och ett industriellt bageri. Enligt företaget är den globala efterfrågan på industriell processvärme 6 500 TWh per år. 2023 levererar två ThermBoosters även högtemperaturvärme till UBQ Materials biobaserade återvunna plasttorkningsprocess. Råvaran till plasten är osorterat hushållsavfall, inklusive organiskt och icke-återvinningsbart material. Termoplasten kan användas som en

hållbar ersättning för plast, trä eller betong och på så sätt minska koldioxidutsläppen.

Länkar:

<https://spheat.de/thermbooster/?lang=en>

<https://spheat.de/news/?lang=en>

<https://spheat.de/2023/06/02/delivered-the-first-two-thermbooster/?lang=en>

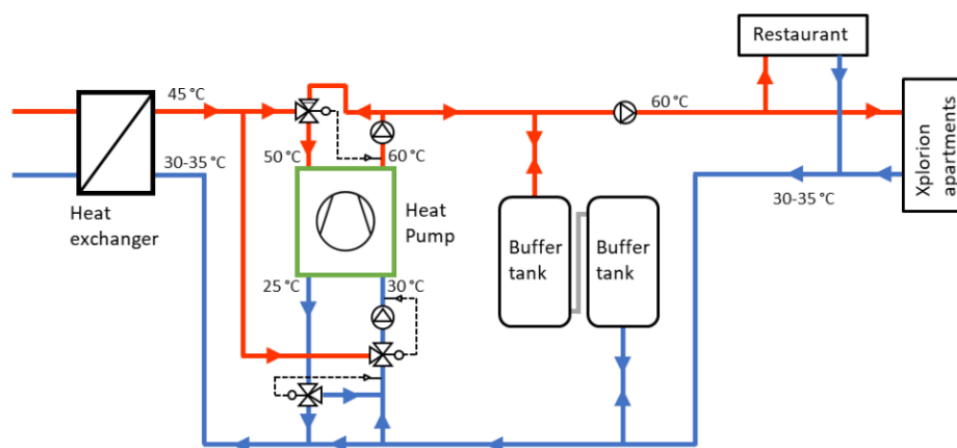
[https://spheat.de/neu/wp-content/uploads/2023/05/4141\\_Flyer\\_EN\\_1.pdf](https://spheat.de/neu/wp-content/uploads/2023/05/4141_Flyer_EN_1.pdf)

## 2.6 TEMPERATURHÖJNING

Många processer avger restvärme vid en temperatur som är för låg för direkt användning i ett fjärrvärmesystem. I stället för att som traditionellt ha en framtemperatur som är lika hög som den kund med det högsta temperaturbehovet, kan temperaturerna höjas lokalt i de byggnader som har ett högre temperaturbehov än den levererade. Optimeringen av värmeförseln får då en begränsning mindre. Denna typ av nät benämns ofta för femte generationens fjärrvärme.

### 2.6.1 2020: LKF/Kraftringen, Lund, Sverige

Xplorion är en byggnad i den nya stadsdelen Brunnshög i Lund. Den har 54 lägenheter på sammanlagt 4 374 m<sup>2</sup>. Byggnaden är ett passivhus och har flera nya tekniklösningar installerade varav en är en värmepump som höjer temperaturen på inkommande fjärrvärme, se figuren nedan. Under testfasen kan den inkommande fjärrvärmens temperatur varieras mellan 35 och 65°C. Tanken är att under driftfasen kunna ha en framledningstemperatur på primärsidan på 45° och ändå ha 50 till 60°C på sekundärsidan. Lösningen har tagits fram i ett EU-projekt, Cool DH.



Figur 6. En förenklad skiss på systemlösningen för temperaturökning av fjärrvärmeframledning i Xplorion.

Referens: (Moallemi et al., 2023a)

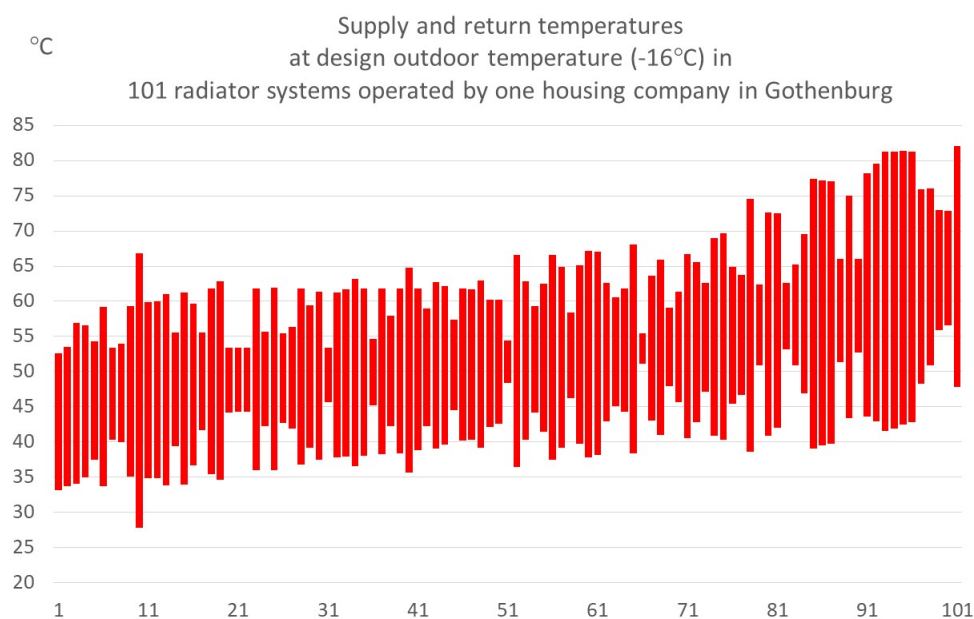
## 2.7 IDENTIFIERING AV KUNDERS TEMPERATURBEHOV

Intresset för temperaturnivån på såväl primärsidan i fjärrvärmesystem som på sekundärsidan i byggnader ökar i takt med att byggnaderna blir mer

energieffektiva med sänkta temperaturkrav i byggnadernas uppvärmningssystem som resultat. Samtidigt introduceras nya typer av värmekällor i fjärrvärmesystemen och primärsidan förväntas spegla sekundärsidan. Försök att spåra kundtemperaturer inomhus för tillförseln och återvändande retur är fortfarande ovanliga, men vissa analyser av undersökningar har gjorts. Övergången till lägre systemtemperaturer i byggnader utvecklas i takt med att användningen av fjärde generationens fjärrvärmesystem (4GDH) med låga temperaturer blir mer vanliga.

### 2.7.1 2017: Poseidon, Göteborg, Sverige

En analys av radiatortemperaturer har gjorts i ett exjobb på Chalmers för radiatorsystem i 109 flerfamiljshus i fem olika delar av Göteborg: Angered, Guldheden, Norra Hisingen, Södra Hisingen och Frölunda. Data för 2015/2016 erhöles från Bostads AB Poseidon. De högsta framtemperaturerna, drygt 80°C, återfanns i Guldheden som har ett av de äldsta byggnadsbestånden i undersökningen. Genomsnittliga fram- och returtemperaturer vid dimensionerade utetemperatur (-16°C) var 64°C respektive 42°C. Temperaturerna för undersökta radiatorsystem beräknades och presenterades för sju olika utetemperaturer. Resultaten visade som förväntat att stora radiatorers värmeöverföringsytor hade störst potential för låga drifttemperaturer och därmed lämpliga för lågtemperaturfjärrvärme (LTFV).



Figur 7. Skattade radiatortemperaturer vid dimensionerande utetemperatur för 101 byggnader enligt referensen. Övre ändan av respektive stapel utgörs av framtemperaturen, medan den nedre ändan presenterar returtemperaturen. Radiatorsystemen har rangordnats efter dess medeltemperatur, vilket ger att stora radiatorer i förhållande till värmebehoven återfinns till vänster, medan små radiatorer återfinns till höger.

En översikt av de skattade radiatortemperaturerna vid dimensionerande utetemperatur presenteras i Figur 7 för 101 av de 109 radiatorsystemen. Skattade temperaturer erhöles direkt från författaren, eftersom de inte finns återgivna i artikeln. De framgår tydligt av figuren att det finns en betydande variation i

tillämpade radiatorflöden. Låga flöden ger stora skillnader i fram- och returtemperaturer och vice versa. Låga flöden ger låga returtemperatur, vilket ger bra förutsättningar för låga returtemperaturer tillbaka till fjärrvärmenätet.

Reference: (Jangsten et al., 2017)

## 2.8 IDENTIFIERING AV RADIATORSYSTEMS TERMISKA LÄNGDER

Denna möjlighet innehåller en föreslagen, enkel och snabb metod för att uppskatta den effektiva relativa överföringsförmågan för radiatorsystemet i varje kunds värmesystem. Den är baserad på den aggregerade termiska längden av radiatorsystemet. Den termiska längden för en värmeväxlare uttrycker dess förmåga att överföra värme från den varma sidan till den kalla sidan i värmeväxlaren. Den är också känd som NTU (Number of Transfer Units) i läroböcker i värmeöverföring och introducerades första gången internationellt på 1950-talet av (Kays and London, 1955).

När man har långsiktiga ambitioner att sänka distributionstemperaturerna har fjärrvärmeoperatörer ett intresse av att identifiera och eliminera barriärer för sänkta temperaturer. Korta termiska längder kan bero på antingen liten värmeöverförande yta eller höga radiatorflöden. Höga radiatorflöden är lätta och relativt billiga att lösa genom flödesjustering av värmekretsen, men en kort termisk längd på grund av små värmeöverförande ytor i ett radiatorsystem är en långvarig barriär för att erhålla lägre nättemperaturer eftersom det kommer att kräva högre radiatortemperaturer i kundernas byggnader. Därför är långa termiska längder i kundernas radiatorsystem avgörande för att få lägre returtemperaturer i fjärrvärmenäten.

Den effektiva termiska längden för ett radiatorsystem kan uppskattas för en timme, en dag eller vid dimensionerande utetemperatur genom att använda de aggregerade fram- och returtemperaturerna i radiatorsystemet som den varma sidan och den uppskattade inomhustemperaturen som den kalla sidan i en värmeväxlare. Den termiska längden NTU kan sedan beräknas som:

$$NTU = \ln((ts-t_i)/(tr-t_i))$$

ts = aggregerad framledningstemperatur i radiatorsystemet

tr = aggregerad returtemperatur i radiatorsystemet

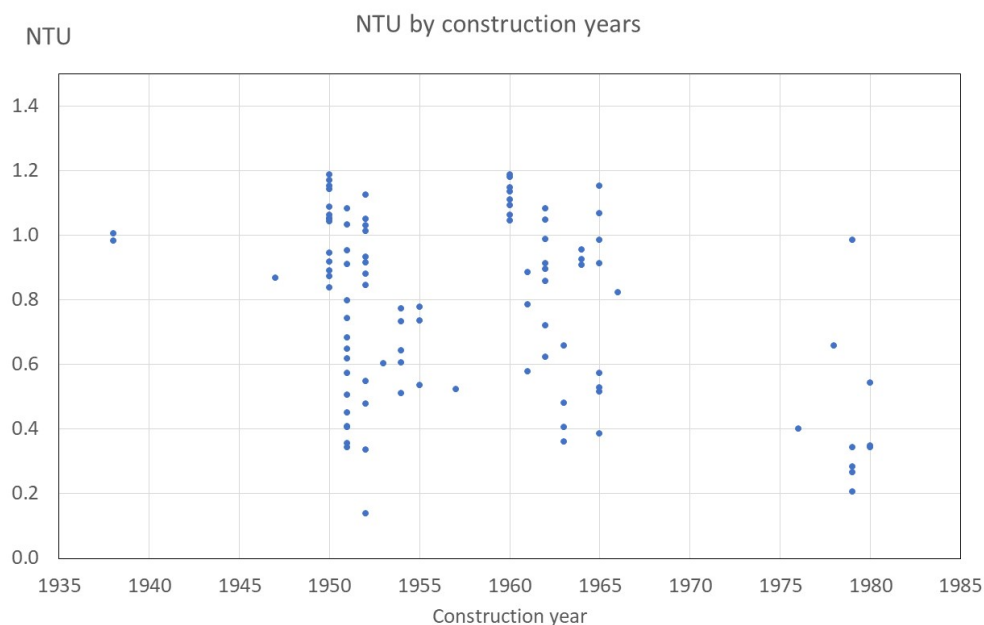
ti = beräknad inomhustemperatur

Här presenteras tre opublicerade fall för att visa hur denna föreslagna metod kan stödja fjärrvärmeföretag att få låga distributionstemperaturer i framtiden. Det första fallet avslöjar hur den termiska längden kan variera inom en grupp av flera flerbostadshus, medan de två andra fallen kommer att visa säsongsvariationen för den termiska längden under ett år för ett flerbostadshus.

### 2.8.1 Föreslaget: Poseidon, Göteborg, Sverige

Detta första fall innehåller en analys från 101 av de 109 analyserade byggnader i (Jangsten et al., 2017) som presenterades i den föregående möjligheten. Uppskattade termiska längder kan ses i Figur 8 för dimensionerande

utomhustemperatur på  $-16^{\circ}\text{C}$  och för olika byggår. Den uppskattade inomhustemperaturen har antagits till  $22^{\circ}\text{C}$  eftersom detta har varit den uppmätta medeltemperaturen inomhus för svenska flerfamiljshus under många år.



**Figur 8. Termisk längd (NTU) vid dimensionerande utomhustemperatur ( $-16^{\circ}\text{C}$ ) för 101 flerbostadshus i Göteborg som tillhör det kommunala fastighetsbolaget Poseidon.**

Denna grupp med 101 byggnader visar en sexfaldig variation på NTU från som högst 1,2 till som lägst 0,2. Höga NTU-värden ger goda förutsättningar för att er hålla låga returtemperaturer i både radiator- och fjärrvärmesystem.

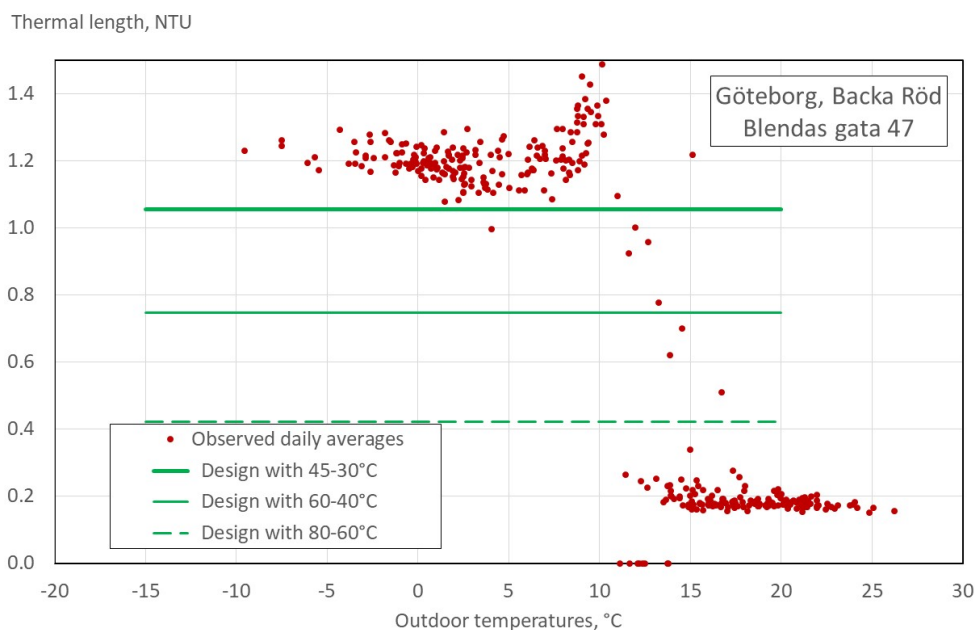
Denna stora variation i effektiva termiska längder har inget samband med byggåret. Variationen har därför individuella förklaringar och de faktiska orsakerna till korta termiska längder kan endast identifieras genom platsbesök i de aktuella byggnaderna. Det är dock mycket osannolikt att radiatorernas storlek varierar med en faktor sex eftersom de har konstruerats enligt samma standard för respektive byggår. I stället är det troligt att kortslutningar eller oavsiktliga höga flöden förekommer i radiatorsystem med korta termiska längder som resultat. Det kan med andra ord finnas en skillnad mellan effektiva och dimensionerande termiska längder.

### 2.8.2 Föreslaget: Backa Röd, Göteborg, Sverige

Det andra fallet kommer också från företaget Poseidon i Göteborg, men ingick inte i Jangstens grupp av byggnader. Det är en byggnad kallad Backa Röd som var ett svenskt exempel i IEA-EBC Annex 56-projektet rörande goda exempel på energieffektivisering av byggnader, (Morck et al., 2015). Efter energieffektivisering minskade den totala energianvändningen med 65 procent. All detaljerad information om denna energieffektivisering finns på sidorna 85-90 i (Brito et al., 2014).



Dygnsmedelvärden för fram- och returtemperaturer under 2018 tillsammans med motsvarande utetemperaturer togs ut från byggnadens driftssystem. Den uppskattade inomhustemperaturen sattes även här till 22°C.



**Figur 9.** Säsongsvariationen för termisk längd (NTU) baserat på dygnsmedelvärden under ett år i ett flerfamiljshus i Göteborg. De gröna linjerna beskriver förväntad NTU vid olika driftstemperaturer i radiatorsystemet.

Den säsongsmässiga variationen av dygnsmedelvärden för den termiska längden presenteras i Figur 9, som visar stabila vintertidsvärden på 1,2. Detta visar att denna byggnad har ett radiatorsystem väl lämpat för låga drifttemperaturer.

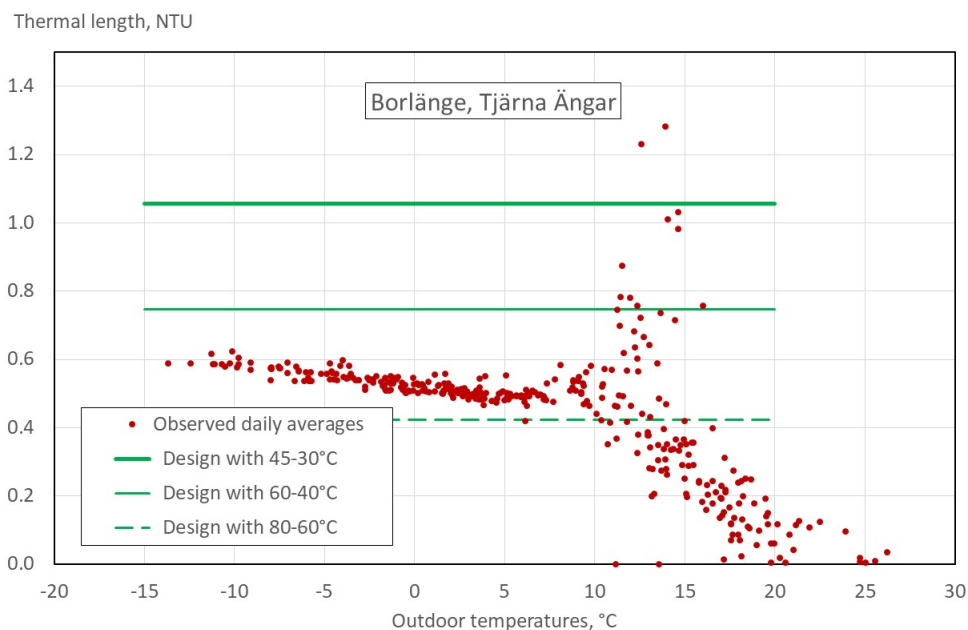
Länk:

<https://www.iea-ebc.org/projects/project?AnnexID=56>

### 2.8.3 Föreslaget: Tjärna ängar, Borlänge, Sverige

I det tredje fallet tillämpas samma metod som det andra fallet men för en annan byggnad. Denna byggnad ligger i Borlänge och ägs och drivs av Tunabyggen, det lokala kommunala bostadsbolaget. Den temperaturdata som krävdes för analysen erhöles från Högskolan Dalarna. Bakgrunden är ett forskningsprojekt rörande varsam energieffektivisering av flerfamiljshus utförda tillsammans med Tunabyggen.

Resultatet av analysen presenteras i Figur 10. NTU-värdena för vintern varierar mellan 0,5 och 0,6. Men den här byggnaden har trots detta ganska låga temperaturer i värmekretsen. Vid en utomhustemperatur på -15°C är framledningstemperaturen ca 50°C, samtidigt som man har en returtemperatur på 38°C. Skillnaden på 12°C indikerar att ett högt radiatorflöde, vilket ger en minskad effektiv termisk längd för detta system. Endast ett platsbesök kan förklara orsaken till högt radiatorflöde, vilket minskar den termiska längden för detta radiatorsystem.



Figur 10. Säsongsvariation för termisk längd (NTU) baserat på dygnsmedelvärden under ett år, 27 augusti 2018 till 26 augusti 2019, för ett flerbilshus i Borlänge. De gröna linjerna beskriver förväntad NTU vid olika driftstemperaturer i radiatorsystemet.

Länk:

<https://www.du.se/en/research/research-projects2/?code=HDA2015-00017>

## 2.9 SUMMERING AV 8 MÖJLIGHETER OM ATT ANVÄNDA VÄRME

Det här kapitlet visar två huvudaspekter av att använda värme. Dels olika applikationer annat än byggnadsuppvärmning och varmvatten, dels hur man spårar avvikelser i värmeanvändningen.

Kopplingen till minskade koldioxidutsläpp är att möjligheter kan ersätta fossilbränsleanvändning för anslutna kunder, skapa effektivare användning av levererad värme och/eller underlätta användning av lägre temperaturer i fjärrvärmesystemen.

Eftersom framtida systemtemperaturer och värmebehov kommer att bli lägre blir det viktigt för fjärrvärmeoperatörerna att identifiera ogynnsam värmeanvändning men också att identifiera okonventionella värmebehov för att förbli konkurrenskraftiga.

### 3 Ansluta kunder

Detta kapitel innehåller sex relevanta möjligheter inom anslutning av kunder, både vad gäller konfiguration av fjärrvärmecentraler och feldetektering, vilket till exempel ger ökad effektivitet och tillförlitlighet, sänkt värmebehov, sänkta temperaturer och därmed ökad möjlighet att använda okonventionella värmekällor med lågt eller inget koldioxidutsläpp.

Eftersom det är den naturliga anslutningspunkten är fjärrvärmecentralen i fokus för alla möjligheter i detta kapitel. Möjlighet 3.1 handlar om nätverkslayout och föreslår en egen fjärrvärmecentral för varje lägenhet. Möjlighet 3.2 handlar om tekniken att använda en absorptionsvärmepump för att sänka returtemperaturen från en fjärrvärmecentral. Möjlighet 3.3 tar upp vikten av standardisering av olika feltyper. Resterande möjligheterna möjlighet 3.4, 3.5, 3.6 tar upp identifiering och hantering av fel med hjälp av data från fjärrvärmecentralerna.

En översikt över platserna för de identifierade fallen i databasen ansluta kunder i distributionsnät finns i Figur 11 nedan.



Figur 11. Karta som visar identifierade fall i databasen om att ansluta kunder.

### 3.1 LÄGENHETSCENTRALER

Denna möjlighet visar fjärrvärmecentral i varje enskild lägenhet i flerbostadshus. Internationellt finns det tre olika kundgränssnitt: områdescentraler som levererar värme till en grupp byggnader i samma område, byggnadscentraler som levererar värme till enbart en byggnad och lägenhetscentraler som levererar värme till en enskild lägenhet.

En fjärrvärmecentral som betjänar en byggnad är det vanligaste kundgränssnittet i Europa, medan områdescentraler är vanliga i Ryssland och Kina.

Lägenhetscentraler blir vanligare i Europa, då enskilda gaspannor i flerfamiljshus skall ersättas med fjärrvärme, både i befintliga byggnader och i nya byggnader.

Det finns flera fördelar med lägenhetscentraler i nya flerbostadshus. Till exempel: hyresgästerna kan själva välja sin innetemperatur, ha möjlighet till individuell debitering och minimera risken för legionella på grund av mycket små volymer uppvärmt tappvarmvatten. På systemnivå minskar det även temperaturbehovet för värmeförsörjningen och gör därför att lågtempererad värme lättare kan utnyttjas i fjärrvärmesystem.

#### 3.1.1 2020: Grand Tower, Frankfurt, Tyskland

Grand Tower i Frankfurt är ett nytt flerbostadshus med drygt 400 lägenheter. Byggnaden stod färdig 2020. Varje lägenhet har en individuell fjärrvärmecentral som ger uppvärmning, varmvatten och kyla till lägenheterna. Hyresgästerna har möjlighet att individuellt välja sin egen innetemperatur. Värmen tillförs av fjärrvärme, installerad värmeeffekt är 2,5 MW, och kylan tillförs av 2 kylmaskiner i byggnaden med en installerad kyleffekt på vardera 600 kW. Varje lägenhet försörjs med tre ledningar: fram- och returledning för fjärrvärme samt en färskvattenledning i stället för normalt fem ledningar: värmekrets fram och retur, kallt färskvatten, tappvarmvatten och varmvattencirkulation.

Länk:

<https://viomtankervatten.se/nyheter/grand-frankfurt-tower-varldens-mest-moderna-varmvattenlosning/>

#### 3.1.2 2020: Xplorion, Lund, Sverige

Xplorion är ett nytt passivhus i en ny stadsdel i Lund. Det är en del i ett fullskaletest i ett EU-projekt, COOL DH, som syftar till att demonstrera och utvärdera tekniska lösningar för att utnyttja mycket lågtempererad restvärme för lågtemperaturfjärrvärme.

Värmesystemet i Xplorion är konstruerat för en primär framledningstemperatur under 50 °C och har på sekundärsidan en värmepump för att få en framledningstemperatur till lägenheterna på 60 °C. Varje lägenhet har sin egna fjärrvärmecentral och hyresgästerna kan själva styra inomhustemperaturen i varje lägenhet. Rördragningen är utförd på samma sätt som i fallet ovan med tre rör: värme fram och retur samt kallt färskvatten. Eftersom varje lägenhet har en egen fjärrvärmecentral möjliggör detta lägre temperaturer till radiatorerna.

Returtemperaturerna från lägenheterna ligger mellan 25 och 30°C vilket ökar kapaciteten i fjärrvärmenätet i nätet och minskar nätförlusterna.

Referens: (Moallemi et al., 2023a)

Länk:

<http://www.cooldh.eu/>

### 3.2 LOKAL REDUKTION AV RETURTEMPERATUR

En absorptionsvärmepump (AHP) kan integreras i fjärrvärmecentralen som ett sätt att sänka returtemperaturen för att kunna använda värmekällor med lägre temperatur, minska förluster och därmed även öka nätkapaciteten. Nedan redovisas två fall som använder denna teknik, ett i Kina och ett i Tyskland.

#### 3.2.1 2008: Chifeng, Kina

I Kina har det funnits ett växande intresse för kraftvärme baserad på absorptionsvärmepump (co-ah-cykel). Genomförda projekt visar lovande resultat som ett sätt att sänka returtemperaturen för att öka överföringskapaciteten och möjliggöra användning av värmekällor med lägre temperaturer (Li et al., 2016). Jämfört med konventionell fjärrvärme har co-ah visat sig ge väsentligt ökad värmeöverföringskapacitet i näten och ökning av exergiverkningsgraden, dessutom till lägre kostnad (Sun et al., 2012).

Efter att ett demonstrationsprojekt testats i staden Chifeng 2008 (Li et al., 2011), byggdes en första storskalig industriell tillämpning i staden Datong. Absorptionsvärmepumpen använder den stora temperaturskillnaden mellan primär- och sekundärnät som drivkraft, returtemperaturen kunde sänkas från 70°C till 20°C. Resultaten visade en ökad leveranskapacitet i nätet med 40 %, och en ökad värmeeffekt med 50 % (Li et al., 2015).

#### 3.2.2 Föreslaget: Stuttgarts universitetet, Stuttgart, Tyskland

Vid universitetet i Stuttgart har en ammoniak-vattenabsorptionsvärmepump med syfte att sänka returtemperaturen i fjärrvärmenätet föreslagits (Mirl et al., 2018). Flödet i fjärrvärmenätet används för att driva värmepumpen och fjärrvärmens returflöde kyls i värmepumpens förångare, vilket möjliggör en nätretur som ligger under kundens egen returtemperatur. Genom att göra det kan fjärrvärmesystemets kapacitet ökas samtidigt som volymflödet minskas samtidigt som den lägre returtemperaturen leder till en högre total systemverkningsgrad.

### 3.3 STANDARDISERING AV FEL I FJÄRRVÄRMECENTRALER

Att minska antal fel i fjärrvärmecentraler är avgörande både för att bygga bättre och mer tillförlitliga fjärrvärmesystem, och för att sänka systemtemperaturerna. Standardisering av fel en viktig del för att systematiskt kunna identifiera och proaktivt arbeta med förbättringar.

I en doktorsavhandling från Lunds universitet (Månsson, 2021) skriver Sara Månsson om fel detektering i fjärrvärmecentraler med syftet att förstå och

identifiera utmaningarna i att hantera kunddata i energibolagens felhanteringsprocess. De vanligaste felen visade sig vara läckage och fel i kundernas interna värmesystem. (Månsson et al., 2019). För att identifiera fel och framför allt åtgärda dem för att få låga returtemperaturer är en bra kundrelationen avgörande. Andra viktiga faktorer är fysisk tillgång till kundanläggningar, serviceavtal och kundincitament. Att använda data från fjärrvärmecentralerna för att identifiera fel är också viktigt, och i (Månsson et al., 2018) föreslås ett tillvägagångssätt byggt på maskininlärning för att identifiera fel. Vidare utvecklas en taxonomi för feletiketter i (Månsson, 2021) för att kunna standardisera olika typer av fel i olika komponenter och system.

### 3.3.1 2018: K2, Smart Energi, Stockholm, Sverige

K2 är en implementerad mjukvara för automatisk identifiera fel i fjärrvärmecentraler och i kunders sekundärsystem. Mjukvaran är utvecklad och underhålls av Smart energi som är ett samarbete mellan 11 svenska fjärrvärmeföretag. K2 använder datavetenskapliga metoder för att upptäcka avvikelser från en önskad funktion. Det ger möjlighet att identifiera fel när de uppstår men ökar också kunskapen om kundens värmebehovsmönster. Mjukvaran är webbaserad med öppen källkod för medlemmar i Smart Energi. Installationen kan ske i molnet eller lokalt och det finns utvecklade API:er för dataimport.

Länk:

<https://smartenergi.org>

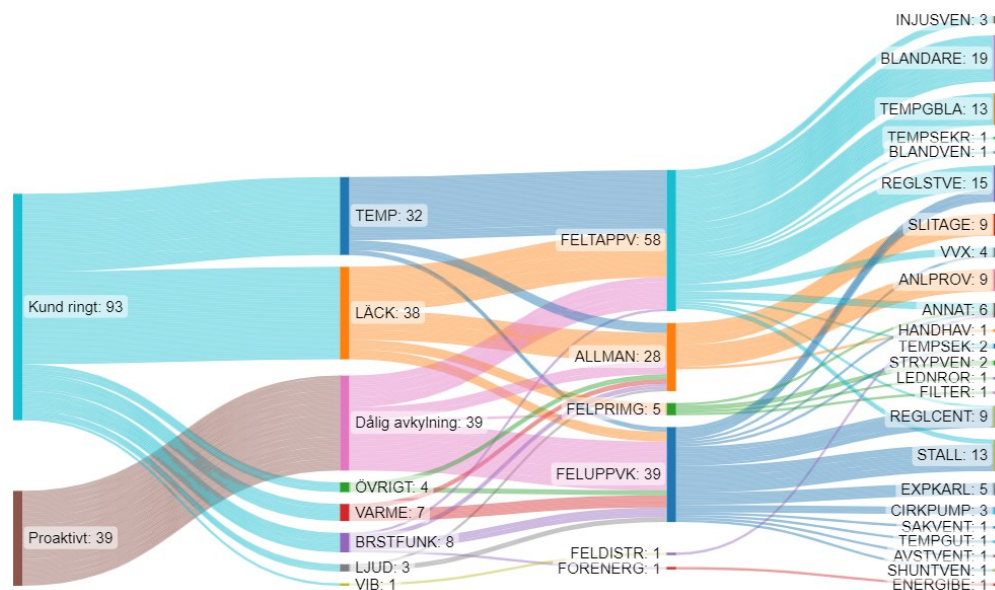
### 3.3.2 2019: Borås Energi & Miljö, Borås, Sverige

Borås Energi & Miljö har använt K2 några år för att identifiera fel i kundinstallationer inklusive värmemätare. Jämfört med tidigare år görs kundanalyser dagligen i stället som tidigare månadsvis. Upptäckta fel märks enligt den taxonomi som beskrivs i inledningen av detta kapitel.

Avsikten är att när tillräckligt med data har samlats in kunna använda den för att utveckla automatiserad felsökning för att kunna vara proaktiv gentemot kunderna. Idag är cirka 30 % av feldetekteringen proaktiv och resterande 70 % är kunder som kontaktar Borås Energi & Miljö för att de har problem. Figur 12 nedan visar flödet från rapporterade fel till identifiering av trasiga komponenter.

En intressant bieffekt är att färre fel uppstår vid faktureringsförberedelser i slutet av månaden eftersom fel som tidigare upptäckts under faktureringsprocessen nu upptäcks tidigare.





Figur 12: Struktur och motsvarande felfrekvenser vid Borås Energi & Miljö. (Publicerad med tillåtelse från Borås Energi & Miljö)

### 3.4 ÖVERVAKNING AV FJÄRRVÄRMECENTRALER

Denna möjlighet inkluderar användning av uppkopplade fjärrvärmecentraler för automatisk övervakning och feldetektering, och syftar till att använda högupplösta realtidsdata för att optimera på systemnivå. Förutom den uppenbara fördelen med feldetektering är andra fördelar förbättrad styrning av fram- och returtemperaturer som möjliggör sänkt temperatur.

#### 3.4.1 2020: The iHAST project, Frankfurt, Tyskland

Det genomförda projektet iHAST (Intelligente Hausanschlussstationen: Intelligent uppkopplade byggnader) koordinerat av tyska AGFW, som är branchorganisationen för kraftvärme, fjärrvärme och fjärrkyla, har fokuserat på digitalisering av fjärrvärmesektorn (EHP-Redaktion, 2020, Springer et al., 2020). Ett antal fjärrvärmeföretag utvecklade och testade användningen av intelligenta uppkopplade byggnader och självlärande nätdriftssystem. När iHAST implementerades för att förbättra reglerbarheten av fram- och returtemperaturer kunde temperaturerna sänkas vilket i sin tur ledde till en minskning av värmelasten med 6-8%. I de fjärrvärmenät som man använde en valfri lastförskjutningen innebar det en ytterligare bränslebesparing på 0,6 % och en minskning av koldioxidutsläpp med 0,5 %.

Länk:

<https://www.agfw.de/ihast>

#### 3.4.2 2021: Stockholm Exergi, Stockholm, Sverige

För att utnyttja möjligheterna med digitalisering har Stockholm Exergi sedan 2019 genomfört ett projekt där gateways har installerats i 11 000 av totalt 16 000 fjärrvärme och fjärrkylecentraler, (Stockholm Exergi, 2021). Gatewayerna, som



ersätter det gamla mätinsamlingssystemet, kan både samla in data och fjärrstyra fjärrvärmecentralerna. Denna teknik kan till exempel användas i extrema situationer där ett fel i värmeförseln. Baserat på realtidsdata som samlats in från fjärrvärmecentralens gateway kan värmeförseln regleras ner i byggnader centralt i nätet för att på så sätt fördela en värmebrist i näten på samtliga byggnader. Gatewayerna kan även användas för feldetektering och för värmestyrning av kunden själv. Planen är att alla 16 000 fjärrvärme- och fjärrkylecentraler ska ha gateways installerade i slutet av 2025.

Länk:

<https://www.stockholmexergi.se/nyheter/vad-ar-det-stockholm-exergi-installerar-i-fjarrvarmecentralerna/>

### 3.5 IDENTIFIERING AV FEL I FJÄRRÄRMECENTRALER

För att upptäcka fel och optimera både befintliga och framtida fjärrvärmenät är det viktigt att samla in och lagra högupplösta mätningar från fjärrvärmecentralerna. Utvecklingen inom hantering av data, inklusive maskininlärning, möjliggör effektivare upptäckt av fel, bland annat med lägre returtemperatur som resultat. Nedan beskrivs tre intressanta fall.

Länk:

<https://www.energi.se/artiklar/2024/januari-2024/det-finns-mycket-pengar-att-spara-genom-effektiva-fjarrvarmecentraler/>

#### 3.5.1 2020: Borås Energi & Miljö, Borås, Sverige

I ett genomfört pilotprojekt "Data Analytics for Fault Detection in District Heating" (DAD) har Högskolan i Borås tillsammans med industriparters utvecklat nya metoder och algoritmer, inklusive maskininlärning, för prediktiv analys. Detta inkluderar online-detektion av onormalt beteende i kundanläggningar genom att projektet utvecklat en Univariate Time Series Anomaly Labelling (UTAL) algoritm. DAD-projektet inkluderar också identifiering av dåligt fungerande kundanläggningar där en High Dimensional Large Scale (HDLS) anomalidetektionsalgoritm utvecklades med målet att kunna studera ett betydande antal kundanläggningar med avvikande beteende över långa tidsperioder.

Länk:

<https://www.hb.se/en/research/research-portal/projects/data-analytics-for-fault-detection-in-district-heating-dad/>

#### 3.5.2 2022: Data Science BRAVA, Stockholm, Sverige

Det implementerade projektet Data Science BRAVA var ett samarbete mellan akademien, datavetare och fjärrvärmebolag för att förbättra precisionen vid identifiering av avvikelser och mönster i värmeanvändning hos fjärrvärmekunder (Wästberg et al., 2022). Ett mål med projektet var att hitta och göra information tillgänglig, exempelvis genom att utveckla en plattform för datadelning. Ett annat mål var att utveckla och förbättra algoritmer och analytiska modeller samt tillämpa

dem i verkligheten – såsom den analytiska modellen ARNOLD som möjliggör en förfinad metod för felidentifiering. Att förbättra den samlade kompetensen inom fjärrvärmebranschen var också ett nyckelmål för projektet, särskilt genom att hitta modeller för samarbete mellan energiföretag, universitet och expertis inom AI och datavetenskap.

Länk:

<http://smartenergi.org/datasciencebrava/>

### 3.5.3 2022: Ulricehamns Energi, Ulricehamn, Sverige

I detta projekt har det kommunala fjärrvärmenätet i Ulricehamn sänkt returtemperaturen med hjälp av realtidsmätningar och automatiserad felidentifiering. Ulricehamns Energi har varit verksamma sedan 2001, och idag kommer 65% av värmen från restvärme och 30% kommer från en pelletspanna. (Borglund, 2021). Detta relativt nya fjärrvärmesystem har cirka 330 kunder i ett 32 km långt fjärrvärmenät med en årlig leverans på 50 GWh. Ett verktyg för att sänka returtemperaturen är timmätdata för alla kunder som lagrats sedan 2005 som används för att hitta fel i fjärrvärmecentraler. Deras strategi omfattar fyra åtgärder för att sänka returtemperaturen i fjärrvärmenätet.

1. Automatiserad detektion av fel, helst med mätinstrument och sensorer.
2. Vid avvikelser måste det omedelbart göras en inventering av felet.
3. Dokumentation av alla fel och deras orsaker; både tekniska och beteendemässiga orsakade av kunden.
4. Återkoppling till kunden, men också att lära av felen för att förbättra företagets felavkänning.

Detta arbete har resulterat i att den samlade årsmedelvärdet av returtemperaturen har minskat från 45°C till 39°C.

Länk:

<https://www.energi.se/artiklar/2022/januari-2022/sa-har-ulricehamns-energi-kapat-fjarrvarmekostnaderna/>

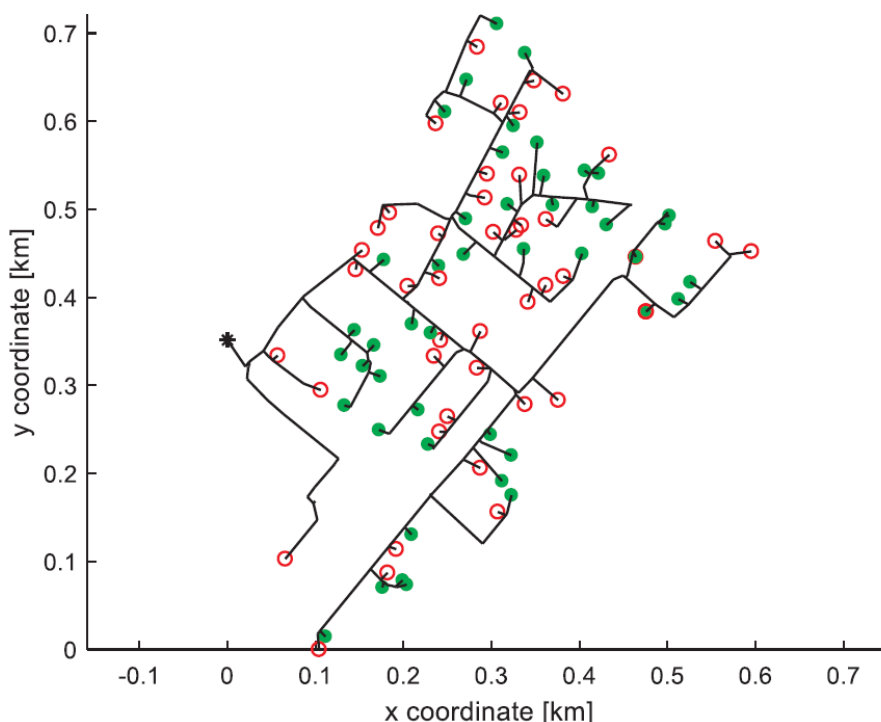
## 3.6 IDENTIFIERING AV VÄRMEVÄXLARES TERMISKA LÄNGDER

För att kunna sänka temperaturen i ett fjärrvärmesystem krävs goda NTU (Number of Thermal Units) i fjärrvärmecentralerna värmeväxlare. Med hjälp av högupplösta mätningar kan man identifiera beläggningar i värmeväxlare som används i fjärrvärmecentraler. Följande fall är ett exempel på en mjukvara som utvecklats i Italien för att göra detta för stora fjärrvärmenät utan att det kräver ny och dyr mätutrustning.

### 3.6.1 2020: IREN, Turin, Italien

En verktyg för automatisk felidentifiering i fjärrvärmenät föreslås och presenteras i en vetenskaplig artikel (Guelpa and Verda, 2020). Metoden är inte beroende av information om värmeväxlartyp, dimension eller geometri, vilket gör den användbar för stora nät som byggts upp över tid med begränsad information om installerade komponenter. I stället består indata endast av massflöde och

temperaturer, vilket vanligtvis samlas in för faktureringsändamål. En mjukvara utvecklades baserat på denna metod som ger en grafisk utdata (Figur 13), vilket kan användas för att hantera och planera rengöringsscheman för värmeväxlarna i nätet. Mjukvaran testades för ett antal fjärrvärmenät i Turin, som drivs av det lokala företaget IREN, med en uppskattad genomsnittlig minskning av energibehovet med cirka 1,6% på grund av ett effektivare rengöringsschema.



Figur 13. En exempelbild från den föreslagna mjukvaran för ett av de testade fjärrvärmenäten i Turin. En grön markör innebär att värmeväxlaren är ren, medan en röd markör indikerar behov av rengöring eller någon annan funktionsstörning. Bilden används med tillstånd från Elisa Guelpa (Guelpa and Verda, 2020).

### 3.7 SUMMERING AV 6 MÖJLIGHETER OM ATT ANSLUTA KUNDER

Detta kapitel har beskrivit 6 möjligheter när det gäller att ansluta kunder till fjärrvärmenät, med fokus på fjärrvärmecentralen som den naturliga anslutningspunkten. I fokus är insamling och hantering av värmemätardata som kan användas för att förbättra systemfunktionen för flera av möjligheterna, med syfte att minska den totala värmeanvändningen, sänka returtemperaturen samt förbättra den övergripande nätprestandan. Andra möjligheter tar upp individuella lägenhetscentraler samt absorptionsvärmepumpar för att sänka returtemperaturen och att standardisera fel.

Fokuset på att förbättra kundsidan har historiskt sett varit lågt eftersom det har inneburit mycket manuellt arbete och därmed varit kostsamt. Automatiserad datainsamling från byggnadsautomationssystem och värmemätare har möjliggjort betydligt mindre kostnader för optimering av kundgränssnitt och kunders interna system.

## 4 Flytta värme

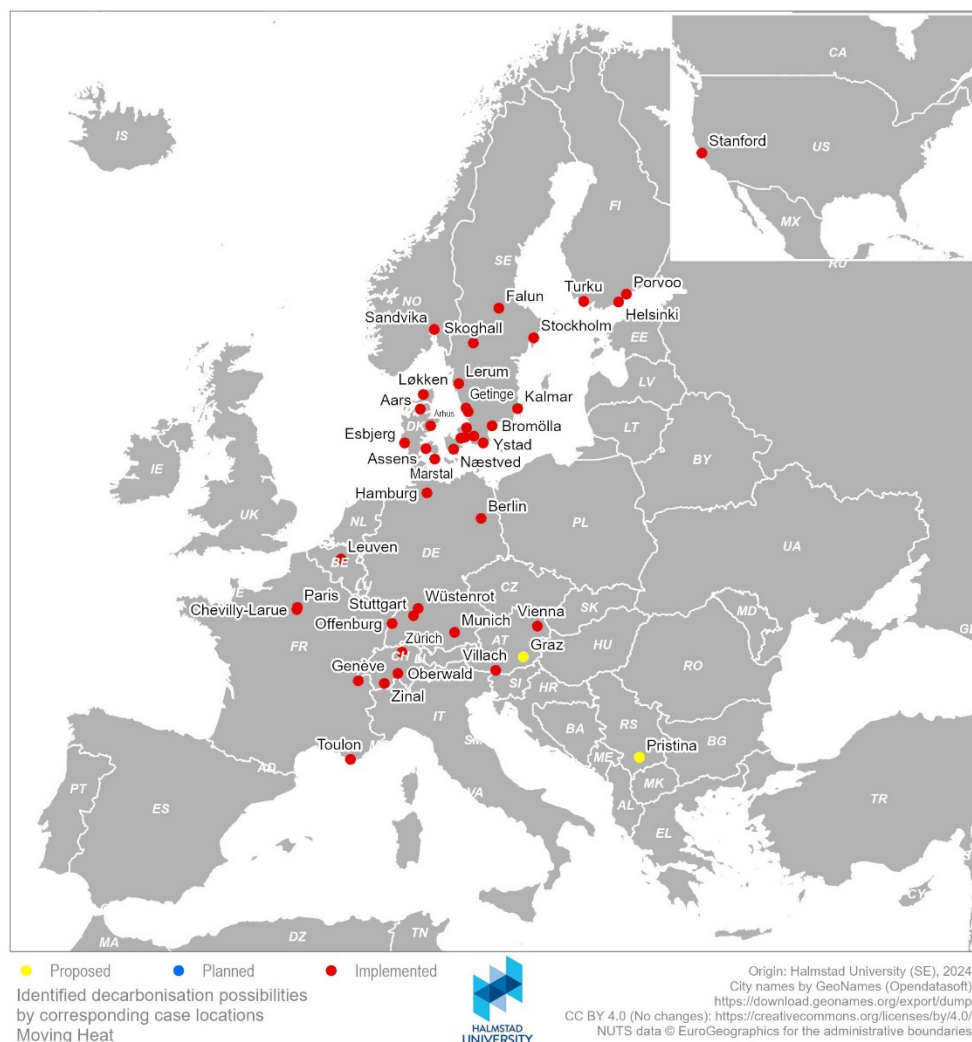
Förflyttning av värme i distributionsnät innehåller tolv olika möjligheter som direkt eller indirekt stödjer minskning av koldioxidutsläpp genom att använda lägre distributionstemperatur, lägre byggkostnader eller genom att stödja lägre drifts- och underhållskostnader.

Att skapa lägre distributionstemperaturer är en viktig åtgärd för att sänka värmeleveranskostnaden för den värme som har lägst koldioxidutsläpp. Denna viktiga fråga har utforskats i den omfattande handboken om implementering av lågtemperaturfjärrvärme (Averfalk et al., 2021).

De sex inledande möjligheterna presenterar olika implementerade nätverkskonfigurationer för tillämpning av lågtemperaturfjärrvärme. Dessa sex olika konfigurationer innehåller både varma och kalla nätverk, där ett kallt nätverk innebär fjärrvärmenät med en framtemperatur under 50°C. En mer omfattande översikt över dessa sex möjligheter finns tillgänglig i (Werner, 2022).

Den sjunde möjligheten tar upp lägre byggkostnader med plastledningar vid användning av lägre distributionstemperatur. Den åttonde möjligheten utforskar decentraliserad värmeleverans från lokala värmekällor. Den nionde och tionde möjligheten är två exempel på att få lägre distributionstemperatur, medan de två sista möjligheterna fokuserar på att minska risken för intern korrosion i distributionssystem genom online-övervakning. Det senare är viktigt i lågtemperaturnät, eftersom vattnet kan innehålla högre koncentrationer av syre när det är lägre temperatur i enlighet med Henrys lag.

En översikt över platserna för de identifierade fallen i databasen angående förflyttning av värme i distributionsnät presenteras i Figur 14.



Figur 14. Karta som visar placering av identifierade fall gällande förflyttning av värme.

#### 4.1 KLASSISK KONFIGURATION

Denna nätkonfiguration för lågtemperaturnät har definierats av (Werner, 2022) som liknande de konventionella system som finns i Skandinavien och andra platser, men som används med lägre nättemperaturer. Framtemperaturen är omkring 60-65°C, dvs högre än minimikravet för beredning av varmvatten och för att undvika tillväxt av Legionella. Returtemperaturen siktar på att sänkas till 30-35°C genom att åtgärda befintliga fel i nät, fjärrvärmecentraler och i kundernas värmesystem. Werner har identifierat två varianter av denna nätverkstyp: fram-fram koppling och retur-till-retur-koppling.

- Fram-fram-koppling: I denna variant har kunderna så hög returtemperatur att den ansluts tillbaka till framledningen, i stället för som brukligt till returledningen, för att inte höja temperaturen i returledningen.
- Retur-till-retur-koppling: I den andra varianten försörjs en kund eller del av fjärrvärmenätet som har låga temperaturkrav med returledningen från huvudnätet.

De främsta fördelarna med denna typ av koppling är minskning av värmeförluster och ökad värmeeffekt på grund av en lägre returtemperatur eller ökad nätkapacitet med minimala investeringar (Volkova et al., 2022). Den största nyttan av returtemperatursänkning finns i utkanten av näten där det kan finnas kapacitetsbegränsningar (Werner, 2022). Å andra sidan skulle platser närmare produktionsenheterna ge större värmemängder, men nyttan av minskningen i returtemperatur skulle vara mer begränsad. (Volkova et al., 2022)

Ytterligare referenser: (Moser et al., 2022, International Energy Agency (IEA), 2022)

#### 4.1.1 2010: Lystrup, Danmark

I ett danskt projekt "Full-scale demonstration of low temperature district heating in existing buildings" har ett lågtemperaturnät byggts i ett nytt stadsutvecklingsområde med 40 radhus som byggdes under perioden 2009-2010.

Samtliga hus byggdes med en kombination av radiatorer och golvvärme som var direktanslutna till fjärrvärmenätet. För varmvattenberedning finns två typer av fjärrvärmecentraler en som är utrustad med 120 l lagringstank och den andra med plattvärmväxlare för beredning av varmvatten.

Under den tvååriga mätperioden (2011-2012) var den genomsnittliga framledningstemperaturen 52-53°C och returtemperaturen 33°C, något högre än det mål på 30°C som sattes upp. Projektet visade den avgörande vikten av att uppnå en väl fungerande funktion i alla fjärrvärmecentraler, eftersom bara några enstaka felaktiga centraler kan ha en oproportionerlig stor inverkan på den gemensamma returen.

Referens: (Kaarup Olsen et al., 2014)

#### 4.1.2 2019: Brunnshög, Lund, Sverige

I COOL DH-projektet har Krafringen utvecklat ett lågtemperaturnät i området Brunnshög. Värmen, med en framtemperatur på 60-65°C, kommer att levereras av den nya forskningsanläggningen MAX IV, som även kommer att förse det konventionella nätet med högtemperaturvärme på 70-80°C. Från ett produktionsperspektiv kommer den främsta fördelen med det lågtempererade nätet att vara den högre värmätervinningsgrad från MAXIV jämfört med det som uppnåtts i samma anläggning för att förse det konventionella FV-systemet.

Vidare har det nya lågtemperaturnätet till en stor del byggts med de nya plaströren PE-RT som beskrivs i fall 4.7.1.

Referens: (Moallemi et al., 2023a)

Länk:

<https://smartcitysweden.com/best-practice/407/max-iv-combines-high-tech-laboratory-with-high-tech-sustainability/>

#### 4.1.3 1995: Biond, Helsingborg, Sverige (fram-fram)

Biond är en biogasproducent med två anläggningar. En anläggning är belägen i Helsingborg och producerar årligen 70-80 GWh biogas. Råvaran för biogasproduktionen kommer från organiskt avfall från industrier och hushåll, men även gödsel från jordbrukssektorn. Biogasprocessen som används är mesofil, vilket innebär att reaktortemperaturen är 37 °C. Innan råvaran pumpas till biogasreaktorn måste den dock värmas upp till 70 °C i 1 timme för hygienisering. Hygieniseringen görs med fjärrvärme, där returvattnet (70 °C) återförs tillbaka till framledningen i fjärrvärmenätet. Värmebehovet är cirka 6 GWh årligen.

Detta fall är på samma plats som fall 2.3.1.

Länkar:

<https://www.ox2.com/sv/pressrum/pressmeddelanden/2018/ox2-bygger-ny-forbehandlingsanlaggning-for-biogas-i-helsingborg/>  
<https://www.biond.se/anlaggningar/>

#### 4.1.4 2009: Hyttkammaren, Falun, Sverige (retur-till-retur)

Hyttkammaren, som är ett flerbostadshus, och Faluns teater har sedan 2009 respektive 2020 haft en kombination av fram- och retur koppling till uppvärmningssystemet.

I flerbostadshuset används returflödet på 40°C för ett golvvärmesystem, vilket endast kräver en maximal temperatur på 27°C. Framledningsflödet används enbart för beredning av varmvatten samt för några radiatorer samt uppvärmning av tilluft. I denna byggnad står returflödet för 42% av värmen och framledningsflödet levererar de återstående 58%.

Teatern har ett liknande system, men i detta fall används returflödet också för luftbehandlingsaggregatet. Detta leder till en högre andel returflöde, som når upp till 57%.

Huvudmotivet för Falu energi har varit att förbättra verkningsgraden hos rökgaskondenseringen genom att minska returtemperaturen. Företaget ersätter denna fördel till kunderna genom en minskad taxa för returflödet och borttagande av den fast avgift.

Referens: (Kretz, 2021)

## 4.2 MODIFIERAD KLASSISK KONFIGURATION

Syftet med modifierad klassisk konfiguration är att undvika de nuvarande begränsningarna i syfte att uppnå lägre nättemperaturer i den klassiska konfigurationen. Detta uppnås genom att göra tre modifieringar som syftar till att minska systemtemperaturerna i genomsnitt med 10°C under vad som är möjligt med den traditionella klassiska konfigurationen. Slutmålet är att framtemperaturen ska kunna vara 50°C vid fjärrvärmecentralen och att returtemperaturen skall vara ca 20°C.



Den främsta modifieringen av den traditionella konfigurationen har varit införandet av ett litet tredje rör som tar hand om cirkulationsflödet för att hålla en tillräckligt hög framledningstemperatur för beredning av varmvatten när det inte finns något uppvärmningsbehov. En annan modifiering är att använda värmeväxlare med längre termisk längd i fjärrvärmecentralerna för att på så sätt kunna ha lägre framledningstemperatur i nätet.

Dessa idéer togs initialt fram i (Averfalk and Werner, 2017) och senare även i (Averfalk and Werner, 2018). En ytterligare studie om designförhållandena för den tredje rörledningen i denna konfiguration publicerades av Averfalk et al. (2019). De ekonomiska drivkrafterna för konfigurationen har studerats i (Averfalk and Werner, 2020).

#### 4.2.1 2022: Ranagård, Halmstad, Sverige

Det första fjärrvärmenätet som tillämpar denna nya konfigurationsprincip har installerats i en del av det nybyggda bostadsområdet Ranagård i Halmstad. Projekteringsfasen har i detalj rapporterats i (Norrström et al., 2022). Det förväntade årliga värmebehovet i detta delnät är cirka 2 GWh med ett genomsnittligt specifikt värmebehov på 76 kWh per kvadratmeter boyta. Området består både av en- och flerfamiljshus, vilket ger en låg värmtäthet på endast 30 kWh per kvadratmeter markyta.

Den första värmeleveransen startade i november 2022. Den totala schaktlängden för de installerade tre rören är 2,9 km, vilket ger en total rörlängd på totalt 8,7 km.

Avsikten är att genomföra en utvärderingsstudie för att verifiera och jämföra de faktiska driftsförhållandena med resultaten från de tidigare datorsimuleringar. Mätning av nättemperaturerna kan börja när det sista byggnaden slutligen är ansluten under 2024 och därmed kommer den första kompletta mätserien för en hel uppvärmningssäsong att vara 2024/2025 eller 2025/2026.

### 4.3 FLERNIVÅKONFIGURATION

Denna nätkonfiguration kännetecknas av förekomsten av minst två framledningsrör som levererar värme vid olika temperaturer. Kunderna är anslutna till nätet genom att använda det framlednings- och returrör som bäst passar deras temperaturbehov.

De främsta fördelarna med denna konfiguration är att varje kund får värme vid den temperatur som bäst passar deras behov och möjligheten att uppnå lägre returtemperaturer. Det finns även nackdelar som nödvändigheten av att utveckla en serie parallella rör och utmaningen att samtidigt balansera kraven från alla kunder.

#### 4.3.1 1985: SEMHACH, Chevilly-Larue, Frankrike

Fjärrvärmesystemet i Chevilly-Larue, L'Hay-les-Roses och Villejuif (i södra utkanten av Paris) som drivs av Semhach har utvecklat på ett nät med upp till fyra framledningsrör med olika temperaturnivåer. Dessa temperaturnivåer klassificeras som hög temperatur, >60°C, medeltemperatur, 45-60°C, låg temperatur, 35-45°C,

och mycket låg temperatur, <35°C. Under 2023 var nätet 25 km långt och hade 80 km rör, vilket i genomsnitt ger 3,2 parallella rör.

Målet med de olika temperaturnivåerna är att dra full nytta av den geotermiska resursen (73°C) genom att inte leverera högre temperaturen än vad som behövs i respektive byggnad. Detta gör det möjligt att minska returtemperaturen och maximera temperaturdifferensen i nätet och därmed maximera mängden av uttagen geotermisk värme från det tillgängliga flödet.

Referenser: (Faessler and Lachal, 2017, Faessler, 2015, Faessler, 2016, SEMHACH, 2023)

#### **4.3.2 2018: NeckarPark, Stuttgart, Tyskland**

Den nya stadsdelen NeckarPark i Stuttgart kommer att förses med ett fyrrörers fjärrvärmenät. Det lågtempererade nätet (43 °C framledning och 28 °C retur) kommer att användas för byggnadsvärme och förvärmning av tappvarmvatten. Det högre temperaturen i nätet (75 °C framledning och 50 °C retur) kommer att användas för slutlig uppvärmning av tappvarmvattnet.

Den främsta drivkraften för detta system med två temperaturnivåer har varit att öka verkningsgraden i värmeproduktionen som kommer från en värmepump som använder avloppsvatten som värmekälla. Värmepumpen kommer att kompletteras med gaseldad kraftvärme samt en gaseldad spetslastpanna.

Referens: (Erhorn et al., 2018)

#### **4.3.3 2019: iGRID, Grundfos, Bjerringbro, Danmark**

Det danska företaget Grundfos har utvecklat ett system kallat iGRID för att skapa anpassade tryck- och lågtemperaturzoner i ett fjärrvärmenät (Grundfos, 2023c).

Grundfos lösning består av fyra olika delar. Det första är en prefabricerad blandningsloop, som kan monteras i ett skåp, en prefabricerad brunn eller monterat på en ram. Denna blandningsloop blandar retur- och framledningsflöden för att nå önskad temperatur. Dessutom kan den konfigureras i tre huvudlägen: den fria flödeslösningen, som höjer trycket i området; shunt-lösningen, som blandar in returflöde; och tryckreduktionslösningen, som sänker trycket i framledningsflödet. Den andra delen är en temperaturoptimerare, en specialiserad programvara som använder realtidsmätningar från nätet för att bestämma den lägsta möjliga framledningstemperaturen. Den tredje delen är en mätpunkt i en brunn, som är utrustad med ett termoelektrisk element så att ingen anslutning till elnätet behövs. Den fjärde delen är ett by-pass-skåp, som ser till att en minimitemperatur alltid finns tillgänglig för de kritiska kunderna.

Grundfos har implementerat denna utrustning i två kommuner på utkanten av Köpenhamn, Gentofte (Grundfos, 2019, Grundfos, 2023a) och Albertslund (Grundfos, 2022, Grundfos, 2023b) och (Hansen, 2023). Även om huvudorsaken till att denna produkt har installerats i båda fallen är att minska värmeförlusterna, som är ganska höga på grund av en låg värmeförbehåll, kan sänkningen av

framledningstemperaturerna även medföra ökningarna i verkningsgraden i värmeproduktionen (Geyer et al., 2021, Averfalk and Werner, 2020).

#### 4.4 ULTRALÅG KONFIGURATION

Huvudfunktionen hos en ultralåg konfiguration är att värme endast levereras från ett kallt nät och den tillgängliga lågtempererade värmen distribueras till lokala värmepumpar i kundanläggningarna. Ett kallt distributionsnät används också i nästa konfigurationslayout, som presenteras i avsnitt 4.5, men då levereras även kyla från samma nät.

Eftersom värmen distribueras med en liten temperaturskillnad mellan fram- och returledningarna i ett kallt nät blir flödet betydligt högre än i varma nät. Detta skapar ett högre energibehov för pumpning (Ruesch et al., 2015). Med nuvarande kostnadsnivåer har lönsamheten för denna konfiguration ifrågasatts i (Gudmundsson et al., 2022). Emellertid kan dessa kostnadsnivåer förändras i framtiden, särskilt för små värmepumpar som förväntas bli tillverkade i långa serier i framtiden.

Tre implementerade fall med användning av ultralåga nätkonfigurationen presenteras här från Schweiz, Tyskland och Belgien.

##### 4.4.1 1991: Furka tunneln, Oberwald, Schweiz

Dagvattnet från Furka-järnvägstunneln har ett flöde på 90 liter per sekund och en temperatur på 16°C. Detta har varit värmekällan för en grupp byggnader i byn Oberwald i kantonen Wallis sedan 1991. Det totala anslutna värmeeffektbehovet är cirka 1 MW, även om det tillgängliga flödet och temperaturen kan leverera 3 MW. Referenserna nedan presenterar också några andra byar i Schweiz som använder tunnelvatten för uppvärmningssyften, varav det äldsta togs i bruk 1979.

Referenser: (Rybach, 1995), (Rybach and Wilhelm, 1995) och (Rybach et al., 2003)

##### 4.4.2 2011: Agrothermie, Wüstenrot, Tyskland

Agrotemiprojektet i Wüstenrot startade 2011 med ett pilotprojekt för 23 bostadshus med ett totalt årligt värmebehov på 340 MWh. Tillförd värme utvinns från omgivningen med en ny grund horisontell geotermisk kollektor, även kallad en "agrotermisk kollektor". Värmen överförs till kundcentralerna via ett kallt nät med en temperaturvariation över året mellan 2 och 16°C. Nätet består av ett tvårörssystem med diametern DN250 för distributionsrör och DN40 för serviserör som har en total förläggningslängd på 500 meter. De decentraliserade kundvärmepumparna har termiska effekter mellan 6 och 20 kW, beroende på byggnadens storlek. De levererar en temperatur på 30-40°C för golvvärme och 50-55°C för tappvarmvatten. Månadsmedelvärdena de enskilda värmepumparnas värmefaktorer varierar mellan 3,6 och 4,5 under ett år.

Detta projekt innehåller en möjlighet för framtida kalla leveranser genom bli ombyggt till en kall KVK-konfiguration. De agrotermiska kollektorerna och den utförda utbyggnaden av systemet beskrivs närmare i avsnitt 7.5.1.

Referens: (Brennenstuhl et al., 2019)

#### 4.4.3 2017: Janseniushof, Leuven, Belgien

Detta pilotprojekt är relaterat till en ny översiktsplan för stadsförnyelse av Leuvens centrum. Janseniushof-projektet täcker en 25 000 kvadratmeter stor markyta genom att ersätta en parkeringsplats för ett tidigare sjukhuscampus. Den omfattar 206 bostäder i fyra byggfaser. De två sista av dessa faser fungerar som pilot för Aquifer Thermal Energy System (ATES) och ett lågtemperaturnät.

Lågtemperaturnätet med oisolerade rör överför värme från tre parallella geotermiska brunnar som vart och ett består av ett varmt och ett kallt borrhål. Det finns även möjlighet att ladda borrhålen med värme från ån Dijle som passerar intill projektområdet. Systemtemperaturerna är 14°C för framledningen och 8°C för returledningen. I flerfamiljshusen höjs temperaturen till 40°C med värmepumpar för uppvärmning och förvärmning av tappvarmvatten. Lokala boostervärmepumpar höjer temperaturen på tappvarmvattnet till 55°C.

Detta projekt innehåller också en möjlighet för framtida kalla leveranser genom ombyggnad till en kall KVK-konfiguration. Erfarenheterna från detta pilotprojekt kommer att användas vid renoveringen av det tidigare sjukhusområdet på 6 800 kvadratmeter kallat Hertogensite, beläget intill Janseniushof-området.

Referens: (Pattijn and Baumans, 2017)

## 4.5 KALL KVK-KONFIGURATION

Enligt (Werner, 2022) karakteriseras kalla kombinerade värme- och kylsystem av att leverera både värme och kyla, på ett liknande sätt som vanlig kraftvärme men skiljer sig från den senare konfigurationen genom att systemtemperaturen är otillräcklig för att producera varmvatten.

Deras huvudsakliga fördel ligger i att utnyttja synergier vid samtidig leverans av värme och kyla med samma nät. Deras främsta nackdelen ligger i decentraliseringen av värme- och kylproduktionen, som utesluter utnyttjande av stordriftsfördelar vid värmeproduktion och termisk lagring, högre flöden på grund av små temperaturskillnader samt kravet på att alla kunder behöver vara utrustade med värmepumpar.

Werner har identifierat två varianter av denna konfiguration. I den första varianten är temperaturen tillräckligt hög för uppvärmning av bostäder, men en booster- värmepump krävs för varmvatten och en kylmaskin för kylproduktion. I den andra varianten är kalla rörets temperatur tillräcklig för att leverera kyla direkt från nätet. Å andra sidan krävs en värmepump för att täcka hela värmeeffektbehovet.

### 4.5.1 2013: FGZ, Zürich, Schweiz

Bostadskooperativet "Familienheim-Genossenschaft Zürich" (FGZ) har sedan 2011 utvecklat ett kallt nät med oisolerade rör i utkanten av Zürich. Nätet tillhandahåller kyltjänster till två närliggande datacentraler, och restvärmen

används antingen direkt eller lagras i en borrhålslager under vintern. Vattentemperaturen i nätet varierar över året mellan 8°C och 28°C och i varje byggnad finns värmepumpar för att höja temperaturen för byggnadsuppvärmning och varmvatten. 2018 var det totala värmebehovet 35 GWh för en total uppvärmd yta på 185 000 m<sup>2</sup>, men nätet är byggt för att kontinuerligt kunna expandera fram till 2050.

Källa: (Kolb, 2018)

#### 4.5.2 2017: Saclay-universitetet, Paris, Frankrike

Fjärrvärmesystemet i Paris-Saclay har utvecklats för att försörja ett nytt universitetscampus belägen 20 km söder om Paris. Det består av en geotermianläggning med ett kallt nät med en temperatur på 30°C i framledningen och 12°C i returledningen som i sin tur försörjer flera decentraliserade produktionsanläggningar för fjärrvärme. Dessa anläggningar levererar värme till ett varmt nät (63/45 °C) och till ett fjärrkylsystem (6/12 °C) till vilka kunderna är kopplade. För att kunna anslutas måste byggnadernas radiatorer dimensioneras för att kunna fungera med en framledningstemperatur på 55°C.

Även om det mesta av värme och kyla kommer från Albein-reservoaren, har även en gaseldad spetslastpanna installerats i den centrala produktionsanläggningen för att täcka spetslast och höja temperaturen från 30°C till 90°C.

Referens: (Paris Saclay, 2019, Galindo Fernández et al., 2021)

#### 4.5.3 2018: EON Ectogrid, Medicon village, Lund, Sverige

E.ON har utvecklat ett kallt nät i Lund som försörjer verksamhetsområdet Medicon village med både värme och kyla. Varje byggnad är utrustad med en värmepump som ska balansera värme- och kylbehoven för byggnaden. Återstående behov tas från nätet, som har temperaturer runt 25°C i framledningen och 15°C i returen. Nätet är i sig anslutet till en passiv enhet och en aktiv balanseringsenhet. Den passiva enheten består av en ackumulatortank som försöker jämna ut alla värme- och kylflöden. Om det inte räcker kompenserar den aktiva enheten obalansen.

Det finns totalt 15 anslutna byggnader till Ectogrid i Medicon Village, som tidigare hade ett årsbehov på 10 GWh värme och 4 GWh kyla. Det långsiktiga målet för nätet är att balansera 11 GWh per år och endast tillföra 3 GWh externt.

Referens: (E.ON, 2023)

Länk:

<https://www.energi.se/artiklar/ectogrid-later-byggnader-dela-pa-varme-och-kyla/>

## 4.6 VARM KVK-KONFIGURATION

Återvinning av värme från kylning av byggnader med hjälp av kombinerad värmning och kylning kan också utföras när ett fjärrvärme- och ett fjärrkylsystem finns på samma plats. Således överförs värmen centralt från kondensatorerna i

kylsystemet till värmesystemet. Detta kallas varm KVK, eftersom ett varmt nät används för att distribuera värmen från det kallare fjärrkylasystemet.

#### 4.6.1 1989: Sandvika, Norge

Detta var den första stora installationen av varm KVK i Europa när Baerum Energiverk ursprungligen tog i drift två stora värmepumpar 1989. De kunde tillsammans generera 13 MW värme och 9 MW kyla. Kapaciteten har senare utökats. När kyla inte efterfrågas under vintern utvinns i stället ytterligare värme från en tunnel med obehandlat avloppsvatten. Värmeleveransdelen av detta varma KVK-fall beskrivs vidare i fall 8.7.1.

Länk:

<https://celsiuscity.eu/energy-recovered-from-sewage-water-in-sandvika-norway/>

#### 4.6.2 1995: Stockholm, Sverige

Stockholm tog i drift sitt första fjärrkylasystem 1995. En stor del av kylan genererades ursprungligen från stora värmepumpar som byggdes på 1980-talet. Dessa stora värmepumpar är placerade på två platser (Värtan och Hammarby), båda är sammankopplade med ett fjärrkylasystem. Den installerade kapaciteter för de stora värmepumparna finns listade i (Levihn, 2017) och har en total effekt på 660 MW värme med en möjlig kyleffekt på 466 MW. Eftersom kundbehovet för kylning mindre än tillgänglig kyleffekt, avgavs restkyla till omgivningen. Det finns med andra ord goda förutsättningar för utvidgning av fjärrkylasystemet.

Under 2022 kom hälften av den genererade kylan från de stora värmepumparna. Den återstående kylan kom från frikyla från havsvatten (22%) och från mekaniska kylmaskiner utan värmeåtervinning för spetslast (27%). När kylning inte efterfrågas under vintern utvinns ytterligare värme från havsvatten och behandlat avloppsvatten.

Värmeleveransdelen av detta varma KVK-fall beskrivs vidare i avsnitt 8.7.2.

#### 4.6.3 2006: Helsingfors, Finland

De stora värmepumparna på den centrala Katri Vala-anläggningen togs i drift 2006. Initialt hade denna anläggning effekter på 90 MW värme och 60 MW kyla. Fram till 2023 har kapaciteten utökats till totalt 155 MW värme och 104 MW kyla i sju parallella enheter, vilket gör det till en av de största KVK-anläggningarna i världen.

Under 2022 stod Katri Vala-varmepumparna för 91% av all kyleffekt som matades in i fjärrkylasystemet i Helsingfors. Den återstående kyleffekten kom från frikyla från havet tillsammans med mekaniska värmepumpar och absorptionsvärmepumpar för kylning.

Värmeleveransdelen av detta varma KVK-fall beskrivs vidare i avsnitt 8.7.3.

Länkar:

<https://www.helen.fi/en/about-us/energy/energy-production/power-plants/katri-vala-heating-and-cooling-plant>

<https://www.helen.fi/en/news/2020/new-heat-pump>  
[https://energia.fi/en/newsroom/publications/district\\_cooling\\_statistics.html#material-view](https://energia.fi/en/newsroom/publications/district_cooling_statistics.html#material-view)

#### 4.6.4 2015: Stanford University, Stanford, USA

2015 blev detta fall den första stora varma KVK-installationen som installerades i USA. Det var en grundsten i Stanford Energy System Innovations (SESI)-projektet och innebar en betydande övergång från en central gasdriven kraftvärmeanläggning till några centrala värmepumpar som försörjs med el från solceller. Det befintliga fjärrkylesystemet från 1960-talet kopplades då samman med ett nybyggt fjärrvärmesystem, som ersatte ett gammalt baserat på ånga. Senare fattades beslut om att utöka kylkapaciteten i fjärrkylesystemet.

Värmeleveransdelen av detta varma KVK-fall beskrivs vidare i avsnitt 8.7.4.

Referenser: (Stanford University, 2014), (Stagner, 2016), och (Stanford News, 2020).

## 4.7 PLASTRÖR

Kingspan Logstor har utvecklat en ny typ av flexibla plastledningar, PE-RT-ledningar, inom EU-projektet Cool DH. Dessa nya ledningar presenterar en rad nyheter jämfört med befintliga plastledningar.

PE-RT-ledningar tillverkas av polyeten som klarar högre temperaturer som kan motstå temperaturer som finns i fjärrvärmenät. Denna typ av plast har inte tidigare använts för fjärrvärmeledningar.

PE-RT-ledningar har möjlighet att använda smältnuffar, vilket ökar installationshastigheten och gör att man inte behöver specialkompetens för skarvning.

Tillverkaren har infört ett 3dc-detektionssystem som består av tre ledare med 0,75 mm<sup>2</sup> tvärsnittsarea och som kan övervaka hela ledningssystemet.

PE-RT-ledningar är återvinningsbara, till skillnad från PEX-ledningar, vars härdningsprocess är irreversibel (Singh et al., 2019).

PE-RT-ledningar finns i större dimensioner än befintliga flerskikt-PEX/aluminium/PE-HD-ledningar.

PE-RT-ledningarna har en diffusionsspärr av aluminium som är effektiv mot diffusion av syre, vattenånga och eventuella farliga ämnen från isoleringsmaterialet. Detta är en förbättring jämfört med den diffusionsspärr av plast i befintliga plastledningar, som endast bromsar syrediffusion.

Referens: (Jorsal, 2022a, Jorsal, 2022b)

#### 4.7.1 2019: Cool DH, Lund, Sverige

Kraftringen i Lund har använt de nya PE-RT-ledningarna i det nybyggda lågtemperaturnätet i den nya stadsdelen Brunnshög. I nätet är 735 m (84%) byggt



med PE-RT-ledningar, och 137 m byggdes med konventionella stålrör främst beroende på behov av större dimensioner.

Fördelar under projektet enligt Krafringen och Logstor var:

- Snabb installation och färre skarvar tack vara långa sektioner och rörens flexibilitet och leveransform (rullar på upp till 100 m långa). Detta leder till lägre installationskostnader jämfört med stålrör.
- Rörens flexibilitet gör det lättare att undvika hinder och möjliggör användning av smalare schakt.
- Inget behov av svetsare för stål.
- Plaströr i lågtemperaturnät behöver inga lyror för termisk expansion, vilket förenklar förläggningen.

Nackdelar som observerades var:

- Trots sin flexibilitet är PE-RT fortfarande ganska styva, särskilt i större dimensioner, vilket kan göra det svårt att ansluta dessa rör till T och andra delar.
- Installationsfördelarna minskar med ett ökande antal skarvar.
- Det finns begränsningar i storlek och mantel för dessa rör, särskilt för tvillingrör.
- Dessa PE-RT-rör kan vara svåra att hantera vid kallt väder under 10°C, och därför är installationen av dessa rör mer beroende av vädret än stålrör.
- PE-RT-rör med diffusionsspärr i aluminium är något dyrare än PEX-rör och har liknande kostnad som stålrör.
- De har högre värmeförluster än stålrör på grund av begränsningen av mantelns storlek.

Detta fall är i samma område som fall 4.1.2.

Referens: (Moallemi et al., 2023a)

#### 4.7.2 2019: Cool DH, Høje Taastrup, Danmark

PE-RT-ledningar användes också i det nya lågtemperaturnätet i Østerby i den danska kommunen Høje Taastrup, strax väster om Köpenhamn. Även om stålrör användes för huvudledningarna, användes PE-RT-ledningar för den stora majoriteten av nätet (93% av 3 119 m). I detta projekt upplevdes liknande fördelar och nackdelar som i projektet i Lund som beskrivs ovan.

Referens: (Moallemi et al., 2023b)

## 4.8 DECENTRALISERAD INMATNING

Decentraliserad inmatning från solvärme är ganska utmanande eftersom inmatningen bör ha en konstant inmatningstemperatur, medan värmegenereringen, differenstrycken och returtemperaturen varierar under dagen. I (Lennermo et al., 2019) beskrivs en systemlayout tillsammans med två tillämpade styr- och reglerstrategier en temperaturstyrningsstrategi som används i Lerum och en flödesstyrningsstrategi som används i Ystad.

#### 4.8.1 2014: Lerum, Sverige

Solvärmeverket i Lerum har en solfångaryta på 857 m<sup>2</sup> och har varit i drift sedan 2014. Solvärmeverket har implementerat en temperaturstyrningsstrategi. Fokus ligger på att kontrollera den inkommande temperaturen till solfångaren för att få en lämplig tillförseltemperatur vid aktuell solinstrålning. Ur rördragnings-synpunkt är huvudskillnaden jämfört med flödesstyrningsstrategin, beskriven nedan, att systemet har en kortslutning på primärsidan. Detta fall är på samma plats som fall 7.6.6.

Referens: (Lennermo et al., 2019)

#### 4.8.2 2017: Ystad, Sverige

Solvärmeverket i Ystad har 534 m<sup>2</sup> stor solfångaryta och har varit i drift sedan 2017. Här används vad som kallas en flödesstyrningsstrategi. Fokus är den efterfrågade framledningstemperaturen till fjärrvärmenätet, vilken uppnås genom styrning av flödet genom solfångarna. Detta fall är på samma plats som fall 7.6.9.

Referens: (Lennermo et al., 2019)

### 4.9 IDENTIFIERING AV CIRKULATIONSFLÖDEN

Traditionellt sett har modeller av fjärrvärmenät byggts på geografisk information om nätverkets topologi och rörens egenskaper vid tidpunkten för installation, kompletterat med mätningar vid produktionsanläggningarna och några få mätpunkter ute i nätet. Installationen av automatiska mätinsamlingsystem och därmed insamling av data från samtliga värmemätare har givit möjligheten att använda stora mängder data om temperaturer och flöden för att förbättra nätmodeller och göra dem mycket närmare verkligheten.

Heat Intelligence, utvecklat av Kamstrup, kombinerar en GIS-modell av nätet med data från värmemätare i en modell som visar flöden, temperaturer och tryck i hela nätet. Modellen möjliggör upptäckt av läckage, felaktiga rundgångar och ledningar med oväntat höga värmeförluster.

Referens: (Kamstrup, 2023)

Länk:

<https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/20704/rundgangars-ekonomiska-betydelse-for-fjarrvarmenaten-varmeforskrappport-525.pdf>  
<https://www.kamstrup.com/se-se/news-and-events/news/goteborg-energi-och-kamstrup-samarbetar>

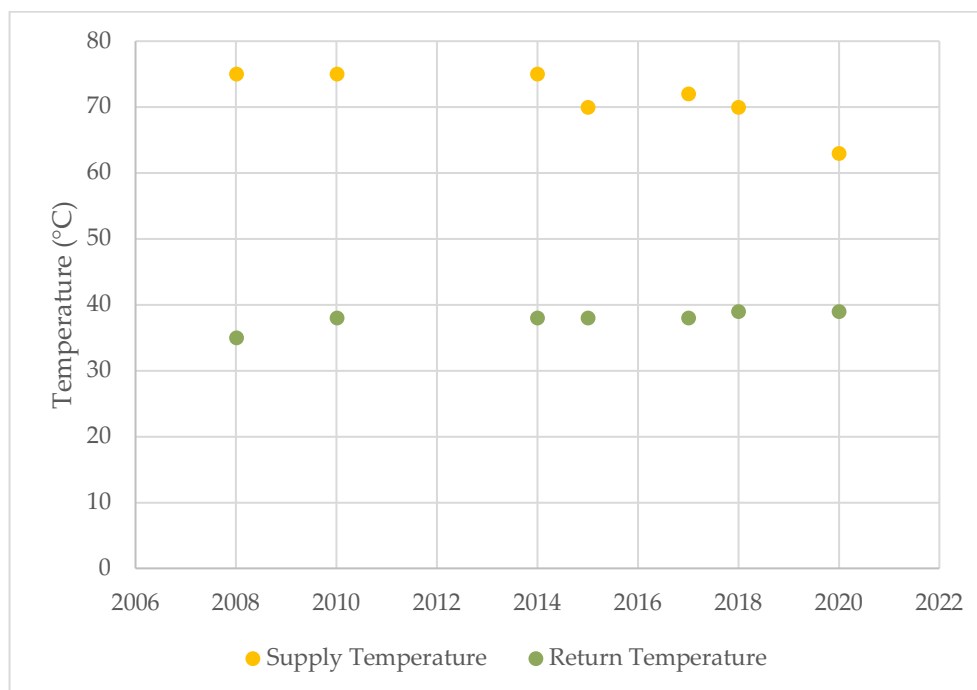
#### 4.9.1 2013: Assens, Danmark

Fjärrvärmesystemet i Assens har använt Heat Intelligence från Kamstrup för att övervaka sitt nät och har lyckats sänka framtemperaturen, som visas i Figur 15, och därigenom uppnått en årlig besparing på 2,5-3 GWh enligt företaget.

Länkar:

<https://www.kamstrup.com/se-se/kundreferenser/varme/case-assens-district-heating>

<https://fjernvarmen.danskfjernvarme.dk/p/magasinet-fjernvarmen/2019-09-27/a/optimering-rimer-pa-digitalisering/3045/356283/17425181>



Figur 15. Systemtemperaturer i Assens. Källa: (Dansk Fjernvarme, 2008, Dansk Fjernvarme, 2010, Dansk Fjernvarme, 2012, Dansk Fjernvarme, 2014, Dansk Fjernvarme, 2015, Dansk Fjernvarme, 2017, Dansk Fjernvarme, 2018, Dansk Fjernvarme, 2019, Dansk Fjernvarme, 2020)

#### 4.9.2 2018: Aars Fjernvarme, Aars, Danmark

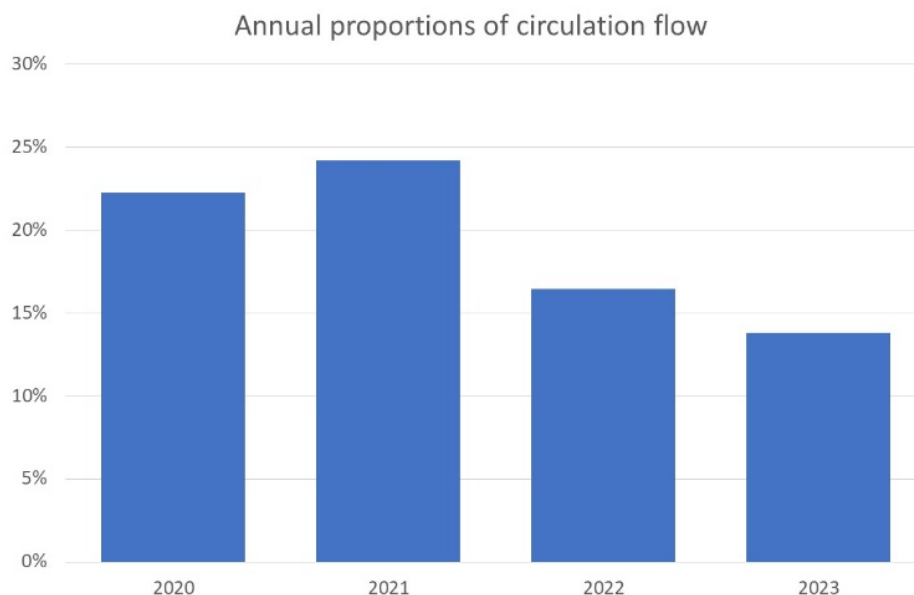
Fjärrvärmesystemet i Aars på norra Jylland har använt programvaran Heat Intelligence från Kamstrup för att övervaka sitt fjärrvärmenät och har lyckats minska antalet cirkulerande flöden från över 200 till 16. Trots att framledningstemperaturen minskade med 3°C, minskade returtemperaturen med 1,5°C i delar av nätet.

Länk:

<https://www.kamstrup.com/se-se/kundreferenser/varme/aars-heat-intelligence>

#### 4.9.3 2020: Hammarö Energi, Skoghäll, Sverige

Hammarö Energi har tagit ett initiativ till att identifiera de årliga cirkulationsflödena i Skoghälls fjärrvärmenät. Utfallet av deras analys presenteras i Figur 16. Cirkulationsflödena skattades med årliga skillnaden mellan allt flöde som passerade de två inmatningarna till nätet och alla uppmätta flöden i fjärrvärmecentralerna. Den erhållna minskningen av det totala cirkulationsflödet under 2022 och 2023 beror på att man reducerade många kortslutningsflöden i servisledningar som saknade kunder. Dessa flöden användes för att undvika isbildning i rören under kalla vintrar.



**Figur 16.** Årliga andelar av cirkulationsflöde i Skoghalls fjärrvärmenät mellan 2020 och 2023. Andelarna refererar till de årliga flödesvolymerna som passerar de två inmatningarna till nätet.

Referens: Personlig kontakt med Hammarö Energi

#### 4.10 CENTRAL REDUKTION AV RETURTEMPERATUR

Det har varit väl känt i årtionden att låga returtemperaturer är fördelaktiga i fjärrvärmesystem. Det vanligaste sättet att uppnå låga returtemperaturer är att identifiera värmeanvändare med dålig avkylning och vidta åtgärder för att förbättra fjärrvärmecentralen eller byggnaden. För lågtemperaturkällor, centrala solfångare och värmelager kan det vara fördelaktigt att centralt minska returtemperaturen med hjälp av en värmepump. Detta tillvägagångssätt ger flera fördelar, såsom:

- Ökad produktion av solvärme.
- Minskad storlek på lager.
- Användning av låga lagringstemperaturer.
- Minskning av värmeförlusterna från värmelagringen.
- Användning av el under perioder med hög produktion av vindkraft för att lagra den som värme.

De nämnda fallen nedan är samtliga solvärmeanläggningar för fjärrvärme.

##### 4.10.1 2012: Marstal Fjernvarme, Marstal, Danmark

SUNSTORE 4 var projektnamnet för byggnationen av ett solfångarfält med ett groplager och en värmepump i Marstal, Danmark. Det har varit i drift sedan 2012. Den kompressordrivna värmepumpen är på 1,5 MW och använder koldioxid som köldmedium för att kyla ner lagret till under 10 °C under vinterperioden och producera värme med en temperatur på 75-90 °C. Anläggningen har även en flispanna som används under vintern.

Referens: (Planenergi, 2013)

#### 4.10.2 Planerat: Pristina, Kosovo

En mindre version av den stora solenergianläggningen, som ursprungligen utvecklades för Graz (se nedan), planeras nu för Pristina, Kosovo. Finansieringen av projektet undertecknades 2022 och den beräknas bli driftsatt i slutet av 2027.

Systemet kommer att ha en effektkapacitet på 41 MW och en årlig värmeleverans på 43 GWh. Det kommer att finnas ett groplager på 410 000 m<sup>3</sup> med en ansluten absorptionsvärmepump på 20 MW.

Varma sidan av absorptionsvärmepumpen kommer att ta sin värme från det befintliga fjärrvärmenätet med hög temperatur, ty systemtemperaturen i det befintliga nätet är 120/60 °C, medan det nya fjärrvärmenätet kommer att ha systemtemperaturer på 80/60 °C. Detta fall är på samma plats som fall 7.6.16.

Länkar:

<https://solarthermalworld.org/news/big-solar-in-kosovo-replaces-coal-based-electric-heating/>  
<https://www.ebrd.com/news/2022/kosovo-becomes-first-western-balkans-economy-to-use-solar-energy-for-district-heating.html>

#### 4.10.3 Föreslaget: Big Solar Graz, Graz, Österrike

BIG Solar Graz var ett föreslaget projekt med solfångare, tillhörandet groplager och en absorptionsvärmepump för värmeförsörjning till Graz i Österrike. Med en solfångaryta på 500 000 m<sup>2</sup>, ett groplager med på 1 000 000 m<sup>3</sup> och en termisk effekt på 100 MW för absorptionsvärmepumpen skulle solvärmeandelen ha utgjort en femtedel av totala värmeförsörjningen till fjärrvärmenätet i Graz.

För att öka framtemperaturen från groplagret och värmeleveransen till absorptionsvärmepumpen skulle en separat gaspanna användas.

Absorptionsvärmepumpen skulle användas för att öka temperaturen från groplagret när det behövdes. Temperaturen från groplagret förväntades variera mellan 90 och 20 °C, och framtemperaturen från absorptionsvärmepumpen till nätet planerades till 85 °C.

Detta projekt föreslogs som en första åtgärd för att ersätta det kolbaserade kraftvärmeverket i Mellach, som stängdes 2020. Detta fall är på samma plats som fall 7.6.17.

Referens: (Reiter et al., 2016)

### 4.11 KONTINUERLIG SYREMÄTNING OCH SYREAVSKILJNING

Historiskt sett har aktiv avluftning i interna värmesystem för byggnader inte varit nödvändig för att minska korrosionen, då höga temperaturer har använts. Enligt Henrys lag är förmågan att lösa syre i vatten högre vid lägre temperaturer. Detta skapar en högre korrosionsrisk vid distribution vid låg temperatur i stålrör. I fjärrvärmesystem har den vanliga lösningen för att avlägsna syre varit att mäta med vissa tidsintervall och sedan tillsätta kemikalier för att motverka korrosionen. Med lägre temperaturer i nybyggda fjärrvärmesystem, tillsammans med strävan att minska användningen av kemikalier, är kontinuerlig mätning och avlägsnande

av syre en möjlighet för att minska risken för korrosion i lågtempererade fjärrvärmenät.

#### 4.11.1 2016: QTF, Kalmar, Sverige

QTF är ett företag som under årtionden har levererat avgasningsutrustning främst för interna system i byggnader, men också till ett antal mindre lågtempererade fjärrvärmesystem i Lessebo kommun för att minska inre korrosion i näten. I stället för att tillsätta syreminskande kemikalier används vakuum för avluftning av vätskan. QTF-utrustningen har en kontinuerlig mätning och avluftning. Systemet kan kontinuerligt ge en syrehalt på mindre än 0,5 mg syre per liter.

Länk:

<https://qtf.se/home/>

#### 4.11.2 2020: Offenburg, Tyskland

I fjärrvärmenätet i Offenburg har sedan 2020 kontinuerlig avluftning genom att utrustning från Busch Vacuum Solutions installerats. Av miljöskäl är kemisk avluftning inte ett alternativ. Den använda tekniken är vakuumavluftning. Avluftningspumpen är en del av den kontinuerliga driften av fjärrvärmenätet.

Referens: (Markanic, 2022)

Länk:

<https://www.buschvacuum.com/global/en/news-media/optimum-water-properties-in-the-district-heating-network-thanks-to-state-of-the-art-vacuum-technology.html>

### 4.12 KONTINUERLIG KORROSIONSMÄTNING

Traditionellt sett har korrosionsmätningar utförts på ett fåtal strategiska punkter i fjärrvärmenätet. Men kraftigt minskad kostnad för elektronisk utrustning och framväxten av mobila datanätverk gör det möjligt att kontinuerligt mäta och övervaka av parametrar som indikerar korrosion på ett ökande antal punkter eller nätsektioner, och att analysera data med minimal arbetsinsats. Två exempel på dessa teknologier är Rysicor, utvecklad av det belgiska företaget Resus, och Smart Active Box, utvecklad av Arne Jensen AB och installerad i Öresundskrafts fjärrvärmenät.

#### 4.12.1 2022: Helsingborg, Sverige

Öresundskraft i Helsingborg, har tillsammans med Arne Jensen AB utvecklat Smart Active Box, SAB. En enhet installeras i vardera av två inspektionskamrar separerade med några hundra meter rör möjliggör en kontinuerlig mätning av stålrorets genomsnittliga tjocklek, eller egentligen hållfastheten i röret. SAB:arna skickar ljudpulser mellan varandra vilka förändras beroende på rörets kondition.

Dessutom kan SAB:arna upptäcka läckage och utföra andra mätningar i inspektionskammaren, såsom luftfuktighet, vattenstånd, koldioxid- och syrehalter, eller fjärrvärmeparametrar såsom vattentryck och temperatur.

Alla mätningar samlas in och lagras för att övervaka och för att kunna få larm om något är fel. Enheterna får elförsörjning genom att utnyttja temperaturskillnaden mellan fjärrvärmevatten och kammarens temperatur och behöver därför inga batteribyten.

Referens: (Gurklienè et al., 2023)

#### 4.12.2 Föreslaget: Resus, Merksem, Belgien

Det belgiska företaget Resus har utvecklat en ny sensor, Risycor, för att identifiera korrosion i fjärrvärmenät. Risycor bygger på att man mäter massförlusten av en järnsond vilket är ett mått på vattnets korrosivitet. Sensorn är utrustad med en egen programvara som analyserar data och varnar vid oväntade korrosionsnivåer. Dessutom mäter enheten även temperatur och tryck.

Referenser: (Laufkotter, 2022, Resus, 2023)

### 4.13 SUMMERING AV 12 MÖJLIGHETER OM ATT FLYTTA VÄRME

Förmågan att flytta värme är grunden för all fjärrvärme. Denna förflyttning omvandlar restvärme och annan värmeförsel till en användbar, värdefull och efterfrågad produkt. Det finns två huvudsakliga incitament för förbättring. Det första är lägre nättemperaturer och det andra är minskade driftskostnader. Båda stöder direkt eller indirekt minskning av koldioxidutsläpp, antingen genom att använda lägre nättemperaturer, genom lägre byggkostnader eller genom att underlätta lägre drifts- och underhållskostnader. Det är värt att notera att det har använts flera olika nätkonfigurationer än de traditionella, ofta kallade 3GDH, och den drivande kraften har varit lägre nättemperaturer, där det dock ännu inte finns någon standardiserad teknik för dessa nätkonfigurationer.



## 5 Lagra värme

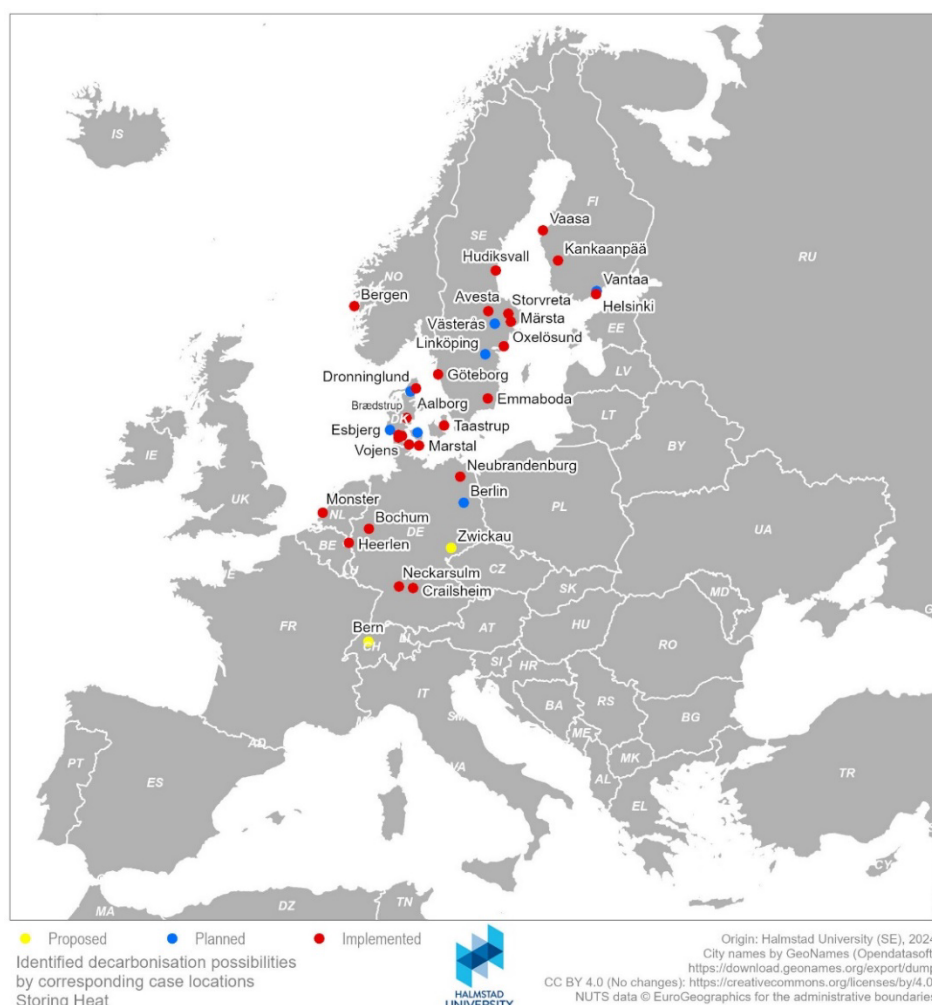
Värmelagring bryter tidsberoendet mellan tillförsel och efterfrågan av värme. Tidsintervallet kan sträcka sig från inom en dag till en säsong. Detta innebär att tillförseln kan optimeras utan att behöva ta hänsyn till variationer i efterfrågan. Med en lagerstorlek på cirka 25% av årsbehovet av värme kan den säsongsvisa variationen helt utjämnas.

Värmelagren kan katalogiseras antingen beroende på temperaturnivå i lågtemperaturlagring och högtemperaturlagring, eller med avseende på lagringsmedia i akviferer, borrhål, gruvor, tankar, gropar, bergsgrottor, distributionsrör, byggnader och övriga. Dessa nio lagringsalternativ presenteras i nio olika möjligheter. Platserna för alla identifierade fall av värmelagring presenteras i Figur 17.

Referenser: (Gadd and Werner, 2021), (Kallesøe et al., 2019).

Länk:

<https://daces.dk/daces-rapport-om-energilagring-i-danmark-2023/>



Figur 17. Karta som visar platser för identifierade fall i databasen avseende att lagra värme.

## 5.1 AKVIFERLAGER

Akviferlager är ett öppet system för lagring av värme där grundvatten värms upp och kyls ner. Det kan ske genom injektion och senare återvinning av varmt vatten i akviferer i både grunda och djupa geologiska bildning. Djupa akviferer erbjuder ett alternativ för högttemperaturlagring med injektionstemperaturer över 60 °C.

Tekniken att använda akviferer för återvinning av kyla och värme har funnits i över 25 år. Den kan användas för både uppvärmning och kylning. Värmelagringen är en långsam process eftersom värmen måste komma från stora djup och eftersom rörsystem måste värmas upp. För att minimera uppstarts- och värmeförluster rekommenderas det att använda värmelagringen som baslast för värmesystemet. Detta gör att värmelagringen kan köras i princip kontinuerligt. Dessutom kan återvinningsverkningsgraden ökas genom att använda så mycket värme som möjligt under perioden direkt efter lagringen. Dag/natt-lagring kan också öka den säsongsvisa återvinningsverkningsgraden.

### 5.1.1 2005: Neubrandenburg, Tyskland

I Neubrandenburg, där det finns ett kombikraftverk med en elektrisk effekt på 77 MW, används ett akviferlager för att lagra värme. På sommaren injiceras restvärme från kraftverket, som annars skulle ha förlorats av kyltornet, ner i marken. Vatten som är cirka 45 °C tas upp från en 1200 m djup brunn (kalla sidan) och injiceras i en annan brunn efter uppvärmning (varma sidan). Avståndet mellan brunnarna är cirka 1 300 m. På grund av injektionen av varmt vatten bildas en konstgjord "geotermisk zon". På vintern vänds flödesriktningen i systemet. Värmen som nu tas ut från varma sidan har en temperatur på cirka 85 °C i början av uppvärmningsperioden och cirka 75 °C i slutet av uttagsperioden. Värmen matas in i ett lågtemperatursystem där den ersätter driften av de gaseldade spetslastpannorna.

Länk:

<https://www.gtn-online.de/en/projects/aquifer-heat-storage-for-a-gas-and-steam-turbine-power-plant-in-neubrandenburg/>

### 5.1.2 2009: Arlanda flygplats, Stockholm, Sverige

Världens största akviferlager används för att kyla och värma Stockholm-Arlandas flygplats som kräver lika mycket värme som en stad med 25 000 invånare. Sedan sommaren 2009 har ett akviferlager minskat värmebehovet. Grundvatten från Brunkebergs rullstensås är uppdelade i varma och kalla avsnitt. Under sommaren pumpas kallt vatten in i flygplatsens kylnätverk. När vattnet passerar genom systemet värms det upp, och när det återvänder till akviferlagret har det en temperatur på cirka 20 °C. Det uppvärmda vattnet pumpas sedan ner i åsen och används på vintern till markvärme för att smälta snö på uppställningsplatser för flygplan, parkeringar vid terminalen och för att förvärma ventilationsluften i byggnader. Inget grundvatten används i processen. Tack vare akviferlagret har flygplatsen minskat sitt årliga värmebehov med 19 GWh samtidigt som stora mängder el och biobränsle har frigjorts och som nu kan användas av andra.

Länkar:

<https://www.swedavia.com/about-swedavia/the-aquifer/>  
<https://www.power-technology.com/marketdata/arlanda-airport-aquifer-thermal-energy-storage-system-sweden/?cf-view>  
<https://www.alfalaval.com/media/stories/industries/swedish-air-traffic-hub-obtains-substantial-energy-savings/>  
<https://www.energi-miljo.se/akvifar-en-bra-affar-for-arlanda/>

### 5.1.3 2012: NIOO KNAW and Koppert Cress, Monster, Nederländerna

I Nederländerna används ett akviferlager i kombination med 2 km djupa geotermibrunnar för att möjliggöra att värme kan användas direkt för uppvärmning av cirka 100 hektar växthus. Tre par geotermiska brunnar är i drift. Temperaturen från den geotermiska värmekällan är 92 °C. De geotermiska brunnarna har restvärme på sommaren som lagras i ett akviferlager på 300 till 400 meters djup.

Länk

<https://www.heatstore.eu/national-project-netherlands.html>

### 5.1.4 Föreslaget: Forsthaus, Bern, Schweiz

I ett pilotprojekt i Bern i Schweiz är tanken att lagra restvärme i ett akviferlager från det närliggande kraftvärmeverket Forsthaus för att kunna ta vara på mer värme inför en planerad utbyggnad av det befintliga fjärrvärmenätet. Kraftvärmeverket drivs av det lokala energibolaget Energie Wasser Bern (EWB) och består av ett avfallseldat och ett biomasseeldat kraftvärmeverk. I pilotprojekt kommer en provbrunn på cirka 500 m att borraras för att nå den undre molasslagret med färskvatten. (Molass är en sedimentär bergart som finns i bl a Alperna). Slutmålet är att lagra restvärme med en lagringskapacitet på 7-10 MW med en temperatur på högst 120 °C. Ett liknande projekt i Genève är att utveckla ett akviferlager som är anslutet till avfallseldat kraftvärmeverk som i Cheneviers (kantonen Genève). Resultat av pilotprojektet med det planerade akviferlagret förväntas vara tillgängliga i slutet av 2023 och om allt går som planerat beräknas att fullskalelager kunna tas i drift 2026.

Länkar:

<https://www.heatstore.eu/national-project-switzerland-bern.html>

<https://www.heatstore.eu/national-project-switzerland-geneva.html>

<https://www.thinkgeoenergy.com/pilot-project-in-bern-switzerland-explores-geo-storage-of-heat-from-waste-disposal/>

## 5.2 BORRHÅLSLAGER

Borrhålslager är det slutna systemet för lagring av värme. Framför allt används det för lågtemperaturlämplingar, men vissa högtemperaturlämplingar (över 50 °C) förekommer. Principen för borrhålslager är att värma upp marken och sedan kyla ner den genom att cirkulera en vätska i plaströrsslingor i borrhålen som avslutas med en tätningsmassa. Avståndet mellan borrhålen är vanligtvis i storleksordningen 2-5 meter och borrhålslager och djupet är vanligtvis till 20-200 meter. Borrhålslager kan användas på de flesta platser och är lätt att bygga samt

kräver begränsat underhåll. På grund av en relativt låg värmeöverföring i berget finns ofta begränsningar i effektuttag från borrhålslager.

Referenser: (Malmberg, 2017), (Jodeiri et al., 2022)

### 5.2.1 1997: Amorbach, Neckarsulm, Tyskland

Den första tyska fjärrvärmesystemet med solfångare byggdes år 1997 i Neckarsulm-Amorbach och i anslutning till detta finns ett borrhålslager. 2016 bestod det av 528 borrhål (Gehlin, 2016). Lagret är byggt som en triangel för att möjliggöra framtida utbyggnad i takt med utvidgningen av bostadsområdet. Varje borrhål är utrustat med dubbla U-rör tillverkade av polybuten (PB). Detta är ett material med bäst förväntad livslängd (50 år) för temperaturer på 85 °C vid 10 bar. Borrhålen fylls med en blandning av bentonit, sandcement och vatten. Ovanpå lagret finns termisk isolering som består av 200 mm tjock av polystyren täckt med 2-3 m topplager av jord. Fjärrvärmenätet är direktkopplat till lagringen. Två buffertankar, vardera 100 m<sup>3</sup>, fungerar som korttidslagring som hanterar toppar. Beroende på temperaturnivån levereras värme antingen till byggnaderna från borrhålslagret eller buffertankarna, medan värmen under höglast täcks av en gasldad kondenserande panna.

### 5.2.2 2007: Drake Landing Solar Community, Okotoks, Kanada

Drake Landing Solar Community i Okotoks, Alberta, Kanada, använder ett solfångarsystem med säsongslagring i borrhål för att förse 52 fristående energieffektiva byggnader med uppvärmning genom ett fjärrvärmesystem. Solfångarna har en yta på 2 293 m<sup>2</sup> med platta kollektorer, monterade på taken av fristående garage och värmen lagras i borrhålslager för att senare utnyttjas till bostadsuppvärmning via ett fjärrvärmesystem. Oberoende solvarmvattensystem finns installerade på varje byggnad och är utformade för att leverera mer än 50% av värmebehovet för varmvatten.

Säsongslagringen är cirka 34 000 m<sup>3</sup> och består av ett system med 144 borrhål, vardera 35 m djupa med en enkel slangslinga. Borrhålen är kopplade i 24 parallella kretsar med 6 borrhål kopplade i serie i varje som går från centrum och ut vilket möjliggör termisk stratifiering i lagringsvolymen. Borrhålslagret fältet täcks med en extruderad polystyren (XPS) isolering. Systemet är konfigurerat för att bibehålla mitten av fältet vid högsta temperatur för att maximera uppvärmningskapaciteten och de yttre kanterna vid lägsta temperatur för att minimera förlusterna. Ett korttidslager bestående av en tank på 240 m<sup>3</sup> vatten används för att koppla samman distribution- och lagringssystemen. Detta fall är på samma plats som fall 7.6.2.

Referens: (Sibbitt et al., 2012)

Länk:

[https://www.districtenergy-digital.org/districtenergy/library/item/fall\\_2022/4049842/](https://www.districtenergy-digital.org/districtenergy/library/item/fall_2022/4049842/)

### 5.2.3 2008: Hirtenwiesen, Crailsheim, Tyskland

I ett nytt bostadsområde anslutet till ett solfångarsystem och ett borrhålslager för värmelagring byggdes 2007 i Crailsheim-Hirtenwiesen Tyskland. Värmelagringen, borrhålslager med högtemperatur och består av 80 borrhål och det färdigställdes 2008. Dubbla U-rör av högtrycks polyeten PEX (PEXa) installerades i borrhålen och levererades av företaget RAUGEO. PEXa-kollektorer från RAUGEO klarar temperaturer på 95 °C (Mangold and Schmidt, 2007). Lagret är isolerat med skumglasgrus och täckt med vattenavvisande folie och ett lager dräneringsgrus. I den övre delen (5 m) upptäcktes ett grundvattenflöde. Därför försågs botten av borrhålen med termiskt förbättrat material medan de övre delarna försågs med ett mindre ledande material.

En buffertvattentank fungerar som korttidslager för solfångarna. Värme från säsongslagret överförs genom fjärrvärmesystemet antingen direkt eller via en 530 kW värmepump. Lagringstemperaturen kan variera mellan 20 och 50 °C, men värmepumpen levererar alltid varmt vatten på 60 °C. Med användning av värmepumpen kan lagringstemperaturen hållas lägre och därmed kan värmeförlusterna minskas.

### 5.2.4 2010: Xylem Water Solutions AB, Emmaboda, Sverige

I Emmaboda finns ett borrhålslager som fungerar både som ett energiforskningsprojekt och som ett system för att öka verkningsgraden för Xylem Water Solutions AB:s anläggning. Lagret har varit i drift sedan 2010 och var ursprungligen utformat för att fungera utan en värmepump och därmed krävdes en ganska hög lagertemperatur (Nordell et al., 2016). Borrhålslagret med 140 borrhål delades upp i 7 individuellt styrda sektioner med 20 brunnar i varje sektion. Sektionerna öppnar eller stänger individuellt beroende på lagringstemperaturen under laddning respektive urladdning, vilket möjliggör god termisk stratifiering i lagringsvolymen med högre temperaturer i mitten.

Lagringstemperaturen ökade till cirka 45 °C från och med september 2015 men det visade sig att målet med en temperatur på 55 °C inte kunde nås. Den förväntade leveranstemperaturen till lagret på 60 °C, visade sig vara mycket lägre i verkligheten och når sällan över 50-55 °C. Lagret, som främst laddas under sommaren och laddas ur under vintersäsongen, utan någon värmepump, har ett stort nyhetsvärde och har praktiskt taget inga negativa miljöeffekter.

Referenser: (Ramstad et al., 2023), (ACUÑA et al., 2021)

### 5.2.5 2012: Brædstrup, Danmark

Brædstrup District Heating i Danmark försörjs av Brædstrup Totalenergianlæg (Brædstrup Total Energy Plant), ett naturgaseldat kraftvärmeverk. Brædstrup Totalenergianlæg var 2007 det första naturgaseldade kraftvärmeverket som kombinerades med solvärme. 2011-2012 utvidgades solvärmeanläggningen och anläggningen kompletterades med ett pilotborrhålslager med 48 borrhål. Anläggningen utrustades också med en 5 000 m<sup>3</sup> bufferttank, en 1 MW värmepump och en 10 MW elektrisk panna och det finns planer på ytterligare expansion med ett fullskaligt borrhålslager. Det fullskaliga borrhålslagret kommer

att placeras runt pilotlagret men med separata rör. De två lagren kommer således att vara hydrauliskt separerade, och är preliminärt planerat att bestå av 432 borrhål.

Borrhålsinstallationen på Brædstrup Totalenergianlæg baseras på designen av borrhålslagret i Crailsheim, Tyskland med dubbla U-rör av typen RAUGEO PEXa. Borrhålen är anslutna i 16 parallella flödeslinjer med 6 borrhål i serie och ett tryckfall på cirka 2,0 bar i varje ledning. Borrhålen är förseglade med HDG Thermo HS med en termisk ledningsförmåga på cirka 1,44 W/(m\*K). En pikant detalj är att lagret är isolerad med hjärtmusslor som är tillgängliga i Danmark i stora mängder.

Referens: (ACUÑA et al., 2021)

Länk:

<https://www.districtenergyaward.org/braedstrup-fjernvarme/>

### 5.3 GRUVLAGER

Gruvlager använder grundvattnet som finns i övergivna gruvor för att lagra värme. Lagringskostnaden minskas genom återanvändning av befintliga utrymmen. Framför allt lågtemperaturapplikationer (20-45 °C) förekommer, men det finns också några högtemperaturapplikationer.

Referens: (Kallesøe et al., 2019)

#### 5.3.1 2008: Mijnwater, Heerlen, Nederländerna

Mijnwater utnyttjar gruvvatten i ett projekt för värmeutvinning i Tyskland och Nederländerna. Ett exempel är Heerlen i Nederländerna, där en översvämmande och övergiven gruva används både för värme och kyla i byggnader. Fem brunnar borrhades till gruvgångarna under marken. Två varma brunnar i den norra delen av Heerlen med en djup på 700 meter under markytan för utvinning av varmt vatten med en temperatur på cirka 28 °C, två kalla brunnar i den södra delen av Heerlen med en djup på 250 meter för utvinning av kallt gruvvatten med en temperatur på cirka 16 °C. En femte brunn i mitten av Heerlen med en djup på 350 meter används för att återföra det kylda varma och uppvärmda kalla gruvvattnet med en temperatur på mellan 18-22 °C. Genom ett distributionsnät med tre parallella rör på sammanlagt sju kilometer, den så kallade ryggraden med gruvvatten, levereras gruvvattnet från brunnarna till olika energicentraler med värmepumpar i de anslutna byggnaderna. (Verhoeven et al., 2014). Geotermiaspekten för detta fall presenteras i fall 7.4.1.

Länk:

<https://mijnwater.com/projecten/stadskantoor>

#### 5.3.2 2020: Bochum, Tyskland

Målet med den tyska delen av EU-projektet HEATSTORE var att skapa ett fungerande säsongslager i en pilotanläggning för att återanvända den övergivna kolgruvan Markgraf II i Bochum. Anläggningen togs i drift 2020. Inom ramen för denna pilotanläggning används det 20°C varma gruvvattnet, som kommer från



gruvvatten 570 meter under marken. Idén bygger på lagring av outnyttjad restvärme under sommaren från solfångare inom gruvområdet och att använda den lagrade värmen under vintern för uppvärmning av institutsbyggnaderna vid International Geothermal Centre (GZB).

Länkar:

<https://www.heatstore.eu/national-project-germany.html>  
[https://www.heatstore.eu/documents/HEATSTORE\\_Webinar\\_28%20Sept%202021\\_The%20MTES%20project%20in%20Bochum,%20Germany.pdf](https://www.heatstore.eu/documents/HEATSTORE_Webinar_28%20Sept%202021_The%20MTES%20project%20in%20Bochum,%20Germany.pdf) (PPT in German)

### 5.3.3 Föreslaget: Westsächsische Hochschule, Zwickau, Tyskland

Ett projekt med att utnyttja varmt gruvvatten undersöks för närvarande vid Westsächsische Hochschule Zwickau där man planerar att utvinna värme från gruvvatten 625 meter under marken och med en temperatur på 26°C (Hahn et al., 2019).

Länk:

<https://www.thinkgeoenergy.com/mine-water-targeted-for-geothermal-heating-in-saxony-anhalt-germany/>

## 5.4 TANKLAGER

Tanklager lagrar värme eller kyla genom behållare som innehåller vätskor, komprimerade gaser eller köldmedium. Det vanligaste är att använda vatten som lagringsmedium för att jämna ut variationer på dygnsbasis.

En inventering av uppförda tanklager i Sverige har dokumenterats av (Eriksson, 2016). Totalt fanns en volym på 900 000 m<sup>3</sup> tillgänglig för värmelagring i de undersökta fjärrvärmesystemen. Sammanlagt har 167 fjärrvärmesystem undersökts som representerar 97% av den årliga värmeförsäljningen i svenska fjärrvärmesystem. Storleken på värmelagren varierar från det största med en lagringsvolym på 100 000 m<sup>3</sup>, till det minsta med en lagringsvolym på endast 50 m<sup>3</sup>. Av de 167 analyserade fjärrvärmesystemen har 104 installerad lagringskapacitet. Detta motsvarar 77% av den årliga värmeförsäljningen, vilket indikerar att det mesta av den levererade fjärrvärmens i Sverige är ansluten till värmelagring.

### 5.4.1 Planerat: Ålborg, Danmark

Aalborg Forsyning har precis ingått ett avtal med det svenska företaget Rodoverken för att leverera ackumulatortankar på totalt 200 000 m<sup>3</sup>. Detta är en investering på cirka 400 miljoner danska kronor. Värmelagret kommer att bestå av fyra ståltankar, som kommer att placeras i Norbis Park, vilket är Aalborg Forsynings område vid Nordjyllandsværket. När de fyra tankarna är fullt laddade motsvarar de årsförbrukningen av värme för 625 hushåll. Enligt planen ska tankarna vara i drift år 2025.

Länk:



<https://aalborgforsyning.dk/privat/nyheder-og-presse/seneste-nyheder/18-10-2022-investering-i-stort-varmelager-skal-sikre-billig-fjernvarme-i-aalborg-kommune/>

#### 5.4.2 Föreslaget: GigaTes, Gleisdorf, Österrike

I projektet GigaTes kommer tre österrikiska platser att undersökas för olika typer av säsongslager, inklusive underjordiska tanklager för termisk energilagring. Utvärdering har gjorts med avseende på utmaningar som konstruktion, geologi och geofysik, material, fjärrvärmesystem och dess driftsegenskaper, ekonomiska aspekter, allmän acceptans osv. I projektet har hybrida tanklager föreslagits. En viktig begränsning är att den maximala höjden är 50 meter (Helden et al., 2021).

Länk:

<https://www.gigates.at/index.php/en/gigates/project>

### 5.5 GROPLAGER

Groplager är en stor vattenreservoar som grävs ut i marken och används för att lagra värme. Gropen är fodrad med en vattentät gummiduk för att behålla värmen och förhindra att vatten läcker ut i den omgivande marken. Toppen på lagret täcks av ett flytande lock av isolering för att behålla värmen och förhindra att regnvatten tränger in i lagret. Temperaturer i lagret kan vara upp till cirka 90 °C och vad gäller flexibilitet är det jämförbart med borrhålslager.

Danmark har byggt flera groplager som är anslutna till solvärmesystem. I större fjärrvärmesystem är ett groplager ett billigt lager som kan spara spetslast och minska uppvärmningskostnaderna. Det är framför allt för större lager som groplager är mycket kostnadseffektivt. En översiktsartikel om groplager finns i (Helden et al., 2021). I HeatStore-rapporten beskrivs huvudfördelarna med groplager som möjligheten till snabb laddning eller urladdning. Om markförhållandena är optimala är byggkostnaderna låga. En av nackdelarna är att det krävs mycket utrymme. Lagringen kräver stora områden utan infrastruktur i marken. Omständigheter som påverkar byggkostnaden är höga grundvattennivåer och dåliga markförhållanden.

Referenser: (Kallesøe et al., 2019), (Goodstein and Haukursson, 2021), (Sifnaios et al., 2023)

#### 5.5.1 2004: Marstal Fjernvarme, Marstal, Danmark

Marstal Fjernvarme har byggt två groplager, Sunstore 2 (10 000 m<sup>3</sup>) som byggdes 2003 till en kostnad av 67 EUR/m<sup>3</sup> och Sunstore 4 (75 000 m<sup>3</sup>) som byggdes 2014. Det första groplagret togs i drift 2004 men används idag inte längre. Temperaturen varierar mellan 30 och 90 °C. 15 000 m<sup>2</sup> solfångare har adderats till de tidigare installerade 18 000 m<sup>2</sup>. Det finns också en 4 MW träflispanna och en värmepump på 1,5 MW. Tillsammans förser de staden Marstal med 100 % förnybar energi. Dessutom producerar en Organic Rankine Cykel elektricitet till elnätet. Täckningen av lagret i Marstal tillverkades av ett nytt material som innehåller polyeten-skum och en liner av högdensitetspolyeten. Det förväntas minska värmeförlusterna på

ovansidan med 60 % jämfört med det befintliga lilla lagret. Detta fall är på samma plats som fall 7.6.1.

Länkar:

<http://co2mmunity.eu/wp-content/uploads/2019/03/Factsheet-Aer%C3%B6-Marstal.pdf>  
<https://www.cfms-sols.org/sites/default/files/Actes/3351-3354.pdf>  
<https://solarthermalworld.org/news/denmark-23-mwth-cover-55-heat-demand-1500-households/>

### 5.5.2 2014: Dronninglund Fjernvarme, Dronninglund, Danmark

Projektet Sunstore 3 i Dronninglund påbörjade konstruktionen av ett groplager 2013 och det togs i drift 2014. Storleken på lagret är 60 000 m<sup>3</sup> till en kostnad av 38 EUR/m<sup>3</sup> lagringskapacitet. Värmelagringskapaciteten är 5,4 GWh, och det har en laddnings- och urladdningskapacitet på 26 MW. Temperaturerna varierar mellan 10 och 89 °C. Säsongslagringen i Dronninglund är ansluten till fjärrvärmesystem via en värmepump. Detta gör att man kan ha lägre lagringstemperaturer under hela året, vilket minskar värmeförlusterna. Det har nu nått en lagringseffektivitet på över 90 %, dvs endast 10 % förloras i värmeförluster. Detta fall är på samma plats som fall 7.6.5.

Referens: (Sifnaios et al., 2023)

Länk:

<https://solarthermalworld.org/news/seasonal-pit-heat-storage-cost-benchmark-30-eurm3/>

### 5.5.3 2015: Gram Fjernvarme, Gram, Danmark

Gram påbörjade konstruktionen av ett groplager 2014 och det togs i drift 2015. Storleken på lagret är 125 000 m<sup>3</sup> och har kostat 34 EUR/m<sup>3</sup> lagringskapacitet. Värmelagringskapaciteten är 12,1 GWh, och det har en laddnings- och urladdningskapacitet på 30 MW. Lagringstemperaturerna varierar mellan 20 och 90°C. Lagringen möjliggör för företaget att öka andelen solvärme från 16% till 61%. Detta fall är på samma plats som fall 7.6.3.

Länkar:

<https://stateofgreen.com/en/solutions/large-scale-solar-heating-and-seasonal-heat-storage-pit-in-gram/>  
[https://r-aces.eu/use\\_case/gram-fjernvarme-district-heating/](https://r-aces.eu/use_case/gram-fjernvarme-district-heating/)

### 5.5.4 2015: Vojens Fjernvarme, Vojens, Danmark

Vojens Fjernvarme började bygga ett groplager 2014 och det togs i drift 2015. Lagret ligger i gammal sandgrop. Storleken på lagret är 200 000 m<sup>3</sup> och har kostat 38 EUR/m<sup>3</sup> lagringskapacitet. Värmelagringskapaciteten är 12,2 GWh, och det har en laddnings- och urladdningskapacitet på 12 MW. Temperaturen varierar mellan 40 och 90 °C. När det togs i drift 2015 var det det största värmelagret i världen. Detta fall är på samma plats som fall 7.6.4.

Länkar:

<https://stateofgreen.com/en/solutions/world-largest-thermal-pit-storage-in-vojens/>  
<https://deepresource.wordpress.com/2020/12/16/district-heating-with-seasonal-storage-in-vojens-denmark/>

#### 5.5.5 2017: Toftlund Fjernvarme, Toftlund, Danmark

Toftlund började bygga ett groplager 2016 och det togs i drift år 2017. Storleken på lagret är 85 000 m<sup>3</sup> och har kostat 48 EUR/m<sup>3</sup> lagringskapacitet. Lagringskapaciteten är 6885 MWh och det har en laddningskapacitet på 18 MW och urladdningskapacitet på 8 MW. Temperaturen varierar mellan 20 och 90 °C.

Länk:

[https://www.heatstore.eu/documents/20201028\\_DK-temadag\\_Ramb%C3%B8ll%20PTES%20project.pdf](https://www.heatstore.eu/documents/20201028_DK-temadag_Ramb%C3%B8ll%20PTES%20project.pdf)

#### 5.5.6 2023: VEKS, Høje Taastrup, Danmark

Groplagret är placerad i ett tidigare jordbruksområde vid Bondehøjvej strax norr om Holbækvägen i Høje Taastrup. Lagret innehåller 70 000 m<sup>3</sup>. Lagringskapaciteten är 3,3 GWh och det har en laddnings- och urladdningskapacitet på 30 MW. Det är första gången som den här typen av groplager kommer att användas som korttidslagring i ett av de mycket stora fjärrvärmesystemen i Danmark. Linern är en ny typ av PP-liner (utvecklad av det österrikiska innovationsprojektet GigaTES) med en förväntad livslängd på 33 år vid 95°C. De totala värmeförlusterna från lagringen, inklusive från locket, förväntas vara 8-9% årligen. Detta lager togs i drift i februari 2023. Det kommer att ge mervärde till Storköpenhamns fjärrvärmesystem och bidra till den gröna omställningen.

Referenser: (Bruus and Sørensen, 2019), (Wetzel and Bruss, 2023)

Länkar:

[https://planenergi.eu/?s=h%C3%B6je+taasterup&post\\_type=posthttps://www.veks.dk/en/focus/still-the-key](https://planenergi.eu/?s=h%C3%B6je+taasterup&post_type=posthttps://www.veks.dk/en/focus/still-the-key)  
[https://heatstore.eu/documents/20201028\\_DK-temadag\\_H%C3%B8je%20Taastrup%20Fjernvarme%20PTES%20project.pdf](https://heatstore.eu/documents/20201028_DK-temadag_H%C3%B8je%20Taastrup%20Fjernvarme%20PTES%20project.pdf)

## 5.6 BERGRUMSLAGER

I bergumslager lagras värme som varmt vatten i ett bergum. Potentiella alternativa strukturer för bergumslager inkluderar övergivna gruvor, vilket tidigare presenterades i avsnitt 5.3.

Länk:

<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-03319052/document>

#### 5.6.1 1981: Avesta, Sverige

I Avesta finns ett fjärrvärmesystem med ett lager utsprängt i berget. Lagret har en volym på 15 000 m<sup>3</sup> och ett djup på 25 m. Det byggdes 1981 för korttidslagring av

värme producerad i en avfallsförbränningsanläggning. Tiden för spontankylningstiden är extremt lång (> 10 år). Detta bergtrum är fortfarande i bruk och drivs av Adven.

Referens: (Rehbinder, 1985).

#### 5.6.2 1983: Storvreta, Sverige

Lyckeboanläggningen är ett bergtrumslager med en volym på 100 000 m<sup>3</sup>, vilket möjliggör en energilagring med upp till 5,5 GWh/år vid en lagringstemperatur mellan 60 och 90 °C. Lagret är ett säsongslager i det lokala fjärrvärmesystemet i Storvreta strax norr om Uppsala. Initialt var detta värmelager anslutet till ett solfångarfält som senare har demonterats.

Den möjliga strategin för att möta spetslaster med detta värmelager beskrivs vidare inom fall 9.2.1.

Referenser: (Brunström et al., 1988), (Åsberg, 2011)

#### 5.6.3 1988: Oxelösund, Sverige

Ett oljebergtrum med en volym på 200 000 m<sup>3</sup> har utvärderats för att användas som värmelager. En ekonomisk förutsättning var att bergtrummet inte behövde rengöras från olja innan omvandlingen till termisk lager. Experiment utfördes i modellbergtrum på laboratorieområdet. Testerna visade låga nivåer av kvarvarande olja i vattnet. I försök med pilotanläggningar för plattvärmväxlare med oljigt vatten kunde ingen signifikant försämring av värmeöverföringen noteras, vilket annars hade fruktats eftersom värmväxlarytorna kunde bli belagda. Detta bergtrumslager används inte idag.

Referens: (Bergström and Ekengren, 1993)

#### 5.6.4 2018: Hudiksvall, Sverige

Adven, som driver fjärrvärmenätet Hudiksvall, har gradvis utvidgats sedan starten 1974 och levererar för närvarande värme till cirka 700 fastigheter i staden med lokalproducerad värme. En del av lösningen är att använda två bergtrum som värmelager. Dessa bergtrum användes tidigare för lagring av eldningsolja.

Bergtrumslagret under Köpmanberget i Hudiksvall består av två separata bergtrum med en volym på vardera 90 000 m<sup>3</sup> och kan lagra 4,1 GWh värme. Värme levereras från ett biokraftvärmeverk. Varje bergtrum har en längd på 200 m, en höjd på 25 m och en bredd på 18 m. Ett bergtrum lagrar kallt vatten med en temperatur på 45 °C, och det andra bergtrummet lagrar varmt vatten med en temperatur på 95 °C. Genom att använda två bergtrum kan svårigheterna med värmeledning från varmt till kallare vatten lösas, vilket kan vara en potentiell risk i vertikala lagerutrymmen.

Användningen av detta värmelager som effektiv spetslastningskapacitet diskuteras ytterligare i anslutning till fall 9.2.2.

Referens: (Mårtensson, 2020)

Länkar:

<https://adven.com/se/fjarrvarme/hudiksvall/>

<https://energiforsk.se/media/27147/bergrumslagret-i-hudiksvall.pdf>

<https://www.energi.se/artiklar/har-samlas-fjarrvarme-under-berget/>

#### 5.6.5 2020: Vasa, Finland

Under kraftvärmeverket i Vasa finns ett bergrumslager som togs i drift 2020. Det finns två bergrum med en total volym på 210 000 m<sup>3</sup> med en djup på 30 m. Temperaturen i lagret är mellan 45 °C och 90 °C vilket ger en lagerkapacitet på 7-9 GWh. Värmen i det fyllda lagret räcker till för att försörja Vasa i 4 dygn under den kalla årsperioden. Stenrummen sprängdes ut på 1950-talet och har tidigare använts för att lagra eldningsolja. Sedan 1990-talet har de varit oanvända och vattenfyllda.

Länk:

<https://svenska.yle.fi/a/7-1414455>

#### 5.6.6 2021: Helsingfors, Finland

Finlands största termiska lager finns i Helsingfors och togs i drift 2021. Det är ett bergrumslager beläget under Blåbärslandet som är en ö i utkanten av staden. Den effektiva volymen för bergrumslagret 260 000 m<sup>3</sup> och lagringskapaciteten är ca 11,5 GWh. Laddnings- och urladdningskapaciteten är 120 MW. Lagret används för att jämna ut efterfrågetoppar på dygnsbasis. Lagret beräknas minska utsläppen av koldioxid med 21 000 ton per år.

Länk:

<https://www.helen.fi/sv/uutiset/2020/mustikkamaa>

#### 5.6.7 Planerat: Västerås, Sverige

Mälarenergi kommer att använda ett tidigare oljelager bestående av tre bergrum som termisk lagring i sitt fjärrvärmesystem. Bergrummen tömdes på 1980-talet och har stått tomma sedan dess. Mälarenergi har sanerat anläggningen och kommer att fylla den med vatten med temperaturer på upp till 95 °C. Lagret kommer att kunna användas för att optimera el- och värmeproduktionen eller använda den som ett värmelager för spetslast.

De tre bergrummen har en total volym på 300 000 m<sup>3</sup>. Lagringskapaciteten kommer att vara cirka 13 GWh med en in- och urladdningseffekt på upp till 90 MW. Lagret planeras att tas i drift 2024. Detta kommer att bli ett av de största termiska lagren i Europa.

Avsikten att använda värme lagringen för spetslast förtydligas ytterligare i fallstudie 9.2.3.

Referens: (Nohrstedt, 2022)

Länkar:

<https://www.nyteknik.se/premium/kraftvarmen-den-dolda-raddaren-i-elsystemet-7037976>

<https://www.energi-miljo.se/har-byggs-europas-storsta-hetvattenlager/>

<https://www.bbc.com/news/business-65098792>

#### 5.6.8 Planerat: Vanda, Finland

VECTES (Vantaa Energy Cavern Thermal Energy Storage) är ett planerat säsongslager för att lagra värme från sommar till vinter. Anläggningen kommer att bli världens största värmelager med en storlek på 1 miljon kubikmeter. Det kommer att ha en lagringskapacitet på 90 GWh värme och ha en högsta temperatur på 140°C. Lagring av värme vid höga temperaturer möjliggör högre lagringskapacitet samtidigt som det är kostnadseffektivt. Applikationen är mycket konkurrenskraftig och skalbar även till andra regioner, vilket kan bidra till minskning av koldioxidemissioner över hela Europa. Planerad färdigställande av projektet är år 2028.

Referenser: (Vantaan Energia, 2021), (Olofsson, 2021)

Länk:

<https://www.vantaanenergia.fi/en/carbon-negativity-2030/heatstorage/>

#### 5.6.9 Planerat: Helsingfors, Finland

Helen och Skanska har påbörjat ett projekt för att bygga ett stort säsongslager i berggrum i Kronbergsstranden som tidigare användes av Shell som oljelager. Berggrummen tömdes första gången 2007 och rengjordes 2008–2009. Efter det återanvändes lagret som bränslelager, varvid det behövdes tömmas och rengöras en andra gång 2010–2011. Berggrummen har en total volym på 300 000 m<sup>3</sup> och ligger cirka 50 m under havsytan. Den ena av de två grottorna är cirka 18 m bred och den andra cirka 16 m. Båda berggrummen är cirka 30 m höga. Den större grottan är 326 m lång och den mindre är 245 m. Värmelagret började byggas 2022.

Länkar:

<https://www.helen.fi/sv/uutiset/2018/s%C3%A4songslager-f%C3%B6r-energi-planeras-i-kronbergsstrandens-grottor>

<https://www.helen.fi/sv/uutiset/2022/bygget-av-ett-sasongslager-for-energi-i-kronbergsgrottorna-har-borjat>

#### 5.6.10 Föreslaget: Skanska, Stockholm, Sverige

Skanska TES har föreslagit en lösning där värme och kyla kan lagras i samma berggrumslager under en stad. Lagringen består av en spiral av tunnlar, sammanlänkade med förbindelsegångar. Hål borras mellan tunnarna så att det omgivande berget antingen kan värmas upp eller kylas ned genom cirkulation av vatten. Toppen av lagret är ungefär 100 m under markytan. Lagringskapaciteten är 50 GWh med en lagerdiameter på 200 m eller 1 000 GWh med en lagerdiameter på 550 m. Den termiska verkningsgraden i ett sådant system är nästan 100% på grund av de relativt små värmeförlusterna. Lagret är tänkt att vara ett kombinerat värme- och kylager.

Referens: (Skanska Sverige AB, 2018)

## 5.7 FJÄRRVÄRMELEDNINGAR SOM VÄRMELAGER

Genom att höja temperaturen i fjärrvärmesystem kan näten utnyttjas som värmelager (Kouhia et al., 2019). Lagringspotentialen hos fjärrvärmenät har undersökts i flera fjärrvärmesystem både i Sverige och Kina (Zhang et al., 2022). Lagringskapaciteten för de studerade svenska fjärrvärmenäten är alltid mindre än 0,8 % av det dygnsvärmebehovet, med en temporär temperaturökning på 10°C i nätets framledning. I kinesiska fjärrvärmenät är den siffran i genomsnitt 4% på grund av överdimensionerade nät.

Denna möjlighet begränsas på grund av risken för lågcykelutmattning i förisolerade stålrör på grund av att frekventa höga temperaturväxlingar skapar repetitiva plastiska deformationer av rören. Mer information om denna långsiktiga risk med höga temperaturväxlingar återfinns i (Kim and Weidlich, 2017) och (Hay et al., 2021).

### 5.7.1 2017: Bergen, Norge

BKK Heating och Norsk Energi i Bergen har installerat ett nytt optimeringsverktyg i det övergripande styrsystemet för deras pannor. I fjärrvärmenätet finns en tryckstegringspump som startar och stoppar automatiskt, beroende på den faktiska värmelasten i fjärrvärmenätet. Styrsystemet kan användas för att minimera användningen av fossila bränslen vid hög belastning genom att lagra värme från fjärrvärmenätet. Framtemperaturen i nätet kan ökas med cirka 20°C utan att de termiska spänningarna blir oacceptabelt höga. Dock kan dessa temporära höga temperaturväxlingar skapa lågcykelutmattning, vilket nämndes i inledningen till denna möjlighet.

BKK-nätet innehåller cirka 5000 m<sup>3</sup> vatten. Att öka framtemperaturen i nätet med 20 °C motsvarar en lagrad värmemängd på 50 MWh. Detta hjälper till att minska skillnaden på värmelasten mellan natt och dag betydligt.

Länk:

<https://energi.no/en/advanced-control-system-for-district-heating-plant-at-bkk-district-heating-company-in-bergen>

## 5.8 BYGGNADER SOM VÄRMELAGER

Byggnader kan användas som kortvarig termisk energilagring. Aktiv lagring i byggnadsstrukturen inkluderande byggnadselement såsom vägg, golv eller tak, kan designas för att aktivt ladda och/eller ladda ur värme. Denna lagring kan uppnås genom att systematiskt ändra inställningarna för rumsuppvärmning med små förändringar. Dagsleveranser av värme kan flyttas till nattleveranser genom ett minskat börvärde under dagen och en motsvarande ökning av börvärdet under natten. På grund av byggnadernas höga termiska tröghet kommer amplituden i inomhustemperaturen att vara mycket liten.

### 5.8.1 2015: Göteborg, Sverige

I Göteborg testades 2010-2011 hur fem flerbostadshus med 3-5 våningar kunde fungera som termiska lager i ett fjärrvärmesystem. De fem byggnaderna



kategoriseras som lätta eller tunga baserat på byggnadens termiska lagringskapacitet. En lätt byggnad har vanligtvis en stomme av stål eller trä, vilket resulterar i en låg kapacitet för att lagra värme. En tung byggnad har vanligtvis en stomme av betong, vilket resulterar i en högre kapacitet för att lagra värme. Alla fem byggnader uppfördes mellan 1939 och 1950 och har ett årligt uppvärmningsbehov på cirka 150 kWh/m<sup>2</sup> golvyta per år. De lätta byggnaderna hade mindre potential att användas för korttidslager än de tunga byggnaderna. Alla tunga byggnader som liknar de i pilottestet har en potentiell kapacitet att lagra 63 °Ch värme med begränsningen av justering av utetemperatursignalen från 7 °C till -7 °C utan att äventyra värmekomforten.

Referens: (Kensby et al., 2015)

### 5.8.2 2018: Sønderborg, Danmark

En studie i Sønderborg har undersökt potentialen att använda byggnader som värmelager. Byggnadsbeståndet karaktäriserades av sex typhus vilka representerade 60% av villorna i området. De utvärderades utifrån tre parametrar: värmetröghet som definierades under ett avbrott i värmeförsörjningen utan att innetemperaturen föll under 18 °C, besparingar i uppvärmningsbehov jämfört med referensfallet, och kostnadsreduktion i systemet. Slutsatsen var att den högsta potentialen för att använda byggnader som värmelager fick man från hus byggda efter 1980-talet på grund av att de har ett välisolerat byggnadsskal och därmed lägre transmissionsförluster. Dessutom visade det sig att det är viktigare att en byggnad är välisolerad än att den har en hög termisk tröghet.

Minskningen av driftkostnaderna för fjärrvärmesystemet låg i intervallet 0,7% - 4,6%, utan att ta hänsyn till kostnaderna för nya reglersystem. Lastskiftningen som möjliggörs genom att använda byggnaderna som värmelager möjliggör högre utnyttningstider för till exempel kostsamma stora värmepumpar som har låga driftskostnader.

Referens: (Dominković et al., 2018)

## 5.9 ANDRA VÄRMELAGER

Förutom de åtta lagringsmöjligheter som presenterades i de föregående avsnitten har några andra nya lagringsmöjligheter nyligen implementerats eller planerats. De tre fall som presenteras nedan är sandbatteri, sprucken berggrund och smält natriumhydroxid.

### 5.9.1 2022: Kankaanpää, Finland

En "sandbatteri" är en högtemperatur-termisk energilagring som använder sand eller sandliknande material som sitt lagringsmedium. Termen "sandbatteri" introducerades för en bred publik av ett inslag i BBC News som publicerades den 5 juli 2022.

Det första kommersiella sandbatteriet i världen finns i Kankaanpää i västra Finland. Det är anslutet till ett fjärrvärmennät som försörjer bostäder och

kommersiella byggnader som enfamiljshus och kommunala simbassänger. Fjärrvärmenätet drivs av energiföretaget Vatajankoski.

Länk:

<https://polarnightenergy.fi/sand-battery>

### 5.9.2 2023: Linköping, Sverige

Tillsammans med Tekniska Verken i Linköping har Hydroc, ett företag som har utvecklat en spräckningsteknik i berg kallad spräcklagerteknik, genomfört ett pilotprojekt som startade 2021 och avslutades 2023. Det påminner om ett borrhålslager men genom att från borrhålen spräcka berggrunden skapas mycket stora ytor vilket ökar i- och urladdningshastigheten i lagret. Befintligt grundvatten cirkuleras för att värma eller kyla berggrunden. Tanken är att man skall fylla lagret med 90 gradigt vatten under sommaren för att under vintern kunna ta ut 65-gradigt vatten.

Länkar:

<https://energiforsk.se/media/31317/sprickva-rmelager-en-revolution-fo-r-termiska-geolager-henrik-lindsta-hl.pdf>

<https://www.hydroc.se/>

<https://www.energi-miljo.se/geotermisk-utveckling-i-linkoping/>

<https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/projektdatabas/sokresultat/?registrationnumber=2020-018552>

<https://termoinnovation.se/projekt/underjordiskt-varmelager-med-hoga-effekter-och-temperaturer/>

<https://termoinnovation.se/wp-content/uploads/2024/01/slutrapport-ny-generation-underjordiskt-varmelager.pdf>

<https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/projektdatabas/sokresultat/?registrationnumber=2022-200143>

### 5.9.3 Planned: Esbjerg, Danmark

Projektet MOSS (Molten Salts Storage) i Esbjerg skall testa ett varmelager som använder smält natriumhydroxid som lagringsmedium vars primära syfte är att lagra överskottsel. Genom att lagra elvärmen vid mycket hög temperatur (700°C) kan man vid behov via en ånggenerering producera både el och värme. Anläggningen förväntas vara fullt operativ och kunna demonstreras under 2024.

Länk:

<https://www.hyme.energy/project/moss>

<https://danskfjernvarme.dk/aktuelt/nyheder/2023/naeste-generation-af-varmelagring-er-paa-vej>

## 5.10 SUMMERING AV 9 MÖJLIGHETER OM ATT LAGRA VÄRME

Kapitlet om varmelagring beskriver möjligheter som uppstår när varmelagring används i fjärrvärmesystem för att bryta tidsberoendet mellan värmeförsörjning och värmeleverans. Tiden för att lagra värme kan vara allt från enstaka dagar till säsongslagring med en laddnings-/urladdningscykel på ett år.

Den huvudsakliga länken för minskning av koldioxidutsläpp genom värmelagring är en mer effektiv värmeleverans genom att tidsberoendet mellan värmeförsörjning och värmeleverans bryts. Det innebär att värmeförsörjningen kan optimeras utan att behöva ta hänsyn till variationer i värmeförfrågan och därigenom kan behovet av spetslastvärme delvis elimineras.

## 6 Avskilja koldioxid

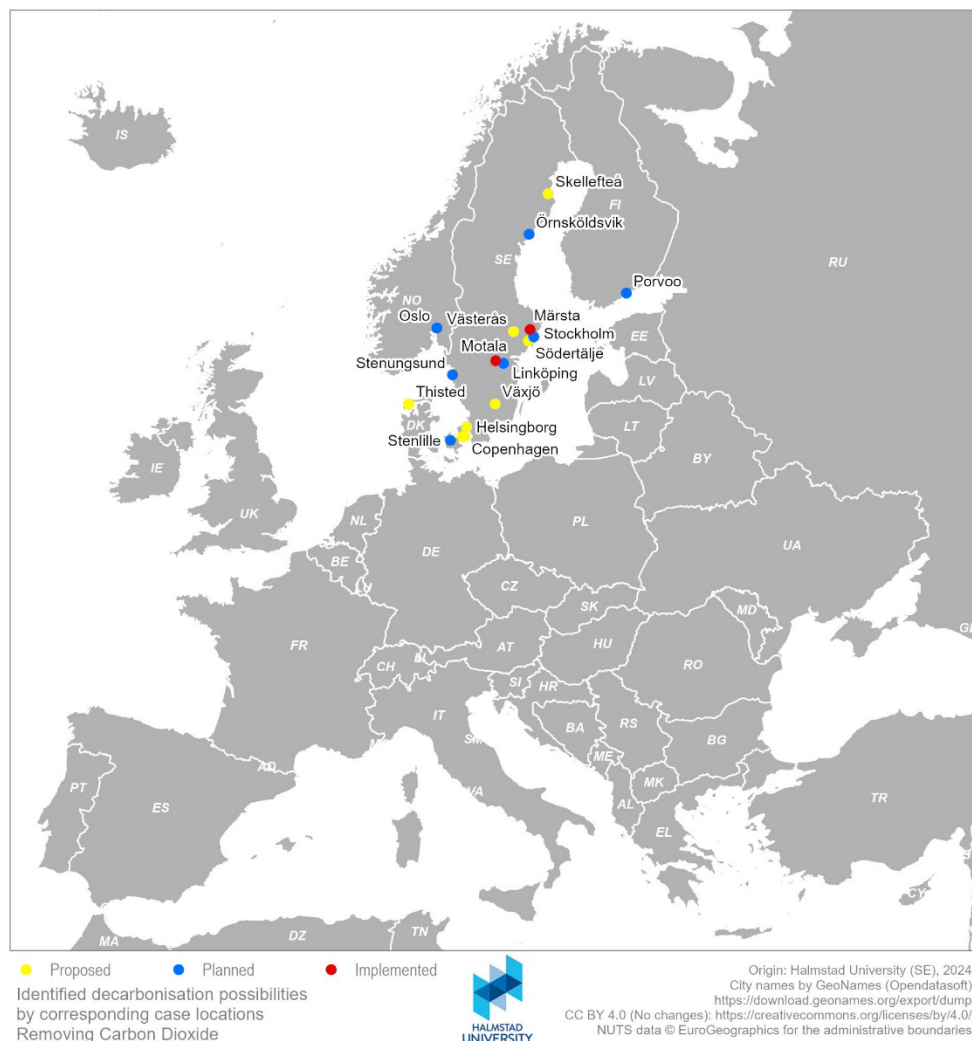
Avskiljning av koldioxid (Carbon Dioxide Removal på engelska som förkortas CDR) från rökgaser föreslås av IPCC (IPCC, 2022) som en nyckelåtgärd för att uppnå de globala klimatmålen. Användningen av CDR vid förbränning av biomassa och avfallsförbränning möjliggör negativa koldioxidutsläpp, förutsatt att den avlägsnade koldioxiden lagras permanent. Detta är en intressant möjlighet för fjärrvärmeföretag och troligtvis kommer att krävas enligt regleringar eller ges incitament i närtid. I kraftvärmeverk koncentreras rökgaserna från förbränning av biomassa eller avfall till en punkt, vilket gör att CDR kan vara mycket effektivt. Detta gäller också för andra branscher som använder mycket biomassa i sina processer, där restvärmen vanligtvis används för fjärrvärmesystem.

Den svenska regeringen kom med ett förslag 2022 om att investera 36 miljarder SEK under perioden 2026 till 2046 på CDR från biomassa med lagring. Den danska regeringen har beviljat 8,1 miljarder DKK i ett liknande stöd, ett statsstöd som godkändes av Europeiska kommissionen i början av 2023 (Reumert, 2023). Det första kontraktet inom detta program tilldelades Ørsted i mitten av 2023, se 6.1.3. I september 2023 presenterade den danska regeringen en överenskommelse, med brett politiskt stöd, om att investera 38 miljarder DKK på CDR under perioden 2025 till 2045 (det första 8,1-miljarder-DKK-kontraktet inkluderat). Upphandlingen för de större kontrakten inom denna överenskommelse kommer att äga rum under 2024 och 2025 (Fjernvermen, 2023).

Det finns huvudsakligen två olika processer för CDR som diskuteras i kombination med kraftvärme och fjärrvärmesystem (Beiron et al., 2022): MEA-processen (Monoetanolamin) och HPC-processen (Hot Potassium Carbonate). MEA-processen är en amin-skrubberprocess och kräver värme från ånga. Detta minskar både kraftproduktionen i turbinen och (i de flesta rapporterade fallen) värmeleveransen. Värme kan återvinnas från MEA-processen till fjärrvärmesystem, vilket ökar den totala verkningsgraden. HPC-processen drivs av elektricitet, som kan tas från turbinen eller elnätet. Den är generellt sett mer effektiv än MEA-processen. Värme kan också återvinnas från HPC-processen, vilket innebär att den totala värmeleveransen vanligtvis ökar vid användning av CDR (samtidigt som kraftleveransen minskar). Fjärrvärmesystem är därför avgörande för att uppnå god total verkningsgrad i båda metoderna.

En annan metod för att avlägsna koldioxid från bränslet som används i fjärrvärmesystem är att avlägsna fossilt innehåll i avfallsströmmarna och överföra innehållet till återvinning, antingen kemiskt eller mekaniskt. I princip är avskiljning bäst att göra på hushållsnivå genom korrekt sortering av avfall. I verkligheten har det dock visat sig svårt att undvika fossila plaster i det allmänna hushållsavfallet. Genom så kallade eftersorteringsanläggningar kan plasterna avskiljas från avfallsströmmarna avsedda för förbränning, vilket minskar de fossila koldioxidutsläppen.

Platserna för alla identifierade fall i databasen avseende att avskilja koldioxid presenteras i Figur 18 nedan.



**Figur 18. Karta som visar identifierade fall som beskriver koldioxidavskiljning och som finns i databasen. KOLDIOXIDAVSKILJNING FRÅN BIOMASSA**

CDR från förbränning av biomassa, i kombination med lagring av koldioxid, benämns vanligtvis som Bio Energy with Carbon Capture and Storage (BECCS). BECCS är relevant för fjärrvärme både vid kraftvärmeverk och vid industrier som tillhandahåller restvärme till fjärrvärme. Intresset och ansträngningarna för att införa CDR inom fjärrvärmesektorn växer snabbt, vilket de nedan beskrivna fallen tydligt visar. De flesta fallen som beskrivs nedan rör avskiljning av koldioxid för permanent lagring, medan några få överväger användning av koldioxiden för vissa processer eller produkter även kallad CCU (Carbon Capture and Utilisation).

Den svenska fjärrvärmesektorn presenterar i (Energiföretagen, 2022) en strategi för att implementera BECCS och anger åtgärder som krävs för att uppnå detta.

Länk:

<https://www.energi.se/artiklar/2023/juni-2023/har-ar-energibolagen-som-satsar-pa-bio-ccs/>

### 6.1.1 2019: Värtaverket, Stockholm Exergi, Stockholm, Sverige

Värtaverket, ett kraftvärmeverk i Stockholm som eldas med biomassa och ägs av Stockholm Exergi AB, planerar en fullskalig BECCS med användning av HPC-processen. En anläggning med kapacitet att avskilja 800 000 ton koldioxid per år förväntas vara i drift 2025 enligt plan. En småskalig testanläggning med samma HPC-process har varit i drift på Värtaverket sedan 2019. Den avskiljda koldioxiden kommer att göras flytande och transporteras med båt till Nordsjön för lagring under havsbotten. Omfattande återvinning av värme i de olika processtegen planeras. Tidiga uppskattningar indikerar att 50-55 MW värme med temperaturer på 75-80°C kommer att vara tillgängligt.

Detta projekt fick ett bidrag från EU:s innovationsfond (EIF) 2022 för att hjälpa till med att förverkliga planerna, se fall 10.6.5. Projektet lämnade in en ansökan om miljötillstånd för fullskalig anläggning i slutet av 2022 (Wikström and Adrup, 2022) och ett slutgiltigt investeringsbeslut förväntas under 2024.

Länk:

<https://beccs.se>

### 6.1.2 2022: Sandviksverket, Växjö Energi, Växjö, Sverige

På Växjö Energis biobränsleeldade kraftvärmeverk Sandviksverket installerades i mitten av 2022 en pilotanläggning för CDR. Den använda tekniken, känd som AMP/DMSO (Karlsson et al., 2021), är aminbaserad, men skiljer sig från den standard MEA-processen genom att inte vara vattenburen. Tekniken har utvecklats av forskare från Lunds universitet och anses vara mer energieffektiv än den vanliga MEA-processen. Projektet, som är ett samarbete mellan Lunds universitet, Granitor, Sysav, Öresundskraft och Växjö Energi, fick finansiering från Energimyndigheten 2022. Potentialen för CDR vid Sandviksverket uppskattas till 200 000 ton årligen för en fullskalig anläggning, som enligt nuvarande planer kan vara i drift år 2027. Det finns planer på att testa samma teknik vid två avfallsbaserade kraftvärmeverk, Filbornaverket i Helsingborg (Öresundskraft AB) och hos Sysav i Malmö.

Länk:

<https://www.veab.se/om-oss/press/pressmeddelanden/2021/vaxjo-energi-forst-ut-med-att-testa-ny-teknik-for-att-fanga-in-koldioxid/>

### 6.1.3 Planerat: Asnæs och Avedøre, Kalundborg och Köpenhamn, Danmark

Kraftvärmeverken Asnæs i Kalundborg, Danmark, och Avedøre i Stor-Köpenhamn, som båda drivs av Ørsted, kommer att installera BECCS med planerad driftstart under 2025. Fram till 2026 ska fullskalig avskiljning vid dessa anläggningar vara i drift och kunna fånga in 430 000 ton koldioxid årligen. Incitamentet för att bygga anläggningen är att projektet fått till ett avtal med den danska Energistyrelsen där de stöttar projektet med sammanlagt 8,3 miljarder DKK under 20 år.

Länkar:

[https://danskfjernvarme.dk/aktuelt/presseklip/2023/230516-dagens-overblik?link\\_id=f83061a8-c225-4b5e-a414-701d49cf16ee](https://danskfjernvarme.dk/aktuelt/presseklip/2023/230516-dagens-overblik?link_id=f83061a8-c225-4b5e-a414-701d49cf16ee)  
<https://danskfjernvarme.dk/aktuelt/nyheder/2023/oersted-bygger-danmarks-foerste-co2-fangstprojekt>

#### 6.1.4 Planerat Hörneboverket, Örnsköldsvik, Sverige

Hörneboverket är ett biomasseeldat kraftvärmeverk i Örnsköldsvik som ägs av Övik Energi och kommer att fungera som koldioxidkälla för FlagshipONE, en planerad e-metanolfabrik som ska byggas av Ørsted i Örnsköldsvik (Bioenergi, 2023c), se även fall 8.1.5. FlagshipONE planerar att börja sin verksamhet 2025. 2023 meddelade Ørsted att de hade ingått ett avtal med Carbon Clean som kommer att leverera CDR-utrustning för verksamheten. En MEA-process som har vidareutvecklats av Carbon Clean kommer att användas. E-metanolen är avsedd som förnybart bränsle för sjöfarten.

#### 6.1.5 Föreslaget: Igelstaverket, Söderenergi, Södertälje, Sverige

En systemstudie har genomförts under 2022 vid Igelstaverket, ett biomasseeldat kraftvärmeverk i Södertälje som ägs av Söderenergi AB, där olika alternativ för BECCS har studerats. Studien jämförde MEA- och HPC-processalternativen och noterade en potential att avskilja 500 000 ton koldioxid årligen. I slutet av 2022 lämnades en ansökan på 25 MSEK in till den svenska energimyndigheten (Industriklivet) för att kunna gå vidare till nästa fas.

Länk:

<https://bioenergitudningen.se/igelstaverket-ska-minska-koldioxidutslappen-med-500-000-ton/>

#### 6.1.6 Föreslaget: Mälarenergi, Västerås, Sverige

En förstudie genomfördes under 2021 på Mälarenergi i Västerås för att implementera BECCS vid deras kraftvärmeverk. Studien stöddes av ett bidrag från Energimyndigheten (Bioenergi, 2020).

#### 6.1.7 Föreslaget: Njord Carbon, Stockholm, Sverige

Njord Carbon är ett samarbete mellan Verdane (en internationell investeringsfirma), Södra AB och Equinor (ett internationellt energiföretag med huvudkontor i Norge med expertis inom koldioxidlagring) med syfte att installera BECCS i industriella anläggningar inom Södra, till exempel deras massa- och pappersbruk, som är betydande leverantörer av restvärme till närliggande fjärrvärmesystem (Bioenergi, 2023a). Huvudtanken är att koldioxiden huvudsakligen skall lagras, men eventuell användning i nya produkter kommer också att undersökas.

#### 6.1.8 Föreslaget: Amagerværket, Köpenhamn, Danmark

För Amagerværket, ett biomasseeldat kraftvärmeverk i Köpenhamn som ägs av HOFOR, finns planer på att avskilja upp till 900 000 ton koldioxid årligen. HOFOR tilldelades i slutet av 2023 ett stöd på 50 miljoner DKK för att finansiera



förberedelserna av en ansökan om bidrag inom ramen för den danska statliga CDR-stödprogrammet. Om man får ett positivt besked på ansökan kan en CDR-anläggning tas i drift 2028 eller 2029.

Länk:

[https://danskfjernvarme.dk/aktuelt/nyheder/2023/hofor-goer-klar-til-at-fange-co2-paa-amagervaerket?link\\_id=5c634915-6142-40c1-9907-289e8ea58c1a/](https://danskfjernvarme.dk/aktuelt/nyheder/2023/hofor-goer-klar-til-at-fange-co2-paa-amagervaerket?link_id=5c634915-6142-40c1-9907-289e8ea58c1a/)

## 6.2 KOLDIOXIDAVSKILJNING FRÅN AVFALLSFÖRBRÄNNING

Beroende på proportionerna mellan fossilt och biologiskt innehåll i avfallsströmmarna kommer CDR och efterföljande lagring också avfallsförbränning att kunna skapa negativa koldioxidutsläpp, dock inte i samma utsträckning som för förbränning av biomassa. Trots närvaron av fossilt innehåll i avfall benämns detta också vanligtvis för BECCS. Den danska fjärrvärmesektorn presenterade i (Fjernvarme, 2023) en lista över åtgärder som den danska regeringen bör överväga för att underlätta CDR från avfallsförbränning (och förbränning av biomassa).

### 6.2.1 2021: Kraftvarmeværk Thisted, Danmark

Thisted är ett avfallseldat kraftvärmeverk där ett mindre pilotprojekt genomfördes under sommaren 2021. 1% av rökgaserna riktades mot en aminskrubber för att avskilja koldioxid baserat på teknik som ursprungligen utvecklats för uppgradering av biogas. Nästan all koldioxid i rökgaserna som riktades mot skrubbern avskildes under testperioden. Projektet, som var banbrytande för CDR från avfallsförbränning i Danmark, var ett samarbete mellan Thisted Kraftvarmeværk, Ammongas A/S (som tillhandahöll skrubbern) och SEG A/S. Som huvudslutsats från projektet visades det att det är tekniskt möjligt att avlägsna nästan 100% av koldioxiden från rökgaserna. Projektet tilldelades det danska fjärrvärmepriset Fjernvarmeprisen 2021.

Länk:

<https://fjernvarmen.danskfjernvarme.dk/p/magasinet-fjernvarmen/2021-12-02/r/9/16-17/3045/473343>

### 6.2.2 2021: Amager Bakke ARC, Köpenhamn, Danmark

Amager Bakke är ett avfallseldat kraftvärmeverk i Köpenhamn, ägd av ARC, installerade en första pilotanläggning för CDR 2021. Anläggningen har kapacitet att fånga 850 kg koldioxid per dygn. Partners i pilotprojektet var ARC, DTU, Pentair och Rambøll. Piloten använde MEA-processen med återvinning av värme. Målet är att uppnå netto-noll användning av energi för avskiljningsprocessen genom att uppgradera lågtempererad restvärme till fjärrvärme med hjälp av värmepumpar. Piloten ersattes under 2023 av en demonstrationsanläggning som kan avskilja 4 ton koldioxid per dygn. ARC misslyckades med att få ett bidrag från EU:s innovationsfond (EIF) år 2022 vilket förväntas försena den fullskaliga implementeringen som ursprungligen var planerad för 2025 och kapacitet att avskilja 500 000 ton koldioxid årligen.

Länkar:

<https://online.flippingbook.com/view/596430928/4/>  
<https://a-r-c.dk/english/demonstration-plant-for-carbon-capture-2023/>  
<https://ramboll.com/projects/rdk/arc-amager-bakke-carbon-capture>  
<https://danskfjernvarme.dk/aktuelt/nyheder/2023/nyt-anlaeg-markerer-start-paa-potentielt-co2-eventyr>

### 6.2.3 2022: Filbornaverket, Öresundskraft, Helsingborg, Sverige

Filbornaverket är ett avfallseldat kraftvärmeverk i Helsingborg. Där genomfördes, under fyra månader 2022 en utvärdering av en HPC-pilot för CDR (Bioenergi, 2022). Detta är Sveriges första avfallseldade kraftvärmeverk som testar HPC-processen. Ett mål med studien var att undersöka den totala energianvändningen för processen med syftet att nå max 1 MJ/kg koldioxid (Energimyndigheten, 2022).

Dessutom har en aminebaserad (AMP/DMSO) CDR-process undersökts i en tidigare utvärdering. Vid skrivandets tidpunkt är det inte beslutat vilken teknik som ska föreslås för en eventuell framtida fullskalig installation. Efter ett slutgiltigt investeringsbeslut som planeras till 2025 (Bioenergi, 2023b), kan en fullskalig anläggning tas i drift 2027, vilken då förväntas avskilja 210 000 ton koldioxid per år, varav 120 000 ton skulle vara av biogent ursprung.

### 6.2.4 Planerat: Klemetsrudverket, Oslo, Norge

Kraftvärmeverket Klemetsrud i Oslo som ägs av Hafslund Oslo Celsio, bygger världens första fullskaliga CDR-anläggning (med lagring) från avfallsförbränning. Den beräknas vara i drift 2026 (Valestrand, 2023). Norges regering stödjer projektet med 3 miljarder NOK och Oslos kommun med 2 miljarder NOK. Kommunen motiverar stödet med att kraftvärmeverket för närvarande står för 17% av koldioxidutsläppen i Oslo. Den totala investeringen uppskattas till 9,1 miljarder NOK och anläggningen kommer att avskilja 400 000 ton koldioxid per år. Anläggningen kommer att ha en aminebaserad process och avgörande för att få lönsamhet är att man återvinner värme till fjärrvärmenätet.

Länk:

<https://www.projectaccess.eu/partners/hafslund-oslo-celsio/>

### 6.2.5 Förslaget: Vestfforbrænding, Glostrup, Danmark

Vestfforbrænding, ett danskt företag inom energi och avfallshantering, skickade in anbud för det första kontraktet inom det danska statliga stödprogrammet för CDR under våren 2023. Trots att de inte fick kontraktet, rapporteras det att de avser att fortsätta med CDR-utvecklingen, men med en något längre tidsram. De föreslår ett alternativ för lagring av koldioxid på land, vilket de hävdar är en enklare lösning.

Länk:

[https://danskfjernvarme.dk/aktuelt/nyheder/2023/co2-fangst-vestforbraending-er-stadig-klar-til-at-gaa-i-gang?link\\_id=49998ed8-7376-4120-9bf2-c829de8d04a0](https://danskfjernvarme.dk/aktuelt/nyheder/2023/co2-fangst-vestforbraending-er-stadig-klar-til-at-gaa-i-gang?link_id=49998ed8-7376-4120-9bf2-c829de8d04a0)

### 6.3 PLASTÅTERVINNING FÖRE AVFALLSFÖRBRÄNNING

För att minska andelen plast som förbränns för att i stället återvinnas kan flera olika åtgärder vidtas. En åtgärd är att öka antalet typer av plaster som effektivt kan återvinnas, en annan är att kunna separera plast från hushållsavfall, och en tredje är kemisk återvinning på komplexa plaster som inte på ett enkelt sätt kan återvinnas mekaniskt.

#### 6.3.1 2021: Stockholm Exergi och SÖRAB, Märsta, Sverige

Stockholm Exergi AB har i samarbete med SÖRAB byggt Sveriges första anläggning för eftersortering av plast från hushållsavfall. Anläggningen finns vid kraftvärmeverket Brista 2 och togs i drift 2021 (Wickström, 2021). Anläggningen har kapacitet att sortera ut 18 000 ton plast (och 2 500 ton metall) per år och kan därigenom minska koldioxidutsläppen med 36 000 ton per år. Den sorterade plasten skickas till Svensk Plaståtervinning AB:s anläggning Site Zero (se avsnitt 6.3.2 nedan).

#### 6.3.2 2023: Svensk Plaståtervinning, Motala, Sverige

Svensk Plaståtervinning AB har byggt världens största återvinningsanläggning för plast i Motala. Anläggningen heter Site Zero och kommer att tas i drift i två faser. Fas ett planeras vara klar 2023 och fas två 2025. Fas ett har en kapacitet att hantera 200 000 ton plast årligen, med möjlighet att sortera tolv olika typer av plast. Det innebär att nästan all plast som används för förpackningar i Sverige kan hanteras och återvinnas. Den andel av plast som inte kan materialåtervinnas kommer att gå till energiåtervinning i en anläggning försedd med CCS. Fas två inkluderar tvättning och granulering av plasten. Av kostnaden på 1 miljard SEK för investeringen utgör 180 miljoner SEK delfinansiering från Klimatklivet (Naturvårdsverket).

Under 2022 meddelade Svensk Plaståtervinning att de investerat i en ny linje som möjliggör sortering av plast som avskilts från hushållsavfall vid så kallad eftersortering. Denna plast, som annars skulle ha förbränts, är kraftigt förorenad och kräver särskild behandling, vilket den nya linjen klarar av. Denna andra investering har fått 108 miljoner SEK i bidrag från Klimatklivet.

Länkar:

<https://www.svenskplastatervinning.se/site-zero/>

<https://www.svenskplastatervinning.se/miljonstod-mojliggor-atervinning-av-komplex-plast-fran-landets-eftersorteringsanlaggningar/>

#### 6.3.3 Förslaget: Borealis, Stenungsund, Sverige

Kemiföretaget Borealis i Stenungsund som är en stor producent av råmaterial av plast, har gjort en genomförbarhetsstudie om kemisk återvinning av plast. Projektet har genomförts i samarbete med Stena Recycling och har fått finansiering från Energimyndigheten. Om studien ger ett positivt resultat förväntas verksamheten påbörjas 2024 eller 2025. Ett samarbete har inletts mellan Borealis och Svensk Plaståtervinning för att använda denna anläggning för att ta hand om komplexa plaster från Site Zero (fall 6.3.2) som inte går att återvinna mekaniskt.

Länkar:

<https://www.borealisgroup.com/news/true-to-its-everminds-mind-set-borealis-drives-collaborative-project-in-sweden-to-increase-supply-of-chemically-recycled-feedstock-for-the-manufacture-of-more-circular-base-chemicals-and-plastic-products>

<https://www.svenskplastatervinning.se/unik-cirkular-kemisk-atervinning-nytt-samarbete-mellan-svensk-plastatervinning-och-borealis/>

#### 6.3.4 Föreslaget: Neste och Alterra, Borgå, Finland

Neste är ett kemiföretag med huvudkontor i Finland köpte 2022 de europeiska rättigheterna till Alterra Energy:s teknik för termokemisk förgasning för kemisk återvinning av plast. De planerar att tillämpa tekniken vid sitt raffinaderi i Porvoo, Finland.

Länk:

<https://www.neste.com/releases-and-news/circular-economy/chemical-recycling-plastic-neste-acquires-european-rights-terterra-energys-thermochemical>

#### 6.3.5 Föreslaget: Fossil Eye, Linköping, Sverige

Tekniska Verken i Linköping, har byggt en pilotanläggning för att på kundnivå mäta mängden fossila plaster i hushållsavfall. Anläggningen kallas Fossil Eye och är ett samarbete mellan Tekniska Verken, Vattenfall och Umeå Energi. Målet är att minska plasterna i hushållsavfallet genom att införa en separat avgift för den fossila andelen i avfallet. Kunderna får direkt återkoppling om mängden plast vilket uppmuntrar till bättre sortering av plast i hushållen.

Länk:

<https://www.tekniskaverken.se/om-oss/innovation/fossileye/>

<https://energiforsk.se/nyhetsarkiv/det-fossila-og-at-terterra-energis-thermochemical>

### 6.4 SUMMERING AV 3 MÖJLIGHETER OM ATT AVSKILJA KOLDIOXID

Det pågår många projekt relaterade till fjärrvärme i de nordiska länderna där avskiljning av koldioxid (CDR) från rökgaser är på väg att implementeras. Kraftvärmeverk eldade med biomassa eller avfall är de typiska i sammanhangen för dessa initiativ. Tekniken för CDR finns, men en avgörande framgångsfaktor är sannolikt energiåtgången och återvinning av värme, vilket många projekt fokuserar på. En kompletterande metod för att ta bort koldioxid är att omdirigera fossil plast i avfallsströmmarna till återvinning.

Om koldioxiden lagras permanent, vilket är planerat i de flesta projekt, minskar koldioxidutsläppen. Dessutom, om bränslet är av biogent ursprung, uppnås negativa utsläpp, förutsatt att det finns en motsvarande hållbar återväxt av biomassa.

På grund av brådskan med minskning av koldioxidutsläpp bör ett ersättningssystem för CDR övervägas för att öka incitamenten för fjärrvärmeföretag att använda de CDR-metoder som presenteras i dessa fall i syfte att minska koldioxidutsläppen och till och med uppnå negativa utsläpp.

## 7 Värmetillförsel med linjär försörjning

Möjligheterna avseende värmetillförsel är enligt inledningen indelade i tre kapitel i denna rapport. Som det första av dessa tre kapitel ingår linjär värmetillförsel från förnybara energikällor. I denna linjära värmeförsörjning ingår således möjligheter till baslast utan någon värmeåtervinning. De följande två kapitlen ägnas åt värmeåtervinning och spetstillförsel.

De nio möjligheterna med förnybart inom linjär värmetillförsel är indelade i fyra olika huvudgrupper av möjligheter: **geotermi, solvärme, elvärme och omgivningsvärme**. Geotermisk värme presenteras av fem olika möjligheter beroende på deras grundläggande tillgänglighet relaterade till **vulkaniska zoner, hydrotermiska akviferer, kristallina berggrunder, övergivna gruvor och grunda borrhål**. De geotermiska alternativen är indelade i dessa fem grupper eftersom förutsättningarna för prospektering och utvinning av geotermi skiljer sig mycket åt mellan dessa alternativ.

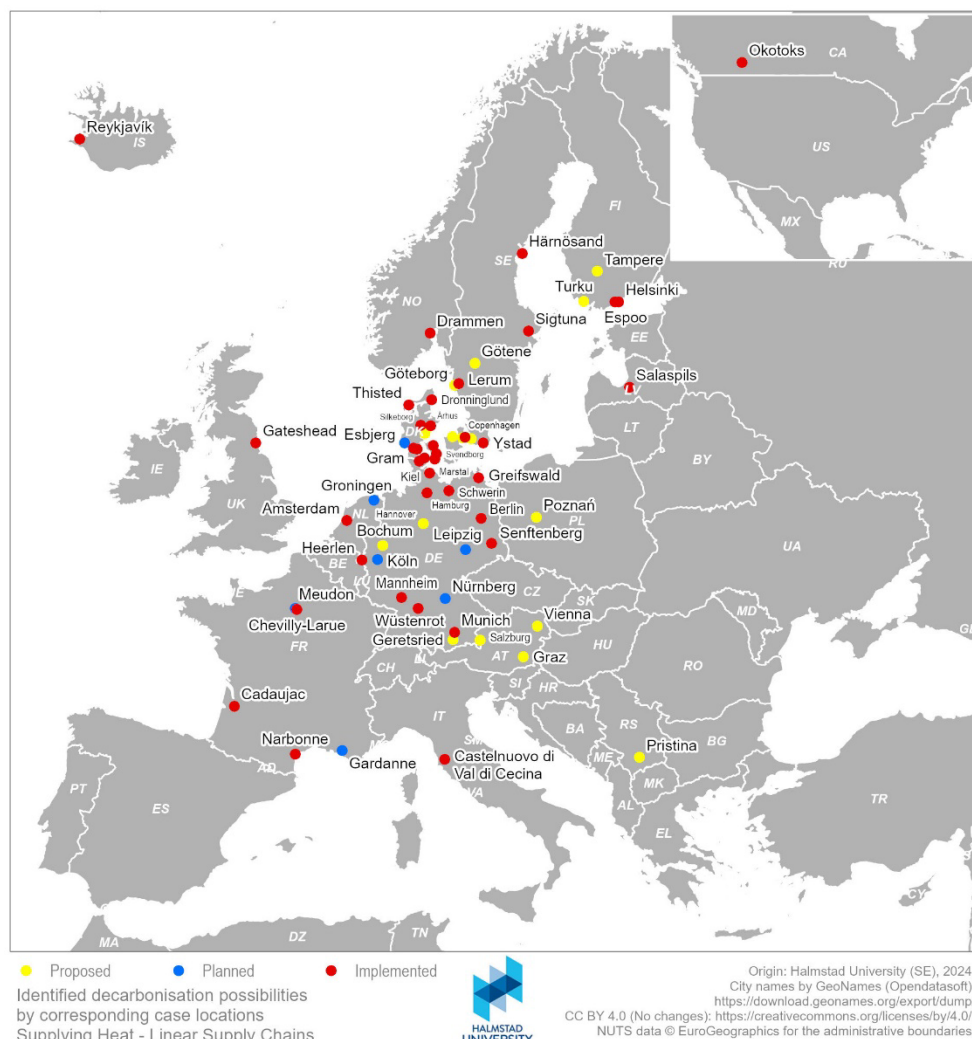
Nuvarande situation och framtidsutsikter för att använda geotermisk värme sammanfattas globalt i (Lund and Toth, 2021) and (Lund et al., 2022) medan den europeiska situationen sammanfattas i (Sigfússon and Uihlein, 2015), (Bielewski et al., 2022), and (EGEC, 2023).

Geotermi kan klassificeras i djupa och grunda källor baserat på det borrhjup som behövs för att uppnå önskad temperatur. Djup geotermi hänförs till djup som sträcker sig från flera hundra meter till några kilometer ner i berggrunden. Med grund geotermi avses borrhålsdjup på enbart några hundra meter.

Att utnyttja geotermisk värme för fjärrvärme kan ske genom slutna eller öppna slingor. I slutna system rör sig inte underjordsvattnet utan värmen utbyts via en vertikal eller horisontell vattenslinga som fungerar som en värmeväxlare. I system med öppna slingor strömmar vattnet från den varma underjordiska reservoaren till antingen omgivande miljö eller till en annan kallare underjordisk reservoar.

Solfjärrvärme utgör den sjätte möjligheten genom att använda stora solfångarfält, medan överskottsel av el under blåsiga dagar ger den sjunde möjligheten genom att använda stora elpannor. Lågtempererad värme från havs- och sjövattnet utgör den åttonde möjligheten genom att använda stora värmepumpar. Lågtempererad värme från luft är den nionde möjligheten genom att också använda stora värmepumpar. Denna sista möjlighet har nyligen introducerats i fjärrvärmesystem. Var och en av dessa fyra möjligheter introduceras ytterligare i sina egna avsnitt.

Platserna för alla identifierade fall som berör linjär värmeförsörjning med förnybara energikällor visas i Figur 19.



Figur 19. Karta som visar platserna för identifierad fall i databasen för linjär värmeförsel.

## 7.1 GEOTERMI FRÅN VULKANISKA ZONER

Varmt vatten från vulkaniska zoner kan utnyttjas för energiändamål, där direkt uppvärmning är den enklaste tillämpningen. Massflödet och den geotermiska källans temperatur bestämmer det geotermiska vattnets potential i fjärrvärmeapplikationer.

Geotermisk energi skördas vanligtvis över hela världen i områden med unga vulkaner. Island och Toscana i Italien är dock de två enda områdena i Europa där geotermisk värme utvinns från vulkaniska zoner till fjärrvärmesystem.

Geotermisk värme från vulkanområden är relativt tillförlitlig, och i motsats till många andra gröna energikällor som vind eller sol, är den inte utsatt för fluktuationer. En annan fördel med vulkanisk geotermisk värme är dess höga kapacitet. En av de mest betydande nackdelarna är att geotermiska projekt kräver höga initiala kostnader. Att borra tillräckligt djupt i jordskorpan för att nå den efterfrågade värmen och att installera utvinningsystem kan vara mycket kostsamt.

Referens: (Dincer and Ozcan, 2018)



### 7.1.1 1930: Reykjavik, Island

Island utmärker sig som ett av de mest geologiskt aktiva områdena globalt, kännetecknat av en betydande vulkanisk närvaro. Med över 200 vulkaner upplever Island i genomsnitt 20 till 30 vulkanutbrott per århundrade. Landet har mer än 25 högttemperaturområden inom sina vulkaniska zoner, där temperaturen kan stiga upp till 200°C och borrhjupen kan bli mer än 1000 meter. Dessutom har omkring 250 lågtemperaturområden med temperaturer som inte överstiger 150°C identifierats. Ytterligare finns det över 600 varma källor med temperaturer över 20°C. Detta geografiska tillstånd har gett Island ett utmärkt tillfälle att använda geotermisk värme för uppvärmning av byggnader.

För närvarande kommer nästan 62 % av den primära energitillförseln på Island från geotermiska källor. Geotermiska resurser utnyttjas för både elproduktion och direkt användning. I fält med hög temperatur (>200°C) genererar åtta kraftvärmeanläggningar både el och värme. Lågtemperaturområdena (<150°C) utnyttjas främst för att leverera enbart varmvatten för fjärrvärme. Direkt användning av geotermisk energi för uppvärmning beräknas till 9300 GWh värme årligen. Den största geotermiska användningssektorn är därför rumsuppvärmning, med en andel på 45 %, följt av elproduktion med en andel på 39 %.

Omkring 30 geotermiska fjärrvärmesystem drivs i Islands städer och byar. Dessutom finns cirka 200 små geotermisystem på landsbygden. Orkuveita Reykjavíkur har det överlägset största geotermiska fjärrvärmenätet på Island, och tillhandahåller värme till huvudstaden Reykjavík och dess närliggande städer. Företaget betjänar cirka 240 000 människor, vilket motsvarar 65 % av hela Islands befolkning. Ändå är den totala geotermiska potentialen långt utöver vad som för närvarande utnyttjas. Å andra sidan har en ökad miljömedvetenhet lett till enighet om att skydda naturområden, vilket lett till motstånd mot vattenkraft och vissa geotermiska projekt.

Referens: (Ragnarsson et al., 2020)

### 7.1.2 1955: Larderello, Italien

Det geotermiska klustret i Larderello-området ligger i centrala Italien och är en av världens äldsta geotermiska energianläggningar. Den första enheten för elproduktion togs i drift 1913. Anläggningen omfattar nu 34 kraftverk med en total kapacitet på cirka 900 MW elproduktion. Reservoardjupen vid det geotermiska fältet sträcker sig från 700 till 4 000 meter under markytan.

Geotermisk värme från dessa anläggningar används också för lokala fjärrvärmesystem. Det första togs i drift 1955 och för närvarande finns 21 geotermiska system i drift i kommuner som ligger i närheten av Larderello.

Referens: (AIRU, 2021)

Länkar:

<https://www.power-technology.com/features/oldest-geothermal-plant-larderello>

<https://www.geoenergyservice.it/impianto/>

[http://geodh.eu/wp-content/uploads/2015/01/IT\\_Pomaranco\\_GeoDH.pdf](http://geodh.eu/wp-content/uploads/2015/01/IT_Pomaranco_GeoDH.pdf)



## 7.2 GEOTERMI FRÅN AKVIFERER

Geotermiska akviferer är permeabla lager av vätskeförande berggrunder. En del av värmen som strömmar från jordens inre delar till dess yta lagras i akviferer och kan användas direkt för uppvärmning. När temperaturerna är tillräckligt höga kan värmen även användas för att generera el.

För att utnyttja geotermisk värme är det ofta nödvändigt att borra brunnar som kan sträcka sig flera kilometer djupt, beroende på var den geotermiska akviferen befinner sig. I vissa fall kan temperaturer så höga som 80 till 100°C uppnås. Varmt geotermiskt vatten pumpas upp till ytan genom borrhålen och dess värme fångas upp via värmeväxlare. Värmen överförs sedan till vattnet i fjärrvärmenätet i en sluten krets och det geotermiska vattnet pumpas tillbaka till underjorden. Vid låga geotermitemperaturer kan en stor värmepump behövas för att höja temperaturen till den nivå som behövs i fjärrvärmenätet.

Geotermisk värme har betydande potential, men dess effektiva utnyttjande beror på flera faktorer. Möjligheten att utnyttja denna potential är beroende av gynnsamma geologiska förhållanden, såsom adekvata flöden och temperaturer för de geotermiska resurserna. Dessutom spelar tillgången på lämpliga ytor i närheten av fjärrvärmenätet en avgörande roll. Denna möjlighet med varma akviferer är det mest framgångsrika alternativet för geotermisk värmeförsörjning till fjärrvärmesystem i Europa.

Referenser: (Limberger et al., 2018), (Garabetian et al., 2021)

Länk:

<https://www.nordeafunds.com/da/artikler/dansk-selskab-vil-revolutionere-nordeuropas-fjernvarme>

### 7.2.1 1985: Semhach, Chevilly-Larue, Frankrike

Företaget Semhach ansvarar för det geotermiska värmesystemet som försörjer tre förortsstäder (L'Hay-les-Roses, Chevilly-Larue och Villejuif) söder om Paris. Tidigare försörjdes nätet av två geotermiska anläggningar. Varje enhet bestod av två brunnar, en för att pumpa upp varmt vatten och en för att återinjicera i samma reservoar, minst en kilometer bort, för att inte kyla varmvattenkällan. Återföring av det geotermiska vattnet är obligatoriskt för att bevara resursen och eftersom vattnet är mycket salt och inte kan tillföras markytan av miljöskäl. Företaget har också byggt en tredje anläggning, som togs i drift under 2017 och som 2020 kom att leverera värme till nästan 40 000 hushåll, vilket sparar utsläpp på mer än 36 000 ton koldioxid årligen.

Nätkonfigurationen som används i detta distributionsnät presenteras i avsnitt 4.3.1.

Referenser: (Faessler, 2015, Faessler, 2016, Faessler and Lachal, 2017)

Länkar:

<https://www.semhach.fr/>

<https://www.thinkgeoenergy.com/new-geothermal-heating-development-under-way-in-paris-france>

### 7.2.2 2004: Stadtwerke München, München, Tyskland

München ligger i södra Tyskland, norr om Alperna. Regionen runt München innehåller för närvarande omkring 30 geotermiska brunnar för både el- och värmeproduktion och eftersom den ligger ovanför Molassebassängen (även känd som Malm), som innehåller stora resurser av varmt geotermiskt vatten.

Stadtwerke München (SWM) etablerade 2008 en långsiktig vision innehållande tre pelare med (1) all elförsörjning ska vara förnybar 2025, (2) fjärrvärmesystemet ska vara koldioxidneutralt 2040 och (3) fjärrkyla bör kunna ersätta individuella luftkonditioneringsenheter. Visionen preciserades 2012 genom att geotermisk värme skulle vara det främsta verktyget för att nå fjärrvärmevisionen (Stadtwerke München, 2012) och (Frey and Miller, 2017). Stommen i den nuvarande värmeförsörjningen har varit två stora traditionella kraftvärmeverk som använder fossila bränslen. Den nuvarande årliga värmeförsäljningen är över 4 TWh som fördelas med en ledningslängd på 900 km. Dessa värmeleveranser täcker ungefär en tredjedel av det nuvarande totala värmebehovet i München.

Strategin för att nå den långsiktiga fjärrvärmevisionen har innehållit samarbeten med olika geotermiföretag, deltagande i forskningsprojekt, såsom GRAME-projektet med Münchens tekniska universitet och det tidiga LowEx-projektet (Henke et al., 2015) och ett steg-för-steg-introduktion av geotermiska anläggningar. Den tidiga delen av denna omfattande transformationsprocess sammanfattas i (Farquharsson et al., 2016).

SWM driver för närvarande sex geotermiska anläggningar, där några av dem också genererar el genom ORC. Den första geotermiska anläggningen togs i drift 2004 i Riem i de östra delarna av München. Kraftvärmeverket Sauerlach, beläget söder om München, togs i drift 2014. Det tredje verket blev Freiham 2016, beläget i de västra delarna av München. Under 2016-2017 köptes två privata geotermiska kraftverk i Dürrnbar och Kirchstockach med avsikt att även utnyttja dem för värmeförsörjning. Sendling-verket som ligger intill centrala Süd-kraftvärmeverket blev det sjätte verket 2022. Borrhålsdjupen varierar mellan 2500 och 5000 meter, medan temperaturerna på det geotermiska vattnet varierar mellan 90 och 140°C, där de högre temperaturerna finns i södra München.

Avsikten är att den sjunde geotermiska stationen ska dyka upp i Michaelibad-distriktet, eftersom borrstart planeras till 2024 och driftsättning beräknas till 2029. Den nuvarande planen är att ha en total värmekapacitet till 2040 på 400 MW geotermi tillsammans med en elproduktion på 50 MW från alla geotermiska källor.

Länkar:

<https://www.swm.de/energiewende/waermewende>

<https://www.swm.de/dam/doc/english/swm-sustainability-report.pdf>

<https://www.swm.de/dam/doc/english/swm-annual-report.pdf>

### 7.2.3 2007: Sønderborg Fjernvarme, Sønderborg, Danmark

2007 gick DONG Energy (nu Ørsted) och det kundägda fjärrvärmeföretaget Sønderborg Fjernvarme samman för att utvärdera möjligheten att utnyttja geotermisk värme i Sønderborg. Det primära syftet med detta samarbete var att

utforska potentialen i att utnyttja geotermisk värme för det lokala vattenbaserade fjärrvärmesystemet.

Efter seismiska undersökningar etablerades två brunnar (en för produktion och en för injektion) med ett djup på 1200 meter under 2010. Produktionstemperaturen nådde 48°C, och injektionstemperaturen var 15°C efter kylning med en värmepump. Det geotermiska vattenflödet hade en hastighet av upp till 335 m<sup>3</sup>/h och avståndet mellan borrhålen varierade från 840 till 1 200 meter. Den geotermiska kapaciteten var 12 MW vilket nådde 29 MW tillsammans med drivvärmens till absorptionsvärmepumpen. Bland projektets utmaningar var att den primära målreservoaren inte hittades. Det sekundära alternativet var dock bättre än väntat. På grund av problem i anläggningens injektionsbrunn har anläggningen dock inte bidragit till värmeförselns sedan 2018.

Sønderborg Fjernvarme og Innargi nådde i början av 2023 en överenskommelse om att försöka återuppta utvinningen av geotermisk värme. Denna potentiella omstart avvisades dock av fjärrvärmebolaget i januari 2024, då de kommunicerade att detta geotermiska projekt kommer att bli för dyrt jämfört med andra möjliga alternativ.

Länkar:

<https://www.sonderborg-varme.dk/om-os/produktionsanlaeg/vores-produktionsanlaeg>

<https://danskjernvarme.dk/aktuelt/nyheder/2023/soenderborg-varme-vil-genoplive-geotermi>

<https://www.sonderborg-varme.dk/om-os/om-soenderborg-varme/nyhedsarkiv/pressemeddelelse-soenderborg-varme-nedlaegger-geotermianlaeg/>

#### 7.2.4 Planerat: GeoMeudon, Meudon, Frankrike

Den franska kommunen Meudon och Engie Solutions har skapat GeoMeudon, ett företag som ska bygga och driva en planerad geotermisk anläggning i Meudon. Syftet med att utnyttja geotermisk energi är att minska användningen av fossila bränslen och undvika att värmepriserna skjuter i höjden. Planen är att leverera värme till 15 000 invånare år 2026. Det motsvarar 83 % av stadsdelens totala värmebehov. Investeringen som behövs för denna övergång har uppskattats till 37 miljoner euro. Användningen av geotermisk värme, tillsammans med en värmepump, kommer att förhindra 17 700 ton koldioxidutsläpp årligen. Dessutom förväntas kundfaktureringen minska med 25 till 40%. Övergången var tänkt att påbörjas 2023 genom att den befintliga gaspannan skulle demonteras. Samtidigt påbörjades borrning av geotermiska borrhål och bygget av en ny panncentral.

Länk:

<https://www.thinkgeoenergy.com/meudon-france-targets-geothermal-district-heating-by-2026>

#### 7.2.5 Föreslaget: Innargi + Kredsløb, Århus, Danmark

Geotermiföretaget Innargi och det kommunala bolaget Kredsløb avser att ta EU:s största geotermiska fjärrvärmeverk i drift i den danska staden Aarhus. Det

föreslagna systemet är en geotermisk anläggning på 110 MW som ska börja leverera värme till staden 2025. Anläggningen kommer att nå full kapacitet 2030 och täcka cirka 20 % av fjärrvärmebehovet. Projektet ligger i linje med målet att fasa ut importerade träpellets till 2030.

Genom att utnyttja geotermisk värme i detta projekt skulle det vara möjligt att minska mängden importerad träpellets, som för närvarande är 55 000 ton per år. Följaktligen minskar biogena koldioxidutsläpp med 95 000 ton årligen. Om den sparade biomassan används för att producera metanol för transporter kan ytterligare 70 000 ton koldioxid skäras bort. Innargi bär risken i alla projektfaser, inklusive underjordsrelaterade driftsproblem eller om en lägre geotermitemperatur erhålls än förväntat.

Länkar:

<https://www.kredslob.dk/om-os/presse-og-medier/pressemeddelelser/2022-pressemeddelelser/140122-presse-eus-stoerste-geotermiske-fjernvarmeanlaeg-bygges-i-aarhus>

<https://danskfjernvarme.dk/aktuelt/nyheder/2023/det-var-en-tilfaeldighed-der-fik-geotermi-til-aarhus>

<https://danskfjernvarme.dk/aktuelt/nyheder/2023/en-milepael-for-geotermien-borearbejdet-er-i-gang-i-aarhus>

<https://danskfjernvarme.dk/aktuelt/nyheder/2023/saadan-borer-man-17-geotermibroende-i-aarhus>

<https://innargi.com/third-geothermal-drilling-commences-in-aarhus/>

#### 7.2.6 Föreslaget: Innargi + HOFOR, Köpenhamn, Danmark

Fjärrvärmeföretagen i Köpenhamn och Innargi nådde en överenskommelse i slutet av 2022 för att utforska möjlig användning av geotermisk värme. Innargis huvuduppgift är att utvinna varmvatten från underjorden. VEKS, CTR:s och HOFOR:s roll är att köpa värmen och leverera den till kunder via fjärrvärmenätet. Potentialen i den föreslagna planen förväntas motsvara efterfrågan hos mellan 35 000 och 75 000 hushåll. Det är tänkt att ta ett år att utarbeta en detaljerad plan, inklusive möjliga placeringar av anläggningarna och tidsplanen. Om avtalet blir klart och allt går som förväntat kommer den första geotermiska anläggningen i en serie att stå klar 2026 för att förse stadens fjärrvärmesystem med värme. Det yttersta målet är att ha ett 100 % grönt fjärrvärmesystem.

Länk:

<https://www.hofor.dk/pressemeddelse/rammeaftale-laegger-sporene-for-geotermi-i-hovedstadsomraadet>

#### 7.2.7 Föreslaget: Innargi + Skanderborg-Hørning Fjernvarme, Skanderborg, Danmark

Som första kundägda fjärrvärmeföretag har Skanderborg-Hørning Fjernvarme tecknat ett avtal med geotermiföretaget Innargi om att undersöka möjligheten att tillvarata geotermisk värme för fjärrvärme. Syftet med det föreslagna systemet är att leverera värme till de två danska städerna Skanderborg och Hørning. Städernas fjärrvärmesystem är redan gröna och använder lokalt producerad biomassa som

bränsle. Ambitionen är dock att göra det mer hållbart genom att ersätta en stor del av biomassan i framtiden. Införandet av geotermisk värme är ett alternativ i vägen för hållbarhet som kommer att göra företaget mindre beroende av biomassapriser, vilket resulterar i förväntat lägre värmepriser för kunderna. Fjärrvärmebolaget har påbörjat arbetet med översiktsplanen, som ska vara klar under 2023. Den viktigaste förutsättningen innan man går in i driftsfasen är att koppla ihop näten i Hørning och Skanderborg så att ett tillräckligt stort underlag för geotermisk värme säkerställs.

Länk:

<https://danskfjernvarme.dk/aktuelt/nyheder/2022/skanderborg-hoerning-fjernvarme-siger-ja-til-geotermi>  
<https://innargi.com/da/project/skanderborg-hoerning-danmark/>

### 7.2.8 Föreslaget: Innargi + Fors, Holbæk, Danmark

Fors och Innargi har tillsammans utvärderat den potentiella användningen av geotermisk värme till fjärrvärme i den danska staden Holbæk. För närvarande är stadens bostadssektor nästan helt beroende av naturgas för sin uppvärmning, vilket gör den till den största gasstaden i Danmark. Fors stora uppgift är att fasa ut all naturgas. De två största problemen med denna gröna omställning är att utveckla ett fjärrvärmenät och att samtidigt hitta den bästa sammansättningen av värmekällor. Holbæk bygger ett nytt och modernt fjärrvärmesystem som kommer att fungera effektivt vid cirka 80°C. Den förväntade den geotermiska vattentemperaturen ligger i intervallet 60 till 80 grader. Detta skulle vara en energieffektiv lösning då elbehovet för värmepumparna för att höja geotermitemperaturen till fjärrvärmenivån blir relativt låg. Innargi tror att geotermisk värme kan utvinnas i Holbæk för att stödja fjärrvärmeutbyggnaden. Den preliminära bedömningen är att staden behöver ett eller två par geotermiska brunnar med en försörjningskapacitet på 15 till 30 MW.

I oktober 2023 meddelade Fors-bolaget att de kommit fram till att det geotermiska alternativet inte var genomförbart i dagsläget.

Länkar:

<https://www.fors.dk/fors-a-s-og-innargi-indgaar-rammeaftale-om-geotermi-til-holbaek>  
<https://www.fors.dk/geotermi-som-opvarmningsform-i-holbaek-udskydes/>

### 7.2.9 Föreslaget: Innargi + Veolia Poznan, Poznan, Polen

Innargi har undertecknat en avsiktsförklaring med Veolia för att undersöka potentialen för geotermisk värme för fjärrvärme i Poznan, Polens femte största stad. Förslaget, om det förverkligas, skulle vara Innargis första projekt utanför Danmark. Syftet är att undersöka möjligheten att installera en 100 MW geotermisk anläggning och skulle kunna vara en förebild för att utnyttja geotermisk värme för stora fjärrvärmesystem. För- och bedömningsstudierna började under 2023. Om studierna stödjer utbyggnaden av geotermisk energi förväntas den vara i full drift om fem år. Projektet ligger i linje med de pågående lokala ansträngningarna för att ersätta kol i fjärrvärmesystem, förbättra luftkvaliteten, förbättra effektiviteten,

diversifiera förnybara energikällor och stabilisera fjärrvärmepriserna för slutanvändarna. Innargi tar ansvar för investeringskostnader och alla risker under prospekterings-, konstruktions- och driftsfaserna.

Länk:

<https://www.thinkgeoenergy.com/innargi-to-explore-geothermal-potential-in-poznan-poland>

#### 7.2.10 Föreslaget: Innargi + Kiel Stadtwerke, Kiel, Tyskland

Innargi har ett avtal med det lokala bolaget Stadtwerke Kiel om att utforska berggrunden under den tyska staden Kiel för att bedöma den lokala potentialen för att använda geotermisk värme till fjärrvärme. Syftet med planförslaget är att ytterligare banta koldioxidutsläppen från stadens fjärrvärmesystem mot klimatneutralitet i fjärrvärmeförsörjningen till 2035. Den inledande utredningen planerades vara klar i slutet av 2023. Förlängningen av avtalet om byggande och drift av en geotermianläggning beror på utfallet från utredningen. Uppskattningar visar att för att nå geotermiska vatten med en temperatur på 76°C behövs borrhål med ett djup på två till tre kilometer. Geotermivattnet behöver värmas ytterligare med stora värmepumpar eftersom det befintliga fjärrvärmesystemet har en framledningstemperatur på 90 grader. När den geotermiska värmen har utvunnits stängs kretsloppet genom att det kylda vattnet pumpas tillbaka till den underjordiska reservoaren via en injektionsbrunn.

Länkar:

<https://innargi.com/stadtwerke-kiel-and-innargi-investigate-the-potential-for-geothermal-district-heating/>

<https://www.thinkgeoenergy.com/innargi-to-explore-geothermal-district-heating-in-kiel-germany>

#### 7.2.11 Föreslaget: Wien Energie, Wien, Österrike

Wien Energie och det fossilbaserade OMV har gått samman för att tillföra geotermisk värme till fjärrvärmesystemet i Wien. Ambitionen med det gemensamma projektet är att kombinera OMV:s erfarenheter från oljeprospektering med fjärrvärmeerfarenheterna från Wien Energie. De två partnererna har redan utforskat och bevisat den geotermiska potentialen i den östra Wienbassängen som en del av forskningsprojektet "GeoTief Wien".

Borrningarna för den första anläggningen planeras att starta i slutet av 2024 och förväntan är att leverera värme 2027. Anläggningen kommer att generera cirka 20 MW värme i kombination med värmepumpar.

Länkar:

<https://www.geotiefwien.at/>

<https://www.wienenergie.at/tiefengeothermie-aspern/>

<https://www.wienenergie.at/pressrelease/wien-energie-und-omv-kooperieren-bei-der-entwicklung-der-tiefengeothermie-im-grossraum-wien/>

<https://www.wienenergie.at/pressrelease/fuer-klimaneutrale-fernwaerme-wien-energie-und-omv-gruenden-joint-venture-fuer-tiefengeothermie/>



<https://waste-management-world.com/waste-to-energy/climate-neutral-district-heating-wien-energie-and-omv-establish-joint-venture-for-deep-geothermal-energy/>

### 7.2.12 Förslaget: ENEX, Geretsried, Tyskland

En viktig förutsättning vid utnyttjande av värme från akviferer är att de två borrhålen ska relatera till varandra i marken för att underlätta en vattentransport mellan de två borrhålen. Flera prospekteringsprojekt har avskrivits för en lämplig hydraulisk koppling mellan källan och injektionen har saknats. Detta var fallet i Geretsried, Tyskland där ENEX fick en prospekteringslicens för geotermisk värme 2004.

För att övervinna bristen på koppling mellan de två borrhålen i Geretsried kommer en sluten slinga-teknik att utforskas för att få en hållbar geotermisk källa. Eavor-Loop-tekniken är en ny geotermisk lösning där ett slutet system borrar på djupet och är en uppfinning av det kanadensiska företaget Eavor Technologies från Calgary med bakgrund från olje- och gasprospektering. Tekniken har utvecklats och verifierats av en installation i Kanada.

Borrstarten i Geretsried var i oktober 2022 och det finns fyra slutna slingor planerade. Den första slingan som ska färdigställas sommaren 2024 och alla fyra slingorna planeras vara klara hösten 2026. För varje slinga utförs 89 km borrhning, 2x 4,5 km i vertikal riktning och 12 par i horisontell borrhning, vardera 3,5 km i en sluten slinga. Temperaturen vid 4500 meters djup är cirka 160 °C och förväntad temperatur från slingan är 120 °C. Skillnaden i densitet av vattnet i slingan på grund av temperaturskillnaden skapar en naturlig cirkulation som eliminerar pumpbehov. Varje slinga kommer att generera 16 MW värme och 2 MW el, vilket totalt blir 64 MW värme och 8 MW el när alla fyra slingorna är klara.

Detta projekt har fått ett bidrag från EU:s innovationsfond i utlysningen 2021, enligt avsnitt 10.6.5.

Länkar:

<https://www.eralberta.ca/uncategorized/first-of-its-kind-geothermal-pilot-project-underway-in-alberta/>

<https://www.thinkgeoenergy.com/eavor-technologies-commences-construction-of-geothermal-demonstration-facility/>

<https://www.eavor.com/press-releases/eavor-announces-a-commercial-eavor-loop-project-to-be-built-in-geretsried-germany/>

<https://renewablesnow.com/news/eavor-enex-to-co-develop-geothermal-heat-and-power-project-in-germany-697444/>

<https://www.thinkgeoenergy.com/eavor-and-enex-break-ground-on-geothermal-project-in-geretsried-germany/>

<https://www.eavor.com/technology/>

<https://eavor-geretsried.de/en/>

<https://www.eavor.com/press-releases/eavors-next-generation-geothermal-project-awarded-916-million-grant-from-the-european-innovation-fund/>

<https://www.eavor.com/press-releases/eavor-commences-commercialization-through-major-investment-and-landmark-partnership-with-omv/>



### 7.2.13 Föreslaget: Enercity, Hannover, Tyskland

Eavor-Loop-tekniken som refererades till i föregående fall har också valts ut för ett geotermiskt projekt i Hannover. Enligt ett initialt avtal mellan Eavor Technologies och Enercity förväntas de geotermiska borrhålen leverera 30 MW 2026, vilket ger en årlig värmeförsörjning på 250 GWh.

Referens: (Enercity, 2023)

Länkar:

<https://www.enercity.de/presse/pressemitteilungen/2023/co2-freie-tiefengeothermie-in-hannover-enercity-und-eavor-schliessen-waermeliefervertrag>

<https://www.energie.de/euroheatpower/news-detailansicht/nsctrl/detail/News/enercity-und-eavor-schliessen-waermeliefervertrag-zu-geothermieprojekt-in-hannover>

## 7.3 GEOTERMI FRÅN KRISTALLINA BERGGRUNDER

Kristallina berggrunder dominerar i Finland och Sverige, vilket ger helt andra förutsättningar för utnyttning av djup geotermisk värme jämfört med andra delar av Europa, med en ganska hög tillgänglighet av varma akviferer i sedimentära berggrunder. Enligt referensen nedan utnyttjas ingen geotermisk värme från kristallina berggrunder i europeiska fjärrvärmesystem. Tre dyra demonstrationsanläggningar för elproduktion har dock genomförts eller förväntas genomföras, huvudsakligen finansierade med omfattande forskningsanslag. De återfinns i Frankrike (Soulz-sous-Forêts och Rittershoffen) och i Storbritannien (Redruth i Cornwall).

De sju fall som presenteras nedan från Finland och Sverige har försökt utmana den nuvarande kunskapsnivån för geotermisk prospektering i kristallina berggrunder.

Referens: (Sjöqvist and Tillberg, 2023)

### 7.3.1 2023: Qheat, Esbo, Finland

I början av 2023 slutförde det finska företaget QHeat värmeförsörjningen från tre inledande geotermiska brunnar i Finnoo-projektet. Finnoo är ett nytt hållbart maritimt bostadsområde som byggs i Esbo stad för att tillhandahålla bostäder för 17 000 invånare på 2030-talet. Värmen kommer att överföras genom Finlands första geotermiska lågtempererade fjärrvärmesystem som byggs i samarbete mellan QHeat och två andra företag. De initiala brunnarna, med 1500 meters djup, levererar värme till sex flerbostadshus med 250 lägenheter och den tillgängliga värmen från borrhålen har en temperatur på nästan 30°C och 1900 MWh värme per år kommer att genereras efter värmepumparna.

Det beräknas att färdigställandet och driftsättningen av värmeanläggningen kommer att minska mängden köpt energi i de sex flerbostadshusen med 25 % och byggnadernas utsläpp från uppvärmning med 90 %. QHeat har uppfunnit en brunnensdesign som använder ett koaxiellt flöde för att utnyttja medeldjup geotermisk värme. Denna nya metod används i Finnoo-projektet. Tekniken

innefattar att lagra geotermisk värmeenergi i marken och utnyttja värmeenergin från den. Ett isolerat rör gör det möjligt att ändra riktningen på koaxialflödet beroende på användningsändamål så att hela brunnens djup kan utnyttjas för både uppvärmning och kylning.

Detta finska geotermiska fall är inte ett traditionellt geotermifall, som ger värme utan att behöva använda ytterligare värmepumpar. I stället är det en hybrid mellan ett traditionellt fall och ett grunt geotermifall baserat på värmepumpar (som presenteras i avsnitt 7.5), eftersom värmepumpar används i detta fall för att möta kundernas temperaturkrav.

Länkar:

<https://www.thinkgeoenergy.com/finland-one-step-closer-to-having-first-geothermal-district-heating-network>  
<https://www.qheat.fi/in-geothermal-energy-size-matters/>  
<https://www.qheat.fi/portfolio/peijinkatu-8-finlands-first-low-temperature-geothermal-heating-network/>

### 7.3.2 Planerat: Tampereen Sähkölaitos, Tammerfors, Finland

Tampereen Sähkölaitos leder ett projekt för att utvärdera möjligheten att utvinna värme från djupa geotermiska brunnar i Tarastjärvi, en stadsdel i den finska staden Tammerfors. Detta pilotprojekt syftar till att testa den hydrauliska chocktekniken för att borra en tre kilometer djup brunn nära en avfallsförbränning. Borrningen påbörjades i slutet av 2021. Enkelbrunnsprincipen kommer att följas där det geotermiska vattnet fortfarande cirkuleras i en sluten slinga genom att använda två sektioner i en brunn. Den djupare sektionen underlättar pumpningen av grundvattnet, och den grundare sektionen hjälper till att återföra vattnet till akviferen.

Ett konsortium bestående av 15 energiföretag från olika finska städer har gått samman för att genomföra projektet. Om detta pilotprojekt går bra och förväntad geotermisk värme är tillgänglig kommer utvecklingen att fortsätta för ännu djupare brunnar. Baserat på de preliminära uppskattningarna finns betydande värmemängder tillgängliga för att användas som värmekälla på cirka sju kilometers djup.

Länk:

<https://www.oulunenergia.fi/en/news/062021/oulun-energia-explores-the-potential-of-geothermal-heat>

### 7.3.3 Planerat: Helen, Helsingfors, Finland

Energiföretaget Helen har planen att bygga en medeldjup geotermisk anläggning i området Ruskeasu i Helsingfors. Anläggningen kommer att fungera som en pilotanläggning, där borrhäknings- och andra tekniska lösningar för nya geotermiska platser testas och utvecklas. Den årliga fjärrvärme- och fjärrkyleproduktionen för denna pilotanläggning kommer att bli 1,8 GWh respektive 0,8 GWh. Djupet blir cirka 2,5 kilometer med en förväntad temperatur på runt 40°C. Borrningen beräknas ta fyra månader. Fördelarna med 3D-seismisk reflektionsmätning och artificiell intelligens utvärderas också. Erfarenheterna kommer att tillämpas på

framtida geotermiska projekt med djupare borrhåll i intervallet fyra till sju kilometer.

Länk:

<https://www.helen.fi/sv/uutiset/2021/byggstart-for-geovarmeanlaggningen-i-brunakarr-i-helsingfors>

#### 7.3.4 Föreslaget: Esbo, Finland

St1 startade 2014 världens djupaste industriella geotermiska projekt i den finska staden Esbo. Syftet var att undersöka den tekniska och ekonomiska genomförbarheten av att utnyttja geotermisk värme från de kristallina bergförhållandena i Finland för fjärrvärmeapplikationer. Ett EGS (enhanced geothermal system) skulle byggas på fem till sex kilometers djup. Den första brunnen borrades till det slutliga djupet av 6,4 km 2018. Den låga geotermiska gradienten i studieområdet (15-17 °C/km) krävde så extremt djup för att nå en reservoar över 100°C, vilket är nödvändigt för det lokala fjärrvärmenätet. I praktiken borrades två brunnar med mer än sex kilometer djup där berggrunden temperatur var omkring 120 grader.

I början av 2023 stod det dock klart att projektet måste stoppas. Anledningen var att vattnet inte kunde rinna tillräckligt snabbt från en brunn till en annan. Dessutom skulle effekten av det planerade värmeverket inte ha varit tillräckligt hög för att vara kommersiell. Anläggningen är nu tillgänglig för vetenskaplig forskning. Brunnarna är en forskningsmiljö för geotermisk energi, geovetenskap och till och med mikrobiologistudier. Den redan inhämtade kunskapen inom geofysik och geologi bildar en solid grund för företagets kommande projekt.

Referens: (Kukkonen and Pentti, 2021)

Länkar:

<https://www.st1.com/fi/st1n-otaniemen-geotermisen-pilottiprojektin-syvat-lampokaivot-tutkimuskayttoon>

<https://www.energi-miljo.se/nu-ska-det-forskas-pa-de-djupa-brunnarna-i-finland/>

#### 7.3.5 Föreslaget: EON och St1, Malmö, Sverige

Energiföretaget EON planerade att bygga en pilotanläggning för djup geotermi i Malmö, som skulle bli ett av de första europeiska industriella projekten för att utvinna värme från flera kilometers djup. Den förväntade maxtemperaturen var 160°C, tillräckligt för att direkt mata in värmen i stadens fjärrvärmesystem.

Det finska företaget St1 började 2020 att borra borrhål för att nå ett djup på fem till sju kilometer. Planen var att bygga fem geotermianläggningar i staden till 2028, var och en med en installerad termisk kapacitet på 50 MW. Geotermisk energi skulle ersätta biobränslen och biogas för värmeproduktion och stödja staden att förverkliga sin ambition att vara utsläppsfri till 2030. Andra EON-partners i detta projekt på 5 miljoner euro var Energimyndigheten, Sveriges geologiska undersökning, Malmö stad och Uppsala universitet.

Enligt personlig kommunikation med E.ON har detta geotermiska projekt nu skjutits upp.

Referens: (Juhlin et al., 2022)

Länkar:

<https://www.eon.com/en/about-us/media/press-release/2020/2020-03-03-eon-builds-deep-heat-power-plants-in-sweden.html>

### 7.3.6 Föreslaget: Göteborg Energi, Göteborg, Sverige

Göteborg Energi har undersökt möjligheten att genomföra djupa geotermiska anläggningar i Göteborg genom ett utökat geotermiskt system (EGS). För det ändamålet genomfördes två borrhningar på omkring 1 km vardera i ett projekt finansierat av Energimyndigheten. Projektet analyserade den lokala geologins lämplighet för framtida djupa geotermiska anläggningar. Detta pilotprojekt har givit information om berggrundens egenskaper, dess sprickor och den uppnåbara temperaturen. Djupborrade brunnar har varit sällsynta i Sverige, så detta projekt har stärkt förståelsen för djupa geotermiska resurser i den svenska kristallina berggrunden.

Huvudslutsatsen från projektet är att "under rådande omständigheter verkar det inte finnas några rimliga utsikter för EGS i Göteborg" (citat från sammanfattningen i den andra referensen nedan). Huvudhindret var den låga naturliga permeabiliteten i den svenska kristallina berggrunden.

Referenser: (Ladefoged, 2021) and (Sjöqvist and Tillberg, 2023)

Länkar:

<https://www.energi-miljo.se/djupaste-borringen-nagonsin-i-goteborg/>  
[https://sverigesradio.se/artikel/goteborg-ar-for-kallt-uppvarmning-fran-  
underjorden-tekniskt-omojligt](https://sverigesradio.se/artikel/goteborg-ar-for-kallt-uppvarmning-fran-<br/>underjorden-tekniskt-omojligt)  
<https://termoinnovation.se/projekt/provborring-for-kunskapsinsamling-om-djupgeotermi>

### 7.3.7 Föreslaget: Skara Energi, Skara, Sverige

I Västra Götalandsregionen har fyra energibolag, Götene Vatten & Värme, Skara energi, Skövde energi, och Vara energi, gått samman för att utforska möjligheten att utnyttja geotermisk värme för att göra fjärrvärmerna mer klimatsmart. Den geotermiska potentialen skulle vara enorm men dyr och komplicerad att uppnå. För det första steget tänker de följa en översiktsstudie för att ta reda på om de har förmågor och nödvändiga förutsättningar att fortsätta arbeta för en geotermisk anläggning. Tanken på att utnyttja geotermisk värme tog form först när Skara energi började planera en ny biobränslepanna.

Även om det ännu inte finns några skäl till att Västra Götaland har en fördel gentemot andra platser i Sverige för att utvinna geotermisk värme, kommer de borrhningar och andra erfarenheter som gjorts vara användbara för andra regioner i landet. Skara energi har redan påbörjat en preliminära teoretisk analys. Företaget hoppas kunna börja provborra 2023 eller 2024. Djupet på borrhålen skulle vara

mellan fyra och åtta kilometer. Vattentemperaturen förväntas bli 90°C och anläggningen beräknas ha en kapacitet på 15 MW för el- och värmeproduktion.

Länk:

<https://www.energi.se/artiklar/2022/oktober-2022/fyra-energiforetag-i-samarbete-om-geotermisk-varme>

## 7.4 GEOTERMI FRÅN ÖVERGIVNA GRUVOR

I aktiva gruvor måste inkommande gruvvatten avlägsnas för att möjliggöra lämpliga arbetsförhållanden. Detta görs i djupa gruvor genom pumpning. När en gruva överges kan detta grundvatten betraktas som en hållbar värmekälla. Översvämmande gruvor utgör exempel på konstgjorda akviferer eller reservoarer, som kan hålla avsevärda volymer grundvatten. En gruva kan också användas för att lagra restvärme från omgivande värmekällor i de underjordiska korridorerna, som tidigare presenterats i avsnitt 5.3. Uppladdnings- och termisk kapacitet för dessa system är begränsad, men nedläggningsrisken är fortfarande låg i förhållande till exempel industriell restvärme. Dessutom måste utvinnings- och injektionsflöden begränsas till ett hållbart värde för att undvika att akviferens kapacitet förbrukas på kort sikt.

Den låga temperaturen på gruvvattnet gör det lämpligt för uppvärmning på vintern och som kylresurs för kylning på sommaren. En värmepump behövs för att höja temperaturen för uppvärmningsändamål. Den kan användas som en centraliserad lösning för ett varmt nät eller individuellt av konsumenter i ett kallt nät. Jämfört med konventionella geotermiska system är den största fördelen att de befintliga gruvhålerna minskar kostnaderna för borrhning och brunnsunderhåll. Kolgruvor är de bästa och vanligaste gruvorna för geotermisk exploatering på grund av deras allmänna tillgänglighet.

Öppna gruvor har en högre värmeväxlingseffektivitet än slutna system, eftersom värmebärarmediet är direkt i kontakt med den omgivande marken. Dessa system behöver i allmänhet en mellanliggande värmeväxlare för att undvika kontakt mellan gruvvatten och värmepump. När injicering inte utförs och använt gruvvatten släpps ut i miljön kan vattenrening krävas. Om det finns risk för vätskeutsläpp, eller om det inte finns någon korrekt information om gruvvattnets egenskaper, måste vätskan återinjiceras i gruvan.

Referenser: (Banks et al., 2019), (Loredo et al., 2016), (AGFW, 2015), (Bracke, 2018)

### 7.4.1 2008: Mijnwater, Heerlen, Nederländerna

Den holländska staden Heerlen har ett hållbart värmeförsörjningssystem utvecklat inom Mijnwater-projektet. Systemet lanserades 2008 och inkluderar geotermiska brunnar för att överföra värme från en övergiven kolgruva. Grundtanken är att undersöka hur gruvvattnet i de outnyttjade kolgruvorna skulle kunna användas som en geotermisk källa. Gruvans korridorer innehåller varmt vatten med låga temperaturer. Denna värmekälla ger värme och kyla till slutanvändarna tack vare det befintliga fjärrvärmesystemet med låg temperatur som togs i drift 2008.

Anläggningen omfattar två varma brunnar med ett djup på 700 meter, två kalla brunnar med ett djup på 250 meter och en ytterligare brunn med ett djup på 350 meter för injicering av det kylda varma och uppvärmda kallvattnet. Temperaturen på det varma, kalla vattnet och returvattnet är 28°C, 16°C respektive 18-22°C. Det sju kilometer långa distributionsnätet med tre rör överför värme till och från de anslutna byggnaderna. Rören inkluderar ett isolerat rör för att leverera varmt gruvvatten, ett oisolerat rör för att leverera kallt gruvvatten och ett oisolerat retrurrör för att återföra det använda gruvvattnet till injektionsbrunnen. Värmepumpar används i byggnaderna för att leverera basbelastningen av värme och kyla vid de temperaturer som behövs. Detta fall finns på samma plats som fallet i avsnitt 5.3.1.

Länkar:

[https://energy.ec.europa.eu/document/download/49d1e021-b652-46c1-9fe8-7227cf4b7568\\_en?filename=The%20use%20of%20mine%20water%20in%20district%20heating%20systems%20%E2%80%93%20an%20example%20from%20Heerlen%2C%20Netherlands.pdf](https://energy.ec.europa.eu/document/download/49d1e021-b652-46c1-9fe8-7227cf4b7568_en?filename=The%20use%20of%20mine%20water%20in%20district%20heating%20systems%20%E2%80%93%20an%20example%20from%20Heerlen%2C%20Netherlands.pdf)

#### 7.4.2 2017: Gateshead Energy Centre, Gateshead, Storbritannien

Gateshead Energy Centre öppnades 2017 för att tillhandahålla värme och el till områdets energinät i Gatesheads centrum och Gateshead Quays-området. Det nya energicentret med låga koldioxidutsläpp genererar värme och el för försäljning direkt till kunder genom ett nytt 5 km underjordiskt nät av värmerör och högspänningskablar. Till en början försörjde systemet offentliga byggnader och bostäder, men när nya kunder ansluter sig har systemet växt och fortsätter att växa. Detta kräver en ökning av energitillförseln.

Systemet syftar till att kontinuerligt minska koldioxidutsläppen från den energi som levereras till kunder, med målet att bli helt koldioxidfria till 2030. De kombinerade gaseldade värme- och kraftmotorerna som installerades initialt var det första steget mot en mer koldioxidfri framtid. Företaget har en 5-årig affärsplan för att minska utsläppen. I planen ingår att bygga och driva två 3 MW gruvvattenvärmepumpar för att komplettera nätet med värme som återvinns från den övergivna gruvdriften. Möjligheten att använda gruvvatten för ett fjärrkylennät till närliggande utvecklingsområden kommer att utvecklas ytterligare för att även ge koldioxidfri kylning.

Länk:

<https://www.gateshead.gov.uk/article/2994/District-Energy-Scheme-benefits>

#### 7.4.3 Planerat: Gardanne, Frankrike

REWARDHeat är ett europeiskt energiprojekt som syftade till att demonstrera nya generationer av fjärrvärme- och fjärrkylennät med låg temperatur för att återvinna lågtempererad förnybar restvärme. En del av projektet går ut på att dra nytta av en nedlagd kolgruva, nu fylld med vatten, som en källa till geotermisk värme. Fallet är beläget i staden Gardanne. Där finns en gammal kolgruva som stängdes 2003 och når till 1 100 meters djup, vilket gör den till Europas djupaste gruvschakt. Gruvschaktet fungerar som en geotermisk värmekälla med omkring 500 kW



kapacitet. Det kan också fungera som ett säsongslager med en kapacitet på 65 000 m<sup>3</sup> för att lagra värme. Hälften av det 1,3 km långa ledningsnätet är färdigt, med tre fjärrvärmecentraler i drift och ytterligare fjärrvärmecentraler är planerade att tas i drift under 2023.

Länkar:

<https://www.rewardheat.eu/en/Demonstration-Networks/Gardanne>

[https://geoera.eu/wp-content/uploads/2021/01/Task\\_2.4\\_FS\\_7.pdf](https://geoera.eu/wp-content/uploads/2021/01/Task_2.4_FS_7.pdf)

#### 7.4.4 Föreslaget: South Tyneside Council, Hebburn, Storbritannien

Hebburn var ett av tre system för förnybar energi som South Tyneside Council arbetat med. Det var ett projekt på 8 miljoner pund för att utvinna geotermisk värme från övergivna översvämmade kolgruvor i Hebburn-området. I oktober 2022 meddelade rådet att programmet inte längre kunde gå vidare i sin nuvarande form på grund av ett problem som man stötte på när man borrade ett av borrhålen. Frågan hade redan belysts och rådet bad om mer finansiering eftersom borrhningen fortfarande förväntades kunna slutföras framgångsrikt.

Planen var att bygga större uttags- och injektionsborrhål för de permanenta borrhålen. Ett borrhål förlängdes framgångsrikt, men stabilitetsproblem upptäcktes i det andra borrhålet på ett djup av 168 m. Detta hindrade brunnen från att nå sitt måldjup på 300 m, och därefter stod det klart att vattnet inte kunde pumpas ur och återföras till gruvan som avsett. Den främsta anledningen till detta var att inga nya tester och undersökningar fanns tillgängliga, varför analysen baserades på historiska kartor som saknade detaljer. Så småningom ändrades planen till att använda luftvärmepumpar i stället för gruvvattenpumpar för värmeförsel. Ändå eftersträvas användningen av gruvvatten fortfarande i det reviderade systemet genom att undersöka möjligheten att utvinna och återinjicera via endast ett borrhål. Detta kommer att ge upphov till mindre produktion från gruvvattnet än vad som ursprungligen var tänkt.

Länk:

<https://www.geplus.co.uk/news/south-tyneside-energy-scheme-fails-to-tap-into-geothermal-energy-from-old-mines-11-10-2022>

## 7.5 GEOTERMI FRÅN GRUNDA BORRHÅL

Solinstrålning, sipprande regnvatten och lufttemperaturer gör att marken lagrar värme. Denna värme kallas yttlig geotermisk energi, som kan utvinnas senare vid behov, särskilt under kalla månader. Ett värmeöverföringsmedium i kollektorerna tar ut värme från marken och leder den till ett värmenät. Termen grund geotermi (eller djupt i djup geotermi) syftar på kollektorernas djup. Det finns ingen unik definition för grunt eller djupt. I de flesta länder är djupseparation reglerad för borrhning. För grunda borrhåll (vanligtvis ned till cirka 500 meter) är den största fördelen låga borrhkostnader, vilket gör dem överkomliga även för privata hushåll.

Grunda geotermiska system fungerar vid temperaturer vanligtvis mellan 0°C och upp till 30°C, vilket anses vara atmosfärisk omgivningstemperatur (i vissa referenser anses temperaturområdet 0-100°C). Av denna anledning kan grund



geotermisk värme också kallas geotermisk omgivningsvärme. Den termiska kapaciteten i dessa anläggningar är vanligtvis låg, under 5 MW. Till skillnad från möjligheten till direkt användning av djup geotermisk energi kräver grund geotermisk energi en värmepump för att uppgradera värmen för uppvärmning av byggnader. När värmen har transporterats till kunden höjs temperaturen genom att använda värmepump så att den kan användas för uppvärmning av byggnader eller varmvatten. Att använda värme och kyla samtidigt skapar ytterligare synergieffekter som kan öka effektiviteten hos värmepumpar, enligt den kombinerade värme- och kylsynergin.

Länk:

<https://geoera.eu/blog/muse-differences-between-deep-and-shallow-geothermal-energy/>

#### 7.5.1 2011: Agrothermie, Wüstenrot, Tyskland

2011 startades en integrerad användning av en horisontell värmeväxlare med ett lågtempererat fjärrvärmenät för forskningsändamål i kommunen Wüstenrot och utvecklingen fortsatte under de följande åren. År 2019 nådde den horisontella geotermiska solfångarens en samlad yta på 22 000 m<sup>2</sup> i staden Bad Nauheim, fördelat på två områden.

Detta system tillgodoser värme- och kylbehovet för cirka 1 000 personer i 400 bostäder via ett lågtemperaturnät för fjärrvärme och kyla som är omkring sex kilometer långt. Det är en sorts agrotermisk uppsamlare där värme från en mycket ytlig geotermisk källa utvinns medan jordbruksmarken ovanpå används. Beroende på den slutliga användningen behövs en värmepump eller en kylmaskin för att ge önskad temperatur. Eftersom den nödvändiga temperaturen genereras när värmen har nått slutanvändaren är värmeförlusten mycket låg, speciellt jämfört med de fjärrvärmesystem som använder högre temperaturer.

Reference: (Brennenstuhl et al., 2019)

#### 7.5.2 2022: Sigtuna stadsängar och EON, Sigtuna, Sverige

Sigtuna Stadsängar och EON har utvecklat en hållbar stadsdel i Sigtuna som bygger på en kombination av olika förnybara energikällor. En sådan källa är ett grunt geotermiskt fält som består av 120 borrhål anslutna till ett lågtempererat fjärrvärmenät som togs i bruk 2022. Geotermisk värme fungerar som värmekälla för värmepumparna. Stora luftkollektorer används också för att höja vätsketemperaturen i den geotermiska reservoaren för användning i värmepumpar. Elbehovet för värmepumpar tillhandahålls av solceller. Byggnaderna kan sälja sin överskottsgenererade el till EON.

Länkar:

<https://www.mynewsdesk.com/se/sigtunastadsangar/pressreleases/eons-unika-naervaermeanlaeggning-i-stadsaengarna-invid-3167203>

<https://www.energi-miljo.se/bergsaker-varme-fran-uteluft/>

### 7.5.3 Planerat: N-Ergie, Nürnberg, Tyskland

N-ERGIE planerar att genomföra det första grunda geotermiska värmeprojektet i området Kornburg i Nürnberg, som kommer att bli en av de största anläggningarna i sitt slag i norra Bayern. På grund av de lokala markförhållandena är djupa geotermiska borrhål opraktiska, och endast en geotermisk lösning nära ytan är möjlig. Ett värmeöverföringsmedium i rörkollektorer samlar upp lågtemperaturvärmen från marken.

Den utvunna värmen överförs via ett fjärrvärmesystem med cirka 2,5 kilometers ledningar för att ge värme till 100 byggnader. Framledningstemperaturen för fjärrvärmenätet är endast upp till 8°C. Därför måste byggnaderna förses med värmepumpar. En del av byggnadernas elbehov tillgodoses med solceller på taket. Ett sådant energisystem leder i slutändan till en primärenergifaktor på 0,4. Arbetet med kollektorn och det lokala värmenätet startade 2022 och beräknas vara klart 2024. När projektet är klart kommer installationen av ytkollektorn att vara osynlig, och åkern kan åter användas för jordbruk.

Länk:

<https://magazin.n-ergie.de/presse/erdwaerme-fuer-rieterbogen-in-kornburg>

## 7.6 SOLFJÄRRVÄRME

Solfjärrvärme består av stora fält av termiska solfångare som matar in sin genererade värme till fjärrvärmesystem i mestadels byar och mindre städer. Under varmare perioder kan solvärmeanläggningar ersätta annan värmeförsörjning. Framsteg inom storskalig värmelagring har gjort det möjligt att lagra värme på sommaren för vinterbruk, som beskrivs i kapitel 5.

Solfjärrvärme kan antingen vara centraliserad eller decentraliserad. Centraliserade anläggningar är vanligtvis markmonterade och täcker ett stort landområde. Decentraliserad solfjärrvärme har solfångarna placerade utanför de centrala tillförselanläggningarna (på lämpliga platser som byggnader, parkeringsplatser och små fält) och direkt anslutna till fjärrvärmens primärkrets på plats. Dessa decentraliserade anläggningar är ofta takmonterade, vilket kan vara fördelaktigt i tätorter med höga markkostnader. Teknik för decentraliserad fjärrvärme kan också kombineras med andra former av decentraliserad värmeförsörjning. Den årliga produktionen från solfångarna varierar mellan 100 och 500 kWh värme per kvadratmeter solfångare. Dessa variationer kan förklaras av olika prestanda vad gäller solinstrålning, kollektortemperaturer, skiktningar i och förluster från lagringstankar samt olika reglerstrategier.

I början av 2023 använde mer än 260 europeiska städer solvärme i fjärrvärmesystem. Danmark är det ledande landet med 125 solfjärrvärmesystem och cirka 1125 MW kapacitet från 1,6 miljoner kvadratmeter solfångare, följt av Tyskland med 48 system och 100 MW kapacitet. Under de senaste åren har ett tiotal solfjärrvärmeanläggningar tillkommit årligen över hela Europa. Med ett flertal annonserade anläggningar upplevdes ett stort hopp i denna trend under 2022. Dessa anläggningar har huvudsakligen legat i kapacitetsintervallet mellan 20 och 50 MW.

Införandet, utvecklingen och utbyggnaden av solfjärrvärme i EU har stötts av fem dedikerade EU-forskningsprojekt (Sunstore2, Sunstore4, SDHTAKE-OFF, SDHPLUS och SDHp2m).

References: (Pauschinger, 2016), (Tian et al., 2019), (Lennermo et al., 2019), (Sandrock and Pauschinger, 2019), (Beauvais and Epp, 2023)

#### 7.6.1 1999: Marstal Fjernvarme, Marstal, Danmark

De första solpanelerna i Marstals solvärmesystem togs i drift 1999 och har varit föremål för expansion sedan dess. Under 2011 och 2012 implementerades SUNSTORE-konceptet, för att visa att stadens fjärrvärme kan försörjas till 100 % av förnybara källor, varav mer än 50 % solvärme. De övergripande målen för SUNSTORE 4-projektet var att demonstrera ett storskaligt innovativt, kostnadseffektivt och tekniskt pålitligt fullt förnybart energiförsörjningssystem för ett storskaligt fjärrvärmesystem i Marstal. Målet var att tillgodose ett årligt värmebehov 28 GWh i fjärrvärmesystemet med solenergi och biomassa, inklusive en koldioxidvärmepump och elproduktion från biomassa. Idén om solvärme formades när fjärrvärmebolaget Marstal Fjernvarme undersökte möjligheterna att använda biobränslen i stället för spillolja för uppvärmningsändamål.

Anläggningen inkluderar ett 33 400 m<sup>2</sup> solfångarsystem, kraftvärmesystem med en lågmission 4 MW termisk panna för träflis och en 750 kWe Organic Rankine Cycle (ORC), 75 000 m<sup>3</sup> gropvärmelagring, 1,5 MW värmepump med koldioxid som köldmedium och ett 10 300 m<sup>3</sup> värmelager som pilotanläggning. På sommaren laddar solsystemet lagret och förser Marstal med fjärrvärme. Från slutet av september ska den lagrade värmen tillföras värme från flispannan eller värmepumpen. På vintern kommer reservpannorna att behövas några timmar, och/eller värmepumpen måste också gå när elpriset är högre. I februari börjar solsystemet värma upp lagret igen. Flispannan kommer att gå nästan på heltid fram till april. Detta fall finns på samma plats som fall 5.5.1.

Länk:

<https://www.solarmarstal.dk/media/6600/summary-technical-description-marstal.pdf>

#### 7.6.2 2007: Drake Landing, Okotoks, Kanada

Drake Landing Solar Community (DLSC) är ett områdesplanerat område i staden Okotoks, Alberta, som framgångsrikt har integrerat kanadensisk energieffektiv teknik med solenergi. Som det första i sitt slag i Nordamerika, DLSC värms upp av ett fjärrvärmesystem utformat för att lagra solenergi under jord under sommarmånaderna och distribuera energin under vintermånaderna. På anläggningen som är i drift sedan 2007 genererar 800 solpaneler 1,5 MW värmeeffekt under en typisk sommardag. Detta pilotprojekt levererar rumsuppvärmning till 52 fristående bostäder genom ett fjärrvärmesystem som drivs av solfångare tillsammans med ett säsongslagring i ett borrhållager för termisk energilagring. Värme fångas upp med 2 300 kvadratmeter platta solfångare monterade på taken till de fristående garagen. Den överförs sedan till marken genom 144 enkla U-rörsborrhållsväxlare, var och en 35 meter djupa, som

täcker ett cirkulärt område med en diameter på 35 meter. Systemet hade lägre solandelar under sina första fem år av drift när borrhålslagret initialt laddades. Under det femte året ökade solandelen till 97 % och har varit kvar på cirka 90 % sedan dess (nådde 100 % 2015-2016). Under de efterkommande fem åren var den genomsnittliga solfraktionen 90 %, och efter den inledande laddningsperioden har effektiviteten för borrhålslagret i genomsnitt varit 45 %. Detta fall finns på samma plats som fall 5.2.2.

Referens: (Sibbitt et al., 2012)

Länk:

[https://www.districtenergy-digital.org/districtenergy/library/item/fall\\_2022/4049842](https://www.districtenergy-digital.org/districtenergy/library/item/fall_2022/4049842)

### 7.6.3 2009: Gram Fjernvarme, Gram, Danmark

Det kundägda Gram Fjernvarme i den danska staden Gram har byggt ut sin storskaliga solvärmeanläggning från 10 000 m<sup>2</sup> 2009 till 44 800 m<sup>2</sup> 2015 och byggt en 120 000 m<sup>3</sup> termisk groplager för säsongslagring. Lagret gör att företaget kan öka andelen solvärme från 16% till 61%, resterande baseras på elpanna (15%), värmepump (8%), industriell restvärme (8%) och gaskraftvärmemotor (8%). Anläggningen omfattar cirka 3 600 paneler vilket ger totalt 31 MW effekt. Den årliga värmeproduktionen beräknas till 18 GWh, motsvarande 50 % andel av värmeverkets årsproduktion. Solvärmeanläggningen förhindrar årligen koldioxidutsläpp på 3 700 ton. Detta fall finns på samma plats som fall 5.5.3.

Länk:

<http://www.gram-fjernvarme.dk/firmaprofil/solvarme-i-gram>

### 7.6.4 2012: Vojens Fjernvarme, Vojens, Danmark

Vojens Fjernvarme lade 2015 till ett 52 500 m<sup>2</sup> solfångarfält till sina redan 17 500 m<sup>2</sup> solfångare byggda 2012, och nådde 70 000 m<sup>2</sup> solfångare totalt. Systemet kombinerades med ett groplager på 203 000 m<sup>3</sup> för att förbättra solsystemets prestanda. Anläggningen försörjer 45 % av värmebehovet för 2 000 fjärrvärmekunder i Vojens, Danmark. Projektet var tänkt att ge kunderna 10-15% kostnadsbesparing och undvika utsläpp av 6 000 ton koldioxid årligen. Lagret laddas från april till mitten av september, där vatten på 80 till 90 grader pumpas upp till lagrets topp. I september är förrådet fullt uppvärmt med 80 till 90 grader i större delen av lagret och 40 till 60 grader i botten. På sommaren täcker solvärmesystem vid sidan av laddning av lagret även värmebehovet för fjärrvärmenätet. Detta fall finns på samma plats som fall 5.5.4.

Länk:

<https://ing.dk/artikel/her-er-verdens-stoerste-varmelager-og-solfanger>

### 7.6.5 2014: Dronninglund Fjernvarme, Dronninglund, Danmark

Sedan 2014 har Dronninglund Fjernvarme använt solfångare för att tillhandahålla värme till fjärrvärmenätet i Dronninglund. Huvudkomponenterna i värmeproduktionsanläggningen är en stor solvärmeanläggning och ett groplager.

På sommaren producerar solvärmeanläggningen mycket mer värme än vad Dronninglund behöver. Överskottet används för att värma upp värmelagret. På hösten kyls lagret ned genom att tillföra vatten med fjärrvärmens returtemperatur till botten av lagret och skicka varmvatten från lagrets topp till staden. Fjärrvärmens returtemperatur är cirka 40°C. För att utnyttja lagret ytterligare kyls det ner till 10°C som värmekälla för en värmepump. Detta kommer att öka lagringskapaciteten inför nästa sommar, minska värmeförlusterna och öka produktionen från solfångarna.

Solvärmeanläggningen omfattar cirka 3 000 solfångare eller 37 600 m<sup>2</sup> från Arcon Solar. Panelerna är indelade i fält, var och en kopplad till en värmväxlare i teknikbyggnaden. Maxeffekten från kollektorfälten är 26 MW medan maxförbrukningen är 12 MW under de kallaste vinterperioderna. Varje rad i solfångarfälten har 21 solfångare kopplade i sekvens. Det kalla vattnet värms upp gradvis genom solfångarna. Detta säkerställer att temperaturen i den sista solfångaren i sekvensen är som bestämt i reglerystemet. Solfångarna är monterade på galvaniserade stålprofiler förankrade i marken.

Om solfångarna under vintern kan producera vatten med temperaturer över bottentemperaturen i lagret startar alltid solfångarpumparna, och lagret värms upp. Under sommaren regleras flödet från solpumparna för att säkerställa att produktionstemperaturen överstiger fjärrvärmens framledningstemperatur (ca 75°C). När produktionen är högre än användningen i staden värms lagret upp genom att man fyller på varmvatten på toppen och skickar ut kallare vatten från botten.

Länk:

[https://www.dronninglundfjarrvarme.dk/media/2984/brochure\\_dronninglund\\_2015\\_booklet\\_eng\\_web\\_.pdf](https://www.dronninglundfjarrvarme.dk/media/2984/brochure_dronninglund_2015_booklet_eng_web_.pdf)

#### **7.6.6 2014: Lerum Fjärrvärme, Lerum, Sverige**

2014 installerades ett solfjärrvärmesystem bestående av Aquasol Big 13L solfångare i Lerums kommun. Anläggningen har ett temperaturreglerat system och uppsatta i en lång rad upptar dess solfångare en yta på 857 m<sup>2</sup>. Detta fall finns på samma plats som fall 4.8.1.

Referens: (Lennermo et al., 2019)

#### **7.6.7 2016: Silkeborg Forsyning, Silkeborg, Danmark**

2016 byggde Silkeborg Forsyning en solvärmeanläggning som för närvarande är det största i världen som är inkopplat i ett fjärrvärmesystem. Det är ett 156 700 m<sup>2</sup> stort solfångarfält som täcker hela stadens sommarbehov. Med en maximal effekt på 110 MW, en årlig värmeproduktion på 80 GWh och ett flöde på 2 700 m<sup>3</sup>/h ger anläggningen grön värme till 21 000 fjärrvärmekonsumenter och täcker den årliga värmeanvändningen för 4 400 hushåll. Det motsvarar 20 % av Silkeborgs totala årliga värmebehov. Anläggningen är en del av kommunens ambition att uteslutande producera koldioxidneutral värme till 2030.

Länk:

<https://www.tv2ostjylland.dk/tv-midtvest/verdens-storste-solvarmeanlaeg-taget-i-brug>

#### **7.6.8 2016: Stadtwerke Senftenberg, Senftenberg, Tyskland**

I augusti 2016 togs ett solvärmesystem i drift på en tidigare deponi i Senftenberg. Med en kollektorarea på 8 300 m<sup>2</sup> blev detta system det första riktiga storskaliga vakuumrörkollektorsystemet i Tyskland som levererade värme till ett fjärrvärmenät. Den övergripande planeringen av anläggningen utfördes av Ritter XL Solar, som också levererade hela kollektorfältet med 1 680 högpresterande solfångare. Den årliga värmeproduktionen är cirka 4 GWh, motsvarande 4 % av det totala värmebehovet på 100 GWh. Företagets fjärrvärmenät har en total ledningslängd på cirka 33 kilometer och en ansluten last på cirka 50 MW. Nättemperaturerna på sommaren är 85/65°C, medan de typiska vintertemperaturerna är 105/55°C. Det storskaliga solvärmesystemet blev konstruerat på ett sådant sätt att det kunde leverera hela värmebehovet i nätet under vanliga sommarkvar.

Länk:

<https://www.ritter-xl-solar.de/anwendungen/waermenetze/stadtwerke-senftenberg>

#### **7.6.9 2017: Ystad Energi, Ystad, Sverige**

Under 2017 installerades ett solfjärrvärmesystem bestående av 36 solfångare av typ Savo 15 SG i Ystad. Anläggningen har ett flödesreglerat system och med sex rader på ett tak upptar dess solfångare en yta på 534 m<sup>2</sup>. Det kommunägda energibolaget Ystad Energi äger och underhåller anläggningen och matar sitt fjärrvärmenät med denna solvärme. Detta fall finns på samma plats som fallet i avsnitt 4.8.2.

Referens: (Lennermo et al., 2019)

#### **7.6.10 2019: Salaspils Siltums, Salaspils, Latvia**

I september 2019 invigde fjärrvärmeoperatören Salaspils Siltums ett 21 700 m<sup>2</sup> solfångarfält och en flispanna i den lettiska staden Salaspils för att leverera 90 % av efterfrågan från det lokala fjärrvärmenätet. Solfångarna levererades av den danska tillverkaren Arcon-Sunmark och det lettiska företaget Filter installerade systemet. Invigningen skedde efter en tre veckor lång testkörning av solvärmeverket och dess nya 8 000 m<sup>3</sup> lagringstank. Salaspils Siltums började planera solsystemet efter att ett närliggande kraftvärmeverk fasades ut. Projektet har fått 2,73 miljoner euro från EU:s sammanhållningsfond, medan den totala investeringen i solenergifältet, lagringstanken och 3 MW biomassapannan var 7,08 miljoner euro. Projektet förväntades sänka företagets fjärrvärmepreis med minst 5 %.

Länk:

<https://www.solar-district-heating.eu/15-mw-sdh-plant-inaugurated-in-latvia/>

#### **7.6.11 2021: Härnösand Energi & Miljö, Härnösand, Sverige**

Absolicons solfångarpark togs i drift i Härnösand sommaren 2021. I detta initiala skede började den första delen av anläggningen arbeta med en ungefärlig kapacitet



på 0,5 MW. Hela parken kommer att ha en yta på 3 000 m<sup>2</sup> och en effekt på 1,5 MW vid utbyggnaden 2023. Den årliga produktionen av hela anläggningen förväntas bli cirka 1 GWh. Man hoppas kunna bygga en 10 till 15 gånger större anläggning som skulle kunna täcka hela sommarbelastningen i fjärrvärmesystemet. Parken kommer successivt att anslutas till fjärrvärmenätet, som drivs av det lokala energibolaget Hemab. Absolicons teknologi använder en silverspegel som koncentrerar solljus i ett rör med trycksatt vatten. Spegeln följer solen under dagen, och tekniken kan ge temperaturer upp till 160 grader. Men i Härnösand har anläggningen designats för att leverera 120 grader. En solig sommardag ska solvärmeparken kunna tillgodose runt en fjärdedel av Härnösands värmebehov.

Länk:

<https://www.energi.se/artiklar/2021/maj-2021/solpark-kopplas-in-i-harnosands-fjarrvarmenat>

#### 7.6.12 2021: Newheat, Narbonne, Frankrike

Hösten 2021 togs Narbosols solfjärrvärme med 2,8 MW kapacitet i drift av energiföretaget Newheat i Narbonne. Kollektorfältets totala yta är över 3200 m<sup>2</sup>, levererat av det finska solcells företaget Savosolar. Ett 1000 m<sup>3</sup> värmelager har kompletterat anläggningen. Den årliga produktionen är cirka 2,3 GWh och försörjer ett fjärrvärmenät med 900 hus, sju skolor och flera offentliga byggnader. Narbosol förväntas endast generera ett totalt utsläpp på 730 ton koldioxidkvivalenter under sin 25-åriga livscykel från vagg till grav. Följaktligen släpper varje kilowattimme från solvärmesystemet som produceras av Narbosol ut motsvarande 12 g koldioxid. Baserat på bedömningarna står Narbosols utrustning för 74 % av det totala koldioxidavtrycket, följt av energianvändning, frakt, utrustningens uttjänta livslängd och transporter.

Länk:

<https://solarthermalworld.org/news/small-carbon-footprint-of-large-solar-field-in-france>

#### 7.6.13 2021: AbSolar, Cadaujac, Frankrike

I slutet av 2021 levererade finska Savosolar ett solvärmesystem till AbSOLAR SAS för att leverera värme till ett fjärrvärmenät i Cadaujac. I leveransen ingick en nyckelfärdig solfångaranläggning med solfångarfält, rörledningar, regler och pumpbyggnad och automation. Kollektorfältet på 950 m<sup>2</sup> har byggts med Savo 15 SG-samlare. Projektet var en del av en 100 % förnybar energilösning där solvärmesystemet kombinerades med ett borrhållager för säsongslagring från AbSOLAR för att kunna leverera värme och tappvarmvatten till 67 nybyggda enfamiljshus som blivit anslutna till fjärrvärmenätet. Energimixen är tänkt att vara mer än 95 % från solvärme, vilket gör den nästan koldioxidfri. Det totala värdet av projektet har varit cirka 0,3 miljoner euro.

Länkar:

<https://savosolar.com/cases-en/cadaujauc>

<https://savosolar.com/savosolar-hands-over-solar-district-heating-system-in-cadaujac-france>



#### 7.6.14 2022: Stadtwerke Greifswald, Greifswald, Tyskland

I september 2022 tog företaget Stadtwerke Greifswald i drift sitt 18 700 m<sup>2</sup> solvärmesystem bestående av evakuerade rörkollektorer för fjärrvärmenätet i Greifswald. Det är för närvarande det största solvärmesystemet i Tyskland. Jämfört med plattkollektorer förväntas en högre årlig prestanda genom att använda en evakuerad rörkollektor. Solvärmesystemet är designat för att generera cirka 8 GWh årligen, vilket motsvarar ett bidrag på drygt 3 % av den totala värmeproduktionen i staden.

Den termiska effekten av solvärmesystemet är cirka 11 MW på sommaren och täcker därmed baslasten. Överskott buffras tillfälligt med hjälp av ett värmelager. Solvärmesystemet kombineras med en elpanna och ett kraftvärmeverk. Ett storskaligt värmelager med en lagerkapacitet på 6 000 m<sup>3</sup> kommer 2024 att komplettera det befintliga värmelagret och integreras i fjärrvärmenätet. Det gör att mer värme lagras och används under tider på året då solinstrålningen är låg. Andelen förnybar fjärrvärme i Greifswald ökas därmed avsevärt till cirka 20 %.

Länk:

<https://www.solare-waermenetze.de/2022/09/28/groesste-solarthermieanlage-deutschlands-in-greifswald-in-betrieb-gegangen>

#### 7.6.15 2023: Warmtestad, Groningen, Nederländerna

I november 2022 påbörjades byggandet av ett planerat 37 MW solvärmeverk i Groningen som då kom att bli världens fjärde största fält för solfjärrvärme. Årsproduktionen blir 25 GWh. Detta kommer att bli ett 48 000 m<sup>2</sup> stort kollektorfält kopplat till Groningens fjärrvärmenät, som drivs av energibolaget Warmtestad. Kollektorfältet, inklusive den tekniska byggnaden och en 6000 m<sup>3</sup> lagringstank, kommer att uppta 12 hektar. Tre företag ingår i detta projekt: Solarfields (Nederländerna), som projektutvecklare, K3 (Nederländerna), som investerare, och TVP Solar (Schweiz), som nyckelfärdig leverantör av solvärmeanläggningen.

Kollektorfältet kommer att bestå av platta högvakuumkanlektorer som producerar de temperaturer som krävs från 69°C till 93°C året runt. Ett långsiktigt avtal om leverans av solvärme över 30 år har tecknats med Warmtestad.

Solvärmeanläggningen stödjer Groningens kommuns ambition att vara koldioxidneutral 2035. När den är färdig kommer solvärmen att täcka 25 % av det totala värmebehovet för 10 000 anslutna hushåll och andra privata och offentliga byggnader i nordvästra Groningen. Driftsättning var planerad till oktober 2023. Solenergianläggningen kommer att uppnå en årlig genomsnittlig solvärmeverkningsgrad på 52 % och matas direkt in i nätet även på vintern vid minusgrader.

Länk:

<https://solarthermalworld.org/news/37-mw-solar-district-heating-plant-in-the-netherlands-with-outstanding-features>

#### 7.6.16 Planerat: Pristina, Kosovo

En förstudie pågår för att bygga en solfjärrvärme i Pristina för att skapa en kapacitet på 40,6 MW på en yta på 58 000 m<sup>2</sup>. Planen kompletteras med ett säsongslager med 408 000 m<sup>3</sup>. Absorptionsvärmepumpar värmer upp vattnet från säsongslagertanken om det inte uppfyller temperaturkravet på framledningen till värmenätet. Detta fall finns på samma plats som fall 4.10.2.

Reference: (Beauvais and Epp, 2023)

Länkar:

<https://solarthermalworld.org/news/big-solar-in-kosovo-replaces-coal-based-electric-heating>

<https://www.ebrd.com/news/2022/kosovo-becomes-first-western-balkans-economy-to-use-solar-energy-for-district-heating.html>

#### 7.6.17 Föreslaget: Big Solar Graz, Graz, Österrike

2014 utsåg stadssenaten i Graz en projektgrupp för att hitta olika alternativ för att tillhandahålla värme för fjärrvärme i Graz och dess omgivande samhällen för att ersätta den till 80 % förlorade värmeproduktionen från fossila bränslen. Cirka 120 000 människor i staden försörjs av fjärrvärme, vilket resulterar i ett årligt värmebehov på 1 200 GWh.

Simuleringarna visade att det var tekniskt möjligt att bygga ett storskaligt solvärmesystem med ett groplager och absorptionsvärmepumpar. Storleken på solsystemet var tänkt att vara 450 000 m<sup>2</sup> solfångarfält med 250 MW effekt och en årlig värmeproduktion på 245 GWh. Projektets ekonomiska genomförbarhet visar bedömningarna på att värmepriiset är konkurrenskraftigt jämfört med värme från gaspannor för fjärrvärmenätet för Graz. Detta fall finns på samma plats som fall 4.10.3.

Referens: (Reiter et al., 2016)

Länk:

<https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Events/2020/Apr/Technology-specific-focus-Challenges-Christian-Holter.pdf>

#### 7.6.18 Föreslaget: Salzburg Energie, Salzburg, Österrike

En förstudie av en stor solvärmearläggning i kombination med ett säsongslager har genomförts för fjärrvärmesystemet i Salzburg. Syftet är att minska koldioxidutsläppen i energiförsörjningen och minska beroendet av energiimport. Förverkligandet av förslaget kan leda till den största solvärmearläggningen i Centraleuropa, med en yta på 45 000 m<sup>2</sup> och en total värmeförsel på 20 GWh per år. Säsongslagringsstankar och absorptionsvärmepumpar används för att integrera värmekällor i den föreslagna solvärmearläggningen. Säsongslagret förväntas ha en volym på cirka 65 000 m<sup>3</sup>.

Länk:

[https://thermaflex.greenenergy.at/e4a\\_demonstrator/big-solar-salzburg/?lang=en](https://thermaflex.greenenergy.at/e4a_demonstrator/big-solar-salzburg/?lang=en)

## 7.7 ELPANNOR

Att använda el som energikälla för fjärrvärme inkluderas i det internationella begreppet power-to-heat. Detta avser användning av el för uppvärmningsändamål, främst genom värmepumpar och elpannor. Storskaliga lösningar för dessa applikationer kräver ett fjärrvärmesystem för värmedistribution och erbjuder fördelar som att integrera högre andelar förnybar el på elmarknaden, ta upp överskottsel till lägre kostnader och utnyttja strategiska värmekällor för värmepumpar.

El-till-värme-lösningar i fjärrvärmesystem har historiskt använts under perioder med överskottsel. Det första vågen av exempel inkluderar användning av överskottsel från tidiga vattenkraftverk för att tillhandahålla elvärme till byggnader och vissa tidiga fjärrvärmesystem. Dessa överskott uppstod under våta år med mer nederbörd än genomsnittet. Denna ersättningstanke på att använda el för uppvärmningsändamål genomfördes initialt i Sverige, Norge och Tyskland under 1910- och 1920-talen.

Den andra vågen inträffade i Sverige under 1980-talet, då elbehovet inte växte enligt de nationella utbyggnadsplanerna för kärnkraftsprogrammet. Härigenom uppstod ett överskott av kärnkraft på elmarknaden. Samtidigt var oljepriserna höga i efterdyningarna av den andra oljekrisen 1979/80. Denna situation gav en nationell möjlighet att använda kärnkraftsöverskottet för att ersätta eldningsolja i såväl enskilda värmesystem som i fjärrvärmesystem. Under ett par år i början av 1980-talet ökade den installerade effekten av stora elpannor i industrier och fjärrvärmesystem stort i Sverige och nådde cirka 3400 MW.

Införandet av stora värmepumpar i de svenska fjärrvärmesystemen tog fart under 1980-talet genom att använda lågtemperaturvärmekällor, såsom renat avloppsvatten, omgivande vattenresurser och industriell restvärme. Den totala värmeeffekten från stora värmepumpar nådde över 1500 MW. Med sitt kärnkraftsöverskott blev Sverige världsledande på att installera stora värmepumpar och elpannor i fjärrvärmesystem.

Den tredje vågen sker nu när andelen vindkraft ökar snabbt på den europeiska elmarknaden. Under blåsiga dagar uppstår lägre elpriser. De enorma europeiska expansionsplanerna för vindkraft i Nordsjön uttrycktes i Oostende-deklarationen den 24 april 2023 av energiministerna från nio länder (Belgien, Danmark, Frankrike, Tyskland, Irland, Luxemburg, Nederländerna, Norge och Storbritannien). Åtagandena är att tillhandahålla minst 130 GW till 2030 och 300 GW till 2050. Detta är en stor utbyggnad av EU:s nuvarande havsbaserade vindkraftskapacitet på enbart 15 GW.

Dessa utbyggnadsplaner för vindkraft kommer att förstärka prisvariationerna på den europeiska elmarknaden, vilket återigen ger en möjlighet i nordvästra Europa för elpannor och stora värmepumpar i fjärrvärmesystem, speciellt när man har stora värmelager tillgängliga. Denna senaste trend att använda stora elpannor är väl synlig med de åtta presenterade fallen nedan.

Referenser: (Lund et al., 2014), (Hers et al., 2015), and (Averfalk et al., 2017).

Länkar:

<https://www.euractiv.com/section/energy/news/germany-denmark-netherlands-and-belgium-sign-e135-billion-offshore-wind-pact/>  
<https://www.montelnews.com/news/1350368/north-sea-countries-target-76-gw-of-offshore-wind-by-2030>  
<https://www.government.nl/documents/diplomatic-statements/2023/04/24/ostend-declaration-on-the-north-sea-as-europes-green-power-plant>  
<https://cipartners.dk/2022/10/25/orsted-and-copenhagen-infrastructure-partners-join-forces-to-develop-approx-5-2-gigawatts-of-offshore-wind-in-denmark/>  
[https://www.danskfjernvarme.dk/-/media/danskfjernvarme/gronenergi/analyser/ptx/power-to-x-and-district-heating\\_english-version\\_web.pdf](https://www.danskfjernvarme.dk/-/media/danskfjernvarme/gronenergi/analyser/ptx/power-to-x-and-district-heating_english-version_web.pdf)  
<https://www.dn.se/ekonomi/vindrevolutionen-i-ostersjon-nya-kraftverken-flyter-pa-plattformar/>

### 7.7.1 2015: Stadtwerke Kiel, Kiel, Tyskland

En 35 MW elektrodpanna har implementerats i den första fasen av ett projekt av Stadtwerke Kiel vid Östersjökusten i norra Tyskland. Det övergripande målet har varit att kombinera högeffektiv gasmotorbaserad kraftvärme med termisk lagring och en elpanna för att öka driftsflexibiliteten. I denna fas ingår ett 60 meter högt värmelager, elpannan och ett pumphus som kopplar anläggningen till Kiels fjärrvärmenät. Elpannan gör att överskottselen i nätet under perioder med låga elpriser kan användas för att producera värme, lagras i värmelager eller levereras till fjärrvärmenätet. Elpannan gör det möjligt för anläggningen att ingå i den sekundära balansmarknaden, en annan värdefull inkomstkälla.

Länk:

<https://www.modernpowersystems.com/features/featurepreparing-for-the-next-phase-at-stadtwerke-kiels-super--flexible-multi-purpose-plant-5665710>

### 7.7.2 2015: Kredsløb, Århus, Danmark

AffaldVarme Aarhus (nu en del av Kredsløb) invigde en 80 MW elpanna i april 2015 som ett snabbt och billigt alternativ till en reservpanna. Under sitt första driftår gick pannan i 900 timmar, främst under perioder med låga elpriser. 76 GWh värme genererades, vilket gav en minskning av värmeproduktionskostnaden.

Länk:

<https://fjernvarmen.danskfjernvarme.dk/p/magasinet-fjernvarmen/2016-10-18/r/23/44-45/3045/370437>

### 7.7.3 2018: Hamburg Wärme, Hamburg, Tyskland

2018 bytte Hamburg Wärme ut elpannan som var placerad inuti en redan befintlig byggnadsdel av transformatorstationen vid Karolinenstraße på grund av att dess livslängd hade passerat. Syftet med förnyelsen var att ersätta det befintliga elångpannesystemet med en varmvattenelpanna, inklusive alla tillbehör, som transformatorer och styrsystem.

Den nya elpannan på 45 MW finns tillgänglig som ett kortsiktigt och flexibelt sätt för värmegenerering. Den används främst som spetslastpanna för att säkra

fjärrvärmenätet under eldnings säsongen. Dessutom kommer pannan, i sin funktion som ett el-till-värme-system, att ingå i det tyska forskningsprogrammet SINTEG för att tillhandahålla värme till fjärrvärmenätet i händelse av ett kortvarigt överutbud av el producerad av vindkraftverk. Dessutom kan anläggningen drivas beroende på elpriserna på spotmarknaden eller som en snabb och betydande driftsreserv för elnätet.

Länk:

<https://www.wg-ing.de/en/projects/cogeneration-plant-karoline-elektrokessel-waerme-hamburg-gmbh>

#### 7.7.4 2019: Vattenfall, Berlin, Tyskland

Vattenfall använder överskott av förnybar el som energikälla för elpannor för att producera värme till fjärrvärmesystemet i Berlin. Under 2019 anslöt företaget en el-till-värme-anläggning till fjärrvärmenätet med en kapacitet på 120 MW. Detta gör anläggningen till den största hittills i Europa i sitt slag. Pannan använder överskottsel från förnybara källor för att producera värme i en mängd motsvarande 60 000 hushållspannor.

Länk:

<https://group.vattenfall.com/press-and-media/pressreleases/2019/vattenfall-inaugurates-europes-largest-water-boiler-for-heat-distribution-in-berlin>

#### 7.7.5 2021: Karamay Thermal Power Co., Karamay, Kina

I Kina uppstår en efterfrågan på samordning av kol- och vindkraftverk, särskilt vid låg belastning i kolkraftverk. För att undvika stängning av de tröga kolkraftverken löses detta nätbalanseringsproblem med elpannor som är installerade för att ta hand om höga effekter från vindkraftverk. Den alstrade värmen levereras till fjärrvärmesystem (Zhang et al., 2021). En stor kinesisk installation med sex elpannor och med en total kapacitet på 300 MW byggdes under 2021 i Karamays värmekraftverk i Xinjiang-provinsen. Dessa pannor har levererats av Elpanneteknik i Sverige som har levererat elpannor till Kina med en total kapacitet på cirka 2000 MW.

Länk:

<https://elpanneteknik.com/2015/04/03/balancing-grid-through-emission-free-district-heating>

#### 7.7.6 2022: Fjernvarme Fyn, Odense, Danmark

Fjernvarme Fyn fullbordade en stor milstolpe 2022 genom att installera ytterligare en 50 MW elpanna på Havnegade i Odense. Det har gjort att det nu finns två stora elpannor som tillsammans kan producera 100 MW värme för att försörja fjärrvärmen. Kapaciteten motsvarar värmeanvändningen för 5–10 000 vanliga hushåll en kall dag. Elpannorna fungerar vanligtvis när elproduktionen från framför allt vindkraftverk och solceller är hög.

Länk:

<https://www.fjernvarmefyn.dk/nyheder/uofficiel-Danmarksrekord-paa-100-MW-varmeproduktion-med-elkedler>

#### 7.7.7 2023: DIN Forsyning, Esbjerg, Danmark

DIN Forsyning har tidigare köpt mer än hälften av sitt värmebehov från Ørsted, som erhöll den som restvärme från Blok 3 i Esbjergværket (ESV3). Ørsted lade ner ESV3 i mars 2023. Det var därför nödvändigt för DIN Forsyning att skapa en helt ny värmeförsörjning till sitt fjärrvärmesystem. Målet har varit att etablera en fjärrvärmeproduktion som ekonomiskt gynnar värmekonsumenterna i de danska städerna Esbjerg, Nordby och Varde. Dessutom ska den nya fjärrvärmeproduktionen vara grön, flexibel och baserad på mogen teknik. En elpanna byggdes som en del av lösningen. Pannans nominella effekt är 40 MW; men på grund av andra driftskomponenter är den mestadels begränsad till en lägre effekt eftersom den maximala möjliga effekten från nätet för närvarande är 39 MW (50 MW på lång sikt).

Länk:

<https://fremtidensjernvarme.dk/da-dk/projekt-p%C3%A5-havnen/elkedel>

#### 7.7.8 Planerat: Vattenfall, Amsterdam, Nederländerna

Vattenfall har fått tillstånd och bidrag för att bygga en elpanna på 150 MW i företagets kraftvärmeverk i Diemen, Amsterdam. Det slutliga investeringsbeslutet togs i mitten av 2022. Systemet beräknas vara helt i gång i början av 2025. Pannan startas bara om elmixen är hållbar, med mycket el från sol och vind. Vattenfall har som mål att leverera 100 % hållbar värme i Amsterdamregionen till 2040.

Länk:

<https://www.parat.no/news/vattenfall-invests-in-large-eboiler-system-in-amsterdam>

### 7.8 VATTENBASERAD OMGIVNINGSVÄRME

Omgivningsvärme som lagras i havs-, sjö- och flodvatten utgör en förnybar och pålitlig lokal värmeresurs. Genom att utnyttja denna värme kan behovet av att bränna fossila bränslen för att generera värme minska avsevärt. Hav och sjöar absorberar naturligt värme från solen och den omgivande luften under våren och sommaren och släpper tillbaka den till atmosfären under vintern. Som ett resultat följer temperaturen i dessa vattenkällor säsongscykler men med en mindre amplitud och en tidsfördröjning jämfört med lufttemperaturen. Denna funktion gör dem till en värmekälla eller en värmesänka i olika regioner över hela världen.

Särskilt i Europa har sjöar ofta lägre djupvattentemperaturer än den omgivande luften under sommaren, vilket gör dem lämpliga för kylning och högre temperaturer under vintern, vilket gör dem lämpliga för uppvärmning, särskilt i länder med höga värmebehov.

Nedan presenteras fem fall då vattenbaserad värme utvinns med värmepumpar för värmeförsörjning till fjärrvärmesystem.



Referenser: (Gaudard et al., 2019), (Eggimann et al., 2023)

### 7.8.1 2011: Drammen Fjernvarme, Drammen, Norge

Drammens kommun i Norge har sedan 2011 använt havsvatten för att tillhandahålla fjärrvärme till staden. Tre stora värmepumpar med ammoniak som arbetsmedium och en total värmekapacitet på 13,5 MW utvinns värme från en närliggande fjord som har havsvatten med en temperatur på cirka åtta grader på 18 meters djup året runt. Värmepumparna kan leverera en temperatur på upp till 90°C och ger årligen 67 GWh värme, vilket täcker behoven hos cirka 6 000 bostäder. Värmepumparna i Drammen har ersatt en blandning av eldningsolja, biomassa och elpannor.

Denna värmepumpsanläggning byggs för närvarande ut med två värmepumpsenheter på 9 MW vardera från Friothers i Schweiz. Förväntad driftsättning kommer att ske under våren 2024 och köldmediet kommer dock inte att vara ammoniak, utan HFO1234ze som är ett "fjärde generationens" köldmedium.

Länkar:

<https://www.sitra.fi/en/cases/district-heating-from-seawater-drammen>

<https://energiteknikk.net/2023/11/drammen-fjernvarme-storst-pa-sjovarme>

### 7.8.2 2023: DIN Forsyning, Esbjerg, Danmark

DIN Forsyning har implementerat en stor havsvattenbaserad värmepump i Esbjerg, Danmark, med en nominell kapacitet på 60-70 MW och koldioxid som köldmedium. Värmepumpsystemet är eldrivet och producerar fjärrvärme genom att kyla havsvattnet till max 4°C lokalt vid utloppet. Den är planerad att vara i drift från september till maj, förutsatt rätt elpris och temperaturförhållanden för att köra värmepumpen till lägsta möjliga produktionskostnad. Avsikten har varit att ta anläggningen i drift under 2023.

Värme utvinns för att värma fjärrvärmevattnet upp till cirka 65 grader, vilket är nödvändigt för kunderna. Om en zon behöver högre temperatur skickas vattnet till en av de andra enheterna för ytterligare uppvärmning. Värmepumpen kommer att använda cirka 4 kubikmeter havsvatten per sekund. Anläggningen kommer årligen att producera cirka 235 GWh värme, varav 170 GWh kommer från havsvattenkylningen och 65 GWh försörjs med elenergi. Havsvatteninloppet kommer att förses med filter som sorterar bort drivved och andra främmande föremål och skyddar fisk från skador. Ingen kemisk rengöring eller bekämpningsmedel kommer att användas för att rengöra anläggningen.

Länkar:

<https://fremtidensfjernvarme.dk/da-dk/projekt-p%C3%A5-havnen/havvands-varmepumpe>

<https://www.man-es.com/docs/default-source/document-sync/esbjerg-heat-pump-reference-case-eng.pdf>

[https://www.districtenergy-digital.org/districtenergy/library/item/q3\\_2023/4120256/](https://www.districtenergy-digital.org/districtenergy/library/item/q3_2023/4120256/)



<https://addedvalues.eu/c/nyheder/havvandsbaseret-varmepumpe-bliver-hjertet-i-fremtidens-fjernvarmeforsyning-i-esbjerg>  
<https://addedvalues.eu/c/nyheder/derfor-er-havvandsvarmepumperne-saa-fascinerende>

### 7.8.3 Planerat: HOFOR, Köpenhamn, Danmark

HOFOR har för avsikt att bygga ett nytt energicenter i Nordhavn i Köpenhamn. Energicentralen kommer att inrymma en avloppspumpstation, en fjärrkylecentral och en stor varmepump för fjärrvärme. Värmen kommer att hämtas från havsvatten och kommer att bli företagets största varmepump hittills med 20 MW kapacitet. Värmepumpen inväntar stadsutvecklingen och beräknas vara klar 2028.

Detta fall visas även som fall 8.7.6, eftersom det är planerat att även fungera med kombinerad värmning och kylning.

Länk:

<https://www.hofor.dk/pressemeddelelse/ny-energicentral-huser-baade-varme-kulde-og-spildevand/>

### 7.8.4 Föreslaget: Sundholmen, Helsingfors, Finland

Helen planerar att bygga ett tunnelsystem i ett stort värmeutvinningsprojekt från havsvatten i anslutning till Sundholmens kraftvärmeverk i Helsingfors. Utvecklingsfasen beräknas pågå till hösten 2024. I slutet av utvecklingsfasen tas beslut om att gå över till genomförandefasen, som kommer att pågå i cirka fem år, dvs 2029 som planerat år för driftsättning. Detta värmeutvinningsprojekt kommer att leverera havsvatten året runt till varmepumparna med totalt 500 MW kapacitet. Värmepumparna kommer att använda mindre än 2°C från havsvattent samt el för värmeproduktionen. Den producerade värmen kommer att levereras till kunderna via fjärrvärmenätet. Dessutom kan varmepumparna användas under sommaren för att generera kyla till fjärrkylennätet.

Länk:

<https://www.helen.fi/en/news/2022/helen-to-become-alliance-partners-together-with-yit-and-acciona-in-seawater-heat-recovery-project>

### 7.8.5 Föreslaget: Rheinenergie, Köln, Tyskland

Rheinenergie meddelade i juni 2023 att de har påbörjat planeringen för att implementera en stor varmepumpsanläggning med en total värmeeffekt på 150 MW. Värmekällan blir floden Rhen och värmen skall försörja fjärrvärmesystemet i Köln.

Länkar:

[https://www.rheinenergie.com/de/unternehmen/newsroom/nachrichten/news\\_70213.html](https://www.rheinenergie.com/de/unternehmen/newsroom/nachrichten/news_70213.html)

<https://www.energie.de/euroheatpower/news-detailansicht/nsctrl/detail/News/rheinenergie-schreibt-europas-groesste-waermepumpe-aus>

## 7.9 LUFTBASERAD OMGIVNINGSVÄRME

Omgivande luft är en vanlig värmekälla för enskilda värmepumpar i småhus, men har inte tidigare varit en vanlig värmekälla i fjärrvärmesystem. Danmark har dock under de senaste åren installerat anmärkningsvärt många stora luftvärmepumpar i fjärrvärmesystem. I slutet av 2022 hade Danmark en total värmekapacitet på 275 MW av stora luftvärmepumpar. Det motsvarar ungefär hälften av den totala nationella kapaciteten i stora värmepumpar på 513 MW värmeeffekt.

De två identifierade fallen för denna möjlighet kommer båda från Danmark.

Länk:

<https://varmepumpedata.dk/plants/>

### 7.9.1 2021: Svendborg Fjernvarme, Svendborg, Danmark

Svendborg Fjernvarme tog under 2021 i drift en 20 MW värmepump med luft-till-vatten, den största i Danmark, som kan ge värme till cirka 8 000 hushåll inom en yta på 1,3 miljoner m<sup>2</sup>. Effekten på vintern beräknas vara cirka 20 % mindre, 16-17 MW. I slutändan har denna värmepump, i kombination med en 25 MW elpanna, ersatt den lokala avfallsförbränningen som tidigare försörjde det mesta av fjärrvärmerna i Svendborg.

Länk:

<https://fjernvarmen.danskfjernvarme.dk/p/magasinet-fjernvarmen/2021-03-29/r/11/20-21/3045/396539>

### 7.9.2 Planerat: Silkeborg Forsyning, Silkeborg, Danmark

Silkeborg Forsyning meddelade i februari 2023 att de tecknat ett kontrakt för en framtida 22 MW luftvärmepump. Anläggningen kommer att innehålla tre parallella enheter och förväntad driftsättning är planerad till slutet av 2024.

Länk:

<https://fjernvarmen.danskfjernvarme.dk/p/magasinet-fjernvarmen/2023-08-18/a/silkeborg-tager-et-vigtigt-skridt-mod-co2-neutral-fjernvarme/3045/1052833/42142983>

## 7.10 SUMMERING AV 9 MÖJLIGHETER OM LINJÄR VÄRMEFÖRSÖRJNING

Den huvudsakliga slutsatsen från detta kapitel är att linjär värmeförsörjning från förnybara energikällor kan kännetecknas av många nya diversifierade implementeringar. Värmekällor med både höga och låga temperaturer förekommer, där lågtemperaturkällor kräver värmepumpar för att nå lämpliga temperaturer tillämpade i fjärrvärmesystem och kunders värmesystem.

Merparten av den nya geotermiska värmeförsörjningen i Europa kommer från akviferer i sedimentära berggrunder, även om en del ytterligare värmeförsörjning kommer från vulkaniska områden, övergivna gruvor och grunda borrhål i marken. Ingen geotermisk värme från kristallina berggrunder har ännu kommit in i europeiska fjärrvärmesystem, trots många nyligen genomförda försök att utforska denna möjlighet i Finland och Sverige.

En viktig observation kring geotermi är att fyra företag med bakgrund från fossilindustrin har använt sin kompetens och erfarenhet från olje- och gasprospektering för att hitta och utvinna geotermisk värme. Det danska Innargi-företaget har avtal med flera städer i Danmark, Tyskland och Polen för att hitta lämpliga geotermiska källor. Personalen på detta företag tillhörde tidigare olje- och gasprospekteringsteamet inom AP Møller-gruppen. Det finska St1-företaget har varit aktiv inom fallen Esbo (7.3.4) och Malmö (7.3.5). Det kanadensiska företaget Eavor är verksamt i fallen Geretsried (7.2.12) och Hannover (7.2.13), medan det österrikiska fossilföretaget OMV har ett samarbete med fallet Wien (7.2.11). Eavor och OMV har även tecknat ett samarbetsavtal gällande geotermi.

Solfjärrvärme växer i byar och småstäder, men det är bara i de danska fjärrvärmesystemen som solfjärrvärme har samma marknadsandel (cirka två procent) som solvärme har på den globala värmemarknaden (Lennermo et al., 2019). Därför kan alla andra länder anstränga sig mer för att implementera solfjärrvärme. Den förväntade utbyggnaden av vindkraft har skapat ett stort intresse för stora elpannor och värmepumpar, vilket ger flera implementeringar i dessa linjära värmeförsörjningskedjor för förnybara energikällor. Dessa identifierade fall med geotermi, solvärme och vinddrivna elpannor och stora värmepumpar eliminerar koldioxidutsläpp från fossila bränslen som tidigare använts.

Bedömningen av dessa linjära värmeförsörjningar från förnybar värme är att många fjärrvärmelieferantörer kämpar för att kunna implementera dem, eftersom fossila bränslen fortfarande inte betalar hela kostnaden för klimatförändringarnas skador, vilket initialt beskrevs i inledningen av denna rapport.

## 8 Värmetillförsel med värmeåtervinning

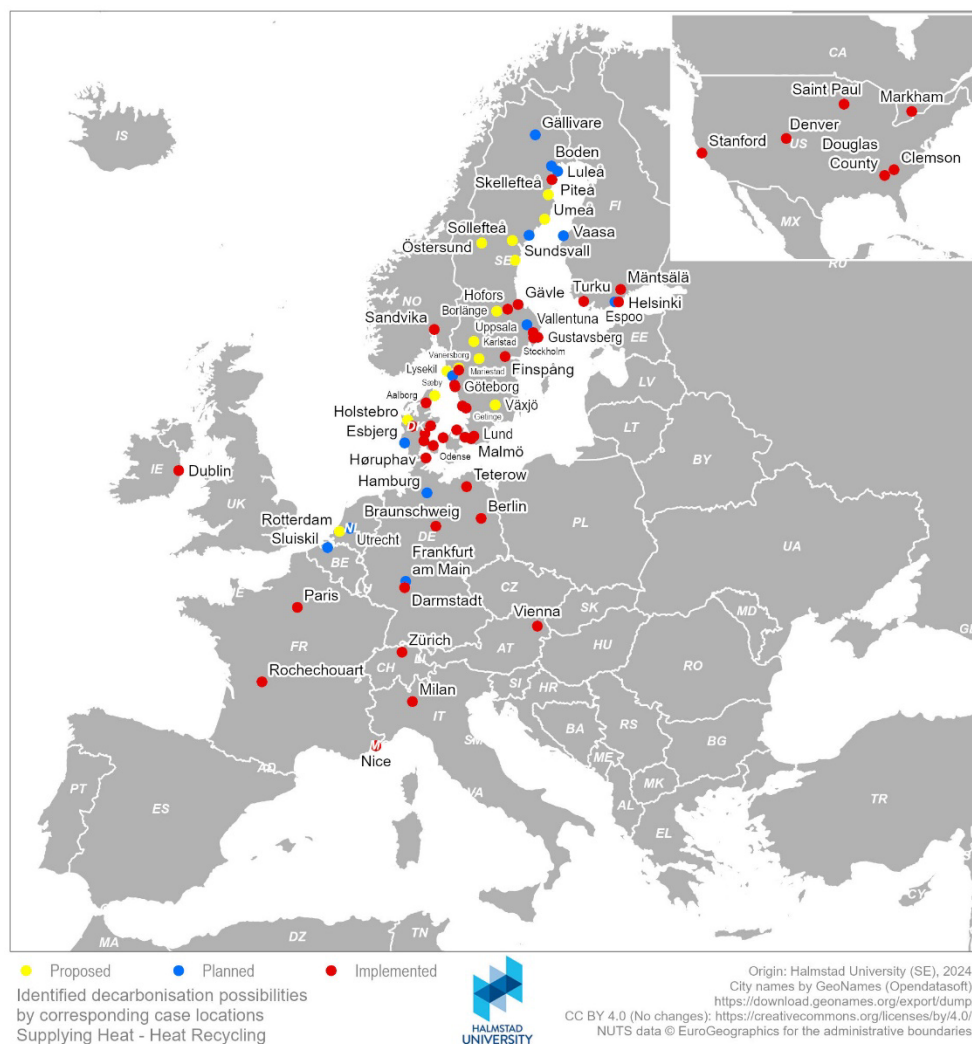
Värmetillförsel genom värmeåtervinning avser möjligheter där restvärme som annars går till spillo återvinns till fjärrvärmesystem. När investeringar görs och infrastrukturen är etablerad, leder värmeåtervinning till avsevärt lägre driftskostnader och utsläpp. Den återvunna restvärmen är en biprodukt av olika typer av processer. Detta kapitel beskriver olika värmeåtervinningsinitiativ med 13 olika möjligheter.

Den första möjligheten är värmeåtervinning från raffinaderier som syftar till att producera icke-fossila transportbränslen. De därpå två följande möjligheterna är relaterade till vätgasförsörjning, antingen värmeåtervinning från elektrolyprocessen (andra möjligheten) eller värmeåtervinning från vätgasdrivna kraftvärmeverk (tredje möjligheten). Att utnyttja restvärme från förnybara råvaror till petrokemiska processer utgör den fjärde möjligheten. Nästa möjlighet är tillägnad värme som genereras inom eldistribution. Värmeåtervinning från nya koldioxidsnåla industrianläggningar utgör den sjätte möjligheten.

Luftkonditionering som värmekälla beskrivs i den sjunde (med centraliserade värmepumpar) och åttonde (med decentraliserade värmepumpar) möjligheterna. Dessa två möjligheter är efterföljare till den första stora europeiska implementeringen av synergien om kombinerad värmning och kylning i Zürichs rådhus 1937/1938 (Pallua, 2021).

Kylning av datacentraler är också en tänkbar värmekälla som kan implementeras antingen genom luftkylda system (beskrivs i den nionde möjligheten) eller genom vattenkylda system (förklaras i den tionde möjligheten). Värmeåtervinning från det starkt växande antalet batterifabriker är föremål för den elfte möjligheten. Möjlighet nummer tolv handlar om värmeåtervinning från kylprocesser i livsmedelskedjan. Slutligen handlar den sista möjligheten i detta kapitel om värmeåtervinning från avloppsreningsverk.

Figur 20 ger en översikt över platser för de identifierade värmeåtervinningsfallen i motsvarande databas.



**Figur 20.** Karta som visar platserna för identifierade fall i databasen angående värmeförlust från värmeåtervinning.

## 8.1 BIORAFFINADERIER

Elektrobränslen även kända som power-to-gas/vätskabränsle, e-bränslen eller syntetiska bränslen, produceras genom att kombinera energier från el, väte från vatten (via elektrolys) och kol, eller möjligen kväve. Helt enkelt innebär processen att blanda väte och koldioxid i en reaktor för att producera olika energibärare. Denna process möjliggör produktion av en mängd olika flytande och gasformiga bränslen som metan, diesel och bensin.

Elektrobränslen har uppmärksammats i olika transportsätt på grund av deras potentiella tillämpbarhet i befintliga fordonsteknologier utan att det krävs betydande investeringar i ny distributions- och bränsleinfrastruktur. De har särskild betydelse inom sektorer som långdistansflyg och sjöfart, där elektrifieringsmöjligheterna är begränsade på grund av utmaningen att hitta substitut för flytande bränslen med hög energitäthet. Dessutom erbjuder elektrobränslen potentialen att hantera intermittens i elproduktionen genom att använda överskottsel och därmed bidra till en hållbar elenergilans.

Produktionen av elektrobränslen resulterar också i värdefulla biprodukter som rent syre och värme. Även om effektiviteten av energiomvandling och energianvändning utgör en utmaning jämfört med tekniker baserad på direkt elanvändning, har Europa etablerat flera demonstrationsanläggningar under det senaste decenniet. En av anledningarna till detta är möjligheten att utnyttja restvärmen för olika värmeändamål, särskilt i fjärrvärmesystem.

#### **8.1.1 2010: Preem och SunPine, Piteå, Sverige**

Preem är delägare i företaget SunPine, som bearbetar råttalolja sedan 2010. SunPine tillgodoser nästan hälften av Preems råvarubehov. SunPines bioraffinaderi i Piteå är ett exempel på innovation för att tackla klimatförändringarna. 2020 färdigställde SunPine en ny fabrik som ökade kapaciteten att producera hållbar tallolja med 50 %. Produktionen av råttalolja har ökat till cirka 150 000 m<sup>3</sup> per år, vilket minskar de årliga fossila koldioxidutsläppen med cirka 400 000 ton.

Länkar:

<https://www.sunpine.se/en/>

[https://www.preem.se/globalassets/om-preem/hallbarhet/hallbarhetsredovisning/preem\\_sustainability-report-2021\\_01\\_juni.pdf](https://www.preem.se/globalassets/om-preem/hallbarhet/hallbarhetsredovisning/preem_sustainability-report-2021_01_juni.pdf)

#### **8.1.2 2010: Preem, Göteborg, Sverige**

Preem, Sveriges största drivmedelsföretag, har antagit ambitiösa mål för att omstrukturera sin verksamhet och uppnå en storskalig produktion av förnybara drivmedel. Företaget har två raffinaderier, ett i Göteborg och ett i Lysekil, som är bland de mest energieffektiva och moderna raffinaderierna i Europa. Green Hydro Treater-anläggningen vid Göteborgsraffinaderiet har byggts om i flera steg sedan 2010 och kan nu producera 100 % förnybart bränsle.

Dessutom har Sveriges största produktionsanläggning för förnybara bränslen planerats att byggas vid detta raffinaderi för driftsättning under 2023. Den nya anläggningen, en så kallad Green Feed Unit, beräknas producera cirka en miljon kubikmeter förnybar diesel och förnybart flyg. bränsle (biojet) årligen. För att uppnå maximal resurseffektivitet i Preems anläggningar används gas som bildas vid raffinering som bränsle i processen, medan restvärme fångas upp och används för fjärrvärme, ty Preemraffinaderiet i Göteborg är sedan många år anslutet till fjärrvärmesystemet för värmeåtervinning.

Länk:

[https://www.preem.se/globalassets/om-](https://www.preem.se/globalassets/om-preem/hallbarhet/hallbarhetsredovisning/preem_sustainability-report-2021_01_juni.pdf)

[preem/hallbarhet/hallbarhetsredovisning/preem\\_sustainability-report-2021\\_01\\_juni.pdf](https://www.preem.se/globalassets/om-preem/hallbarhet/hallbarhetsredovisning/preem_sustainability-report-2021_01_juni.pdf)

#### **8.1.3 2021: Preem och Pyrocell, Gävle, Sverige**

Preem avser att gå mot hållbara råvaror i sina raffinaderier. Pyrocell och SunPine är två exempel på hur företaget arbetar för att öka mängden hållbara råvaror till framtida drivmedel. Preem äger Pyrocell i Gävle tillsammans med ett

träindustriföretag. Vid Pyrocell, belägen intill en sågverksanläggning, tillverkas icke-fossil pyrolysolja av sågspån. Anläggningen är den första i sitt slag i Sverige. Pyrolysoljan raffineras sedan till förnybar diesel och bensin vid Preems raffinaderianläggningar. Pyrocells produktion uppgår till cirka 25 000 ton bioolja per år, vilket motsvarar den årliga bränsleanvändningen för 15 000 personbilar.

Länk:

[https://www.preem.se/globalassets/om-preem/hallbarhet/hallbarhetsredovisning/preem\\_sustainability-report-2021\\_01\\_juni.pdf](https://www.preem.se/globalassets/om-preem/hallbarhet/hallbarhetsredovisning/preem_sustainability-report-2021_01_juni.pdf)

#### 8.1.4 2024: SCA och St1, Göteborg, Sverige

SCA och St1 har gått in i ett "joint venture" för att producera och sälja flytande biobränslen. SCA kommer att leverera tallolja till det gemensamma företaget. Det nya bioraffinaderiet är under uppbyggnad på St1-raffinaderiområdet i Göteborg och förväntas vara i drift i mitten av 2024 med en total årlig kapacitet på 200 000 ton flytande biobränslen, inklusive 60 000 ton biojetbränsle. Det är utformat för att optimera produktionen av förnybar HVO-diesel och biojetbränsle och att använda talloljebaserat råmaterial.

Länk:

<https://www.st1.com/sca-and-st1-enter-joint-venture-to-produce-and-develop-liquid-biofuels>  
<https://bioenergitidningen.se/st1-tar-sikte-mot-skyn/>

#### 8.1.5 Planerat: Flagship ONE, Örnsköldsvik, Sverige

Det danska energiföretaget Ørsted har förvärvat hela ägandet av Flagship ONE, den svenska gröna elbränslefabriken som tidigare delägdes av Liquid Wind och Ørsted. Flagship ONE ligger i Örnsköldsvik och är Europas största gröna elbränsleanläggning där ett slutgiltigt investeringsbeslut har beslutats. När det planerade Flagship ONE kommer i drift 2025 kommer det att producera omkring 50 000 ton eMetanol årligen. Restvärmen från anläggningen kommer att levereras till fjärrvärmesystemet i Örnsköldsvik.

Länkar:

<https://www.liquidwind.se/news/liquid-wind-announces-full-ownership-transition-to-orsted-of-flagshipone>  
<https://bioenergitidningen.se/orsted-tecknar-avtal-med-carbon-clean-for-koldioxidinfangning-vid-flagshipone/>  
<https://bioenergitidningen.se/europas-storsta-biometanolprojekt-ska-gorasjofarten-gronare/>

#### 8.1.6 Planerat: Liquid Wind, Sundsvall, Sverige

Sundsvall Energi kommer att samarbeta med Liquid Wind för att tillhandahålla koldioxid till den andra kommersiella elektrobränsleanläggningen i Sverige med en årlig kapacitet på 100 000 ton. Biogen koldioxid från energianläggningen kommer att fångas upp och kombineras med förnybart väte för att generera grönt elektrobränsle (eMethanol). Anläggningen i Sundsvall kommer att ha dubbelt så



stor kapacitet jämfört med Flagship ONE i Örnsköldsvik. Med en byggtid på cirka två år planeras e-bränslet att vara tillgängligt i slutet av 2025 eller början av 2026. Restvärmen kommer att återvinnas till Sundsvalls fjärrvärmesystem.

Länkar:

<https://www.liquidwind.se/news/liquidwind-announces-plans-for-flagshiptwo-sundsvall>

<https://www.fvb.se/fvb-nytt/stora-mangder-kyla-kravs-till-ny-industri/>

#### 8.1.7 Föreslaget: Jämtkraft, Östersund, Sverige

Integrerad produktion av bioelektrojetbränsle (BEJF) vid kraftvärmeverk Östersund, där förnybar elförsörjning är riklig och växande, har en outnyttjad potential som kan användas för större synergieffekter i befintlig värme- och kraftproduktion. BEJF är ett elektrobränsle som produceras i en syntesprocess där biogen koldioxid är den primära kolkällan och väte från elektrolys med förnybar el är den huvudsakliga energikällan.

En förstudie har genomförts för en sådan bränslefabrik belägen vid Jämtkrafts kraftvärmeverk i Östersund. Syftet var att bedöma genomförbarheten av att producera förnybart flygbränsle på en specifik plats genom att överväga och utvärdera olika processer, verksamheter och integrationer, kostnader, miljöpåverkan, affärsmodeller och aktörer.

Reference: (Fagerström et al., 2021)

#### 8.1.8 Föreslaget: Växjö Energi, Växjö, Sverige

Växjö Energi har tillsammans med några andra företag och institutioner beviljats av Energimyndigheten att fortsätta sin forskning kring utvecklingen av produktionen av Sustainable Aviation Fuel (SAF) i Växjöregionen i Småland. Finansieringen stöder konsortiet att fortsätta sin studie av en integrerad Fischer-Tropsch SAF-produktionsanläggning som använder skogsrester. Denna föreslagna första i sitt slag Fischer-Tropsch SAF-produktionsanläggning integrerad med befintlig biobaserad energiproduktion har potential att producera hållbara bränslen av hög kvalitet och minska växthusgasutsläppen inom flygsektorn. Baserat på det föreslagna systemet skulle anläggningen kunna vara i drift 2026, med en produktionsvolym på 16 000 ton SAF årligen.

Länk:

<https://www.veab.se/om-oss/press/pressmeddelanden/2021/projektstart-for-bioflygbransle-av-skogsrester-vid-sandviksverket/>

#### 8.1.9 Föreslaget: Uniper, Sollefteå, Sverige

Det tyska energibolaget Uniper har undertecknat en avsiktsförklaring om att undersöka möjligheten till en produktionsanläggning för grönt flygbränsle vid Hamreanläggningen i Långsele vid Sollefteå. Detta genomförs under SkyFuelH2, ett innovativt industriprojekt som syftar till att etablera en unik produktionsanläggning för hållbart flygbränsle. I Sollefteå finns den perfekta mixen med god tillgång till el och biomassa samt lämpliga markområden. Genom

att kunna förse den svenska flygindustrin med ett hållbart alternativ, som skulle täcka upp till 10 % av dess årliga bränslebehov, skulle SkyFuelH2 vara en viktig utgångspunkt för omvandlingen av flyget mot fossilfrihet.

Länk:

<https://www.uniper.energy/sv/sverige/jetfuel>

#### **8.1.10 Föreslaget: Vattenfall och St1, Göteborg, Sverige**

Vattenfall och St1 har skrivit på en avsiktsförklaring om att utveckla en fossilfri värdekedja för att producera syntetiskt elektrobränsle och nästa steg är att gemensamt genomföra en förstudie. Studien tar upp hela värdekedjan för att producera elektrobränsle från havsvind. Planerad start är 2029 och gradvis växande mot målet på en miljon kubikmeter årligen.

Elektrobränsle är kategoriserat som ett hållbart flygbränsle (SAF) eftersom de enda insatserna i produktionsprocessen är fossilfri el, vatten och återvunnen koldioxid. El kommer främst att användas för att tillverka vätgas via elektrolys som tillsammans med koldioxid kan omvandlas till etanol och sedan till flygelektrobränsle. Den återvunna koldioxiden fångas upp från en fjärrvärmearläggning (i stället för att släppas ut) och används för produktion av elektrobränsle, varför detta kallas carbon capture usage (CCU). När elektrobränsle förbränns av flygplansmotorer släpps den utnyttjade biogena koldioxiden ut i atmosfären efter att ha använts en andra gång.

Länk:

<https://www.st1.com/vattenfall-and-st1-form-a-new-partnership-to-produce-a-large-volume-of-fossil-free-aviation-electro-fuel-on-the-swedish-west-coast>

#### **8.1.11 Föreslaget: Liquid Wind, Umeå, Sverige**

En förstudie av Liquid Wind i samarbete med Umeå Energi bekräftar att det finns goda förutsättningar för att etablera Sveriges tredje e-bränsleanläggning för den maritima sektorn vid Dåva kraftvärmeverk i Umeå. Ett partnerskap inleds nu för att göra verklighet av anläggningen. Att fånga upp koldioxiden från Dåva kraftvärmeverk gör att staden kan ta ytterligare ett steg mot cirkularitet. Att etablera produktionsanläggningen kan vara ett viktigt steg för att göra Umeå klimatneutral till 2030. Alla dokument som krävs för ett investeringsbeslut planeras vara klara 2024, med en förväntad produktionsstart 2026.

Länk:

<https://www.liquidwind.se/news/liquidwind-plans-for-third-electrofuel-facility-in-swedish-umea>

#### **8.1.12 Föreslaget: Aalborg Forsyning, Ålborg, Danmark**

Reno-Nord och Aalborg Forsyning har ingått ett samarbetsavtal för att etablera en av världens första kommersiella Power-to-X-anläggningar i Aalborg som planeras att producera grön metanol från infångad koldioxid från avfallsförbränning och grön el. Anläggningen kommer årligen att återvinna 180 000 ton avfallsbaserad koldioxid. Anläggningen, som beräknas stå klar 2028, innehåller en elektrolysör på

300-400 MW som omvandlar grön el till väte, som i kombination med koldioxid omvandlas till metanol. Anläggningen kommer att producera 130 000 ton metanol per år. Power-to-X-anläggningen genererar också restvärme, som kommer att användas i Aalborg Forsynings fjärrvärmenät. Anläggningen kommer att producera 130 GWh restvärme årligen, vilket motsvarar 7 % av värmeanvändningen i Aalborg kommun eller uppvärmningen av 5 000 hushåll.

Länk:

<https://aalborgforsyning.dk/privat/nyheder-og-presse/seneste-nyheder/6-december-2021-power-to-x-anlaeg-i-aalborg-skal-indfange-co2-og-bruged-et-til-gront-braendstof/>

## 8.2 VÄTGASFÖRSÖRJNING – RESTVÄRME

Tidigare utredningar har visat att produktion och lagring av vätgas för senare elproduktion kan vara ekonomiskt utmanande. De främsta orsakerna är relaterade till kostnader och omvandlingsförluster. Det finns dock en potentiell möjlighet att återvinna dessa värmeförluster från processen, vilket kan ge intäkter från befintliga fjärrvärmesystem.

Vid produktion av grönt väte produceras syre som en biprodukt. Detta syre kan effektivt användas i biomassa eller avfallsförbränning, vilket förbättrar förbränningsprocessen och minskar kväveföreningarna i avgaserna. Dessutom underlättar detta koldioxidavskiljning. Dessutom kan väte användas som bränsle för tunga lastbilar och olika industriella processer. Detta ger större flexibilitet för anläggningsägare och minskar behovet av storskaliga lagringsanläggningar.

Produktionen av väte från väderberoende elproduktion, som vind, kan spela en viktig roll för att stabilisera elnätet. Under perioder med hög nätefterfrågan kan elektrolyprocessen minska elanvändningen, vilket skapar möjligheter för andra verksamheter som saknar samma flexibilitet. Lokal batterilagring kan också bidra till snabba effektfluktuationer och ge ytterligare systemtjänster.

Enligt Global Hydrogen Review (IEA-Hydrogen, 2022), skulle vätgasproduktion med låga utsläpp kunna nå 16-24 miljoner ton per år till 2030 om alla projekt som för närvarande pågår realiserar. Denna produktion skulle bestå av 9-14 miljoner ton från elektrolys och 7-10 miljoner ton från fossila bränslen med avskiljning, utnyttjande och lagring av koldioxid (CCUS). För att uppnå dessa mål skulle det krävas en installerad elektrolyörkapacitet på 134-240 GW år 2030. Produktionen av väte med låga utsläpp är beroende av elektrolyprocesser som drivs av el med låga utsläpp. För närvarande är den globala tillverkningskapaciteten för elektrolysörer cirka 8 GW per år.

Det finns specifika projekt, särskilt i norra Europa, som syftar till att generera vätgas samtidigt som restvärme utnyttjas för fjärrvärmeändamål. Några av dessa projekt kommer att beskrivas ytterligare som fall nedan.

Referenser: (IEA, 2022b) and (IEA, 2022c)

Länk:

<https://www.ri.se/en/what-we-do/projects/system-perspective-of-hydrogen-production-in-connection-to-district-heating>

<https://www.ri.se/sites/default/files/2023-08/HyCoGen%20Slutrapport%20Produktion%20av%20v%C3%A4tgas%20med%20sektorkoppling%20till%20fj%C3%A4rrv%C3%A4rme.pdf>

[https://www.ri.se/sites/default/files/2023-07/HyCoGen%20Studie%20hur%20restv%C3%A4rmen%20fr%C3%A5n%20v%C3%A4tgasproduktion%20kan%20bidra%20till%20fj%C3%A4rrv%C3%A4rme\\_0.pdf](https://www.ri.se/sites/default/files/2023-07/HyCoGen%20Studie%20hur%20restv%C3%A4rmen%20fr%C3%A5n%20v%C3%A4tgasproduktion%20kan%20bidra%20till%20fj%C3%A4rrv%C3%A4rme_0.pdf)

### 8.2.1 2023: Ovako, Hofors, Sverige

Ovako har inlett ett samarbete för att investera i vätgasproduktion i Hofors. Syftet var att bygga Sveriges största fossilfria vätgasanläggning för att minska koldioxidutsläppen, utveckla lokal industriell väteproduktion och ta det första steget mot en framtida vätgasinфраstruktur för transportsektorn. Elektrolysören för att producera fossilfritt väte färdigställdes och togs i drift i september 2023. Effekten är på 20 MW och genererar åtta ton fossilfritt väte per dag. Denna nya vätgasanläggning gör Ovako till den första i världen att värma stål med väte innan stålvalsning. Vidare kommer restvärmen att tas tillvara i det lokala fjärrvärmenätet i Hofors som drivs av Adven.

Denna tekniska lösning förser högtemperaturprocesser vid stålproduktion med fossilfritt väte och syre och ersätter därmed fossila bränslen. Med ett större behov av syre än väte inom stålindustrin finns det även goda möjligheter till kostnadseffektiv och storskalig användning av väte inom andra områden, som fossilfria frakter med bränslecellsbilar. Lösningen kan användas flexibelt och bidra till förbättrad stabilitet i elnätet, vilket möjliggör en högre andel förnybara energikällor i elbalansen.

Länkar:

<https://www.ovako.com/en/newsevents/news--press-releases/ovako-press-release-detail/?releaseId=B4ADD5355036AA5F>

<https://www.ovako.com/en/newsevents/stories/hydrogen-plant-ramping-up/>

<https://ovako-en.newsroom.cision.com/releasedetail.html?swedish-prime-minister-inaugurates-the-world-s-first-plant-to-produce-fossil-free-hydrogen-for-heating-steel-before-rolling&releaseIdentifier=43A02B2C02BD7C08>

<https://www.nyteknik.se/energi/ovako-tar-sveriges-storsta-elektrolysanlaggning-i-drift/4189049>

<https://www.energi.se/artiklar/2023/oktober-2023/ovakos-vatgasanlaggning-bidrar-till-fjarrvarmen-i-hofors/>

<https://adven.com/se/samarbetsberattelser/40-arigt-partnerskap-med-ovako-forgylls-med-hallbar-satsning/>

### 8.2.2 Planerat: Hamburg Green Hydrogen, Hamburg, Tyskland

Shell, Mitsubishi Heavy Industries (MHI), Hamburger Energiewerke och Vattenfall kommer att etablera Hamburg Green Hydrogen Hub vid kraftverket Hamburg-Moorburg. Detta nav kommer att omvandla vind- och solenergi till grönt väte.

Planen är att bygga en elektrolysör med en kapacitet på 100 MW el med potential för ytterligare expansion. Det kommer att leverera vätgas till industrin och hamnen samt applikationer inom transport i Hamburg med omnejd. Om alla tillstånd ges i tid kan vätgasproduktionen starta 2026.

Hamburger Energiewerke är det kommunalägda företag som förser cirka 500 000 bostäder i Hamburg med lokal fjärrvärme för uppvärmning och varmvatten. Till 2030 avser företaget att eliminera all värme från kolförbränning, främst beroende på konsekvent användning av befintlig restvärme från industrier, avloppsvatten, avfallsförbränning och elektrolysörer.

Länk:

<https://www.hghh.eu/en>

### 8.2.3 Planerat: Shell Hydrogen I, Rotterdam, Nederländerna

Två dotterbolag till Shell har fattat det slutliga investeringsbeslutet för att bygga Holland Hydrogen I, som kommer att bli Europas största förnybara vätgasanläggning när den är i drift 2025. Elektrolysörerna på totalt 200 MW kommer att byggas i hamnen i Rotterdam och producera upp till 60 ton förnybart väte dagligen. Den förnybara kraften som kommer att användas i elektrolysörerna planeras komma från vindkraftsparker till havs.

Detta projekt har fått bidrag från EU:s innovationsfond, se avsnitt 10.6.5 för ytterligare information.

Länkar:

<https://www.shell.com/media/news-and-media-releases/2022/shell-to-start-building-europes-largest-renewable-hydrogen-plant.html>  
[https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-12/if\\_pf\\_2022\\_hh\\_en.pdf](https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-12/if_pf_2022_hh_en.pdf)

### 8.2.4 Planerat: Everfuel, Holsterbro, Danmark

Everfuel planerar att bygga ett vätgasnav i Holstebro för att stödja regional energiomställning och påskynda uppskalningen av grönt väte. Navet kommer att utvecklas i två faser för att etablera en säker, pålitlig och effektiv lokal försörjning av ren energi. När navet är färdigställt kommer navet att avsevärt minska kommunens koldioxidutsläpp genom att kolfritt väte tillförs en stor del av kommunens verksamhet.

I fas två av projektet har Everfuel för avsikt att bygga en 100 MW elektrolysör, en vätgasterminal, ett distributionscenter och en vätgastankstation. Utbyggnaden är planerad att påbörjas 2025. Det gröna vätgas som produceras i denna fas kommer att fasa ut fossila bränslen genom att ersätta naturgas i utvalda industriella processer. Restvärme från vätgasproduktionsanläggningen planeras att distribueras till den lokala fjärrvärmeoperatören.

Länk:

<https://news.cision.com/everfuel-a-s/r/everfuel-launches-plan-for-holstebro-hub-to-scale-green-hydrogen-for-industry-and-mobility.c3619050>

### 8.2.5 Planerat: Nordsjö Hydrogen Hub, Helsingfors, Finland

Helen har valt Sweco för att utföra den grundläggande projektering av projektet Helsinki Hydrogen Hub (3H2) i Nordsjö. Med detta pilotprojekt avser Helen att skapa de nödvändiga kapaciteterna för storskalig Power-to-X-produktion. Projektet syftar till att minska koldioxidutsläppen inom transporter och fjärrvärmeproduktion med upp till 70 000 ton under anläggningens 20-åriga livscykel. 3H2 är det första projektet i sitt slag, som kombinerar nollutsläpp med vätgas inom fyra användningsområden: el, transport, värme och energilagring. Egenskapen hos anläggningen är förmågan att omvandla vätgasen tillbaka till elektricitet med en bränslecell (Power-to-H2-to-Power) och därmed balansera elnätet. All restvärme som genereras av produktionsprocessen kommer att återvinnas och utnyttjas via en värmepump i Helens fjärrvärmenät, vilket höjer anläggningens totala verkningsgrad till nästan 90 %.

Grönt, emissionsfritt väte produceras i en elektrolysör från vatten som använder el, och det kan användas som transportbränsle, värme, el eller i energilagring för att balansera naturliga fluktuationer i elproduktionen och efterfrågetoppar orsakade av väderförhållanden. Grönt väte och koldioxid kan också användas för att producera syntetiska ebränslen, som till exempel metan eller metanol, genom att utnyttja koldioxidutsläppen från ett närliggande industriområde.

Länk:

<https://www.helen.fi/en/news/2022/helens-first-hydrogen-plant-is-designed-by-sweco>

### 8.2.6 Föreslaget: Everfuel och Karlstad Energi, Karlstad, Sverige

Everfuel har tecknat ett samförståndsavtal med Karlstads Energi för samarbete kring utveckling av en vätgasnav i Karlstad. De två parterna planerar att undersöka den kommersiella och tekniska genomförbarheten av att bygga en 20 MW elektrolysör som en första fas av navutvecklingen. Anläggningen ska producera grönt väte, leverera restvärme till det lokala fjärrvärmenätet som ägs och drivs av Karlstads Energi, utnyttja det producerade syret för industriella ändamål samt leverera grönt bränsle till mobilitets- och industriparters. Everfuel och Karlstads Energi siktar på att utveckla navet ytterligare och utöka elektrolysrörkapaciteten med ytterligare 100 MW i en andra fas. Den första fasen förväntas tas i drift 2025, beroende på finansiering och tillstånd.

Länkar:

<https://news.cision.com/everfuel-a-s/r/everfuel-signs-mou-with-karlstads-energi-for-establishing-a-hydrogen-hub.c3620798>

<https://www.energi.se/artiklar/2022/maj-2022/darfor-siktar-karlstads-energi-pa-vatgasproduktion>

### 8.2.7 Föreslaget: CIP Høst, Esbjerg, Danmark

Copenhagen Infrastructure Partners (CIP) leder ett projekt kallat HØST PtX Esbjerg där det ingår att återvinna restvärme från produktionsprocessen av väte och ammoniak för fjärrvärmeapplikationer. Inom projektet utvecklas en ammoniakanläggning där industriell användning av elektrolys på GW-nivå



kommer att utföras, vilket skulle bli den första i denna skala i Europa. Anläggningen kommer flexibelt att omvandla förnybar el, huvudsakligen från vind och solkraft, till väte och lagra den som ammoniak. Ammoniak framställs genom att kväve reagerar med väte under höga temperaturer och tryck. Därmed är det en slags Power-to-X (PtX) energilagringsteknik.

Grön ammoniak kan användas som råvara för gödseltillverkning och som grönt bränsle i den maritima industrin. På så sätt kommer projektet att bana väg för att minska koldioxidutsläppen i svårbekämpade sektorer som sjöfart, jordbruk och industri. Den årliga förväntade elanvändningen kommer att vara 5 TWh för 1000 MW elektrolysörer, varvid cirka 600 000 ton ammoniak kommer att produceras. Nuvarande plan innehåller ett slutgiltigt investeringsbeslut 2025 följt av driftsättning 2029.

Restvärmen från anläggningen kommer att användas för fjärrvärme i Esbjerg av DIN Forsyning till cirka 15 000 hushåll. Detta kommer att minska koldioxidavtrycket betydligt för det lokala fjärrvärmeföretaget. Den nuvarande årliga värmeförsörelsen är cirka 1000 GWh från avfallsförbränning och tidigare kolbaserad kraftvärme (som stängdes 2023) till sina kunder i kommunerna Varde och Esbjerg.

Länkar:

<https://hoestptxesbjerg.dk>

<https://hoestptxesbjerg.dk/about-ptx/>

### 8.3 VÄTGASFÖRSÖRJNING – KRAFTVÄRME

Väte dyker upp som ett lovande alternativ till kolbaserade bränslen, och erbjuder en lösning med noll utsläpp av fossil koldioxid. Vätgas kan produceras genom att använda vatten och el. Den kan lagras i månader och är mångsidig inom olika industrier och applikationer. När väte förbränns genererar det värme samtidigt som det bara avger vattenånga, vilket gör det till ett rent alternativ. Genom att använda väte i lämpliga kraftverk som gasturbiner eller kraftvärmeenheter kan det vara en elproduktion som ger noll koldioxid i utsläpp. Med nödvändiga modifieringar av gasturbiner och upprättandet av en pålitlig vätgasförsörjning skulle vätgas kunna minska användningen av fossila bränslen avsevärt.

I de flesta pågående projekt tillämpas konceptet "power-to-hydrogen-to-power", där överskottsel, främst från intermittenta förnybara källor, används i elektrolysörer för att producera väte. Den största fördelen är att väte kan lagras lättare än själva elen. I vissa fall är batterilagring också inbyggd för att optimera systemets övergripande prestanda. Vid behov fungerar sedan väte som energikälla för att driva kraftverk eller kraftvärmeverk. Den genererade värmen kan integreras i ett fjärrvärmesystem, vilket ger grön värme till kunderna.

Referens: (Koeppel et al., 2022)

#### 8.3.1 2020: APEX Energy, Teterow, Tyskland

Ett tidigt fall av väte kraftvärme återfinns i norra Tyskland där APEX Energy Teterow GmbH, en ledande utvecklare av gröna väteproduktions- och



lagringssystem, driver ett vätecenter vid sitt huvudkontor i Rostock-Laage. Vätgasanläggningen, som invigdes 2020, har ett litet 115 kW vätekraftvärmesystem med 1 MW batterilagring. Systemet genererar el och värme för användning vid fabriken och kontorsbyggnaderna. Den kan drivas med upp till 100 % grönt väte producerat på plats från förnybar energi med hjälp av en McPhy-elektrolysör som kan generera upp till 300 ton per år. Vätgasen lagras i ett APEX-lagringssystem och det finns en bränslecell med 100 kW elektrisk effekt. Utöver användningen i kraftvärme görs vätgasen som produceras vid vätecentret också tillgänglig på en offentlig vätgastankstation i fabrikslokalerna som kan försörja upp till 40 bussar och 200 bilar.

Länk:

[https://www.districtenergy-digital.org/districtenergy/library/item/autumn\\_2021/3950841/](https://www.districtenergy-digital.org/districtenergy/library/item/autumn_2021/3950841/)

### 8.3.2 2021: Siemens, Finspång, Sverige

Zero Emission Hydrogen Turbine Center (ZEHTC) har funnits i Finspång sedan våren 2021. Syftet är att visa hur väte- och gasturbiner, produktion av förnybar energi och energilagring samverkar i ett flexibelt och hållbart energisystem. På anläggningen för tillverkning av gasturbiner finns ett testcenter där gasturbinerna testas innan de levereras till kund. Standardbränslet är huvudsakligen naturgas och biogas. Under testerna genererar turbinerna en stor elspets. Denna matas in i det nationella elnätet, men det finns alltid en viss överskottskraft som inte kan utnyttjas.

Denna anläggning är kärnan i demonstrationsanläggningen. Solpaneler har installerats för att producera el från en förnybar källa. En liten elektrolysör har också installerats för att producera grönt väte från solenergi. Vätgas lagras sedan och matas tillbaka till testcentret som bränsle när det behövs för nästa turbintest. Med en nominell effekt på 225 kW kan upp till 5,4 MWh elektrisk energi omvandlas till 4 MWh väte per dag. Det motsvarar cirka 100 kg väte per dag.

Batterier har också installerats för att öka flexibiliteten i energisystemet med nollutsläpp. Den slutliga lösningen är ett smart mikronät som visar hur ett framtida energisystem för ett hållbart samhälle kan fungera. Energianvändningen optimeras genom lagringslösningar som väte eller batterier. Överskottskraften från anläggningen kommer att, i kombination med förnybar solenergi, användas för att producera vätgas. Kretsloppet är slutet när vätgas används som bränsle för framtida tester. Anläggningen minskar gasturbinanläggningens och det lokala samhällets koldioxidavtryck. Det stödjer Siemens Energys mål att driva gasturbiner på 100 % väte senast 2030.

Länk:

<https://www.zehtc.org/>

### 8.3.3 2021: Clemson University, Clemson, USA

I början av 2021 gick Clemson University, Duke Energy och Siemens Energy ihop för att undersöka användningen av grönt väte för energilagring och som en bränslekälla med låg/inget koldioxidutsläpp för ett kraftvärmeverk. Siemens

Energy tilldelades 200 000 US-dollar från U.S. Department of Energy för demonstrationsprojektet H2-Orange, som syftar till att utvärdera väteproduktion, lagring och samledning med naturgas. Teamet studerade användningen av Siemens Energys Silyzer-elektrolysörsteknik för att producera väte för att hjälpa till att driva en befintlig naturgasturbin vid Duke Energys kraftvärmeverk i Clemson. Silyzer kan använda el från källor som inkluderar sol, vind, kärnkraft och vattenkraft för att producera väte utan koldioxidutsläpp. Duke Energy har som mål att minska koldioxidutsläppen med 50 % till 2030 och nå nettonoll till 2050.

Länk:

[https://www.districtenergy-digital.org/districtenergy/library/page/fall\\_2022/25/](https://www.districtenergy-digital.org/districtenergy/library/page/fall_2022/25/)

#### 8.3.4 2022: Wien Energie, Wien, Österrike

Det österrikiska energibolaget Wien Energie och en grupp partners har börjat att testa att blanda väte med naturgas för att generera el vid en storskalig kraftvärmearläggning i Wien. Som en del av pilotprojektet byggdes en av Österrikes största gasturbiner vid kraftvärmeverket i Donaustadt om för att delvis drivas på vätgas. Uppgraderingen var klar i mitten av 2022. Därmed kommer kraftverkets kapacitet att höjas med cirka 23 MW. Donaustadt kraftvärmeverk har för närvarande en kapacitet på 350 MW för att producera värme och upp till 395 MW för el.

Ett nästa steg var att förbereda den nödvändiga infrastrukturen för att testa att tillsätta 15 % väte till bränslet till gasturbinen, vilket genomfördes sommaren 2023. Senare kommer vätgasandelen i bränslet att fördubblas. De första resultaten av testerna blev tillgängliga i slutet av 2023. Tillsatsen av endast 15 % grönt väte skulle hjälpa kraftvärmeverket i Donaustadt att minska sina koldioxidutsläpp med cirka 33 000 ton per år.

Länk:

<https://renewablesnow.com/news/austrias-wien-energie-to-test-running-chp-plant-partly-on-hydrogen-791007/>

#### 8.3.5 2022: Engie, Saillat sur Vienne, Frankrike

Ett konsortium av europeiska företag, forskningsinstitut och universitet har lanserat ett helt integrerat kraft-till-väte-till-kraft-projekt i industriell skala och i en verklig kraftverkstillämpning. Det fyraåriga projektet HYFLEXPOWER har för att demonstrera detta konverterat ett kraftvärmeverk på 12 MWe vid Engie Solutions Smurfit Kappa industrianläggning för massa och papper i Saillat-sur-Vienne för att demonstrera hela cykeln el-till-väte-till-el. Siemens Energy, som spelar den avgörande rollen som projektkoordinator för HYFLEXPOWER-piloten, tillhandahåller ett elektrolysoversystem för att producera väte från överskott av förnybar energi i regionen. Medan en del av detta väte används för lagring, uppgraderar Siemens också den befintliga industriella gasturbinen SGT-400 vid kraftvärmeverket för att använda en mängd olika naturgas- och vätgasblandningar för kraftgenerering, och arbetar för att gradvis öka vätgasvolymen till minst 80 % och så småningom till 100 %. Engie kommer under tiden att bygga produktions-

och lagringsanläggningen för väte, inklusive blandningsstationen för naturgas och väte.

Länkar:

<https://www.powermag.com/worlds-first-integrated-hydrogen-power-to-power-demonstration-launched/>

<https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/hyflexpower-worlds-first-integrated-power-x-power-hydrogen-gas-turbine-demonstrator>

<https://press.siemens-energy.com/global/en/pressrelease/first-tests-power-hydrogen-power-hyflexpower-demonstrator-successfully-completed>

### 8.3.6 2023: Caterpillar, St Paul, USA

Caterpillar har ett treårigt projekt med Minnesota-baserade District Energy St. Paul för att demonstrera ett vätebaserat kraftvärmesystem. Projektet stöds och delvis finansierat av U.S. Department of Energy och backas upp av National Renewable Energy Laboratory. Detta vätedemonstrationsprojekt kommer att möjliggöra utvärdering av ytterligare alternativ för vätgasbränsle för en befintlig energieffektiv motor, vilket ger ännu fler möjligheter att hjälpa kunder att nå sina klimatrelaterade mål. För att bedöma potentialen hos ett vätedrivet kraftvärmesystem under verkliga driftförhållanden, kommer el och värme från demonstrationsprojektet att integreras i District Energy St. Pauls elektriska och termiska infrastrukturer. District Energy St. Paul distribuerar fjärrvärme och fjätkyla för att värme och kyla byggnader och småhus.

Länk:

<https://www.caterpillar.com/en/news/corporate-press-releases/h/caterpillar-to-launch-demonstration-project-using-hydrogen-fueled-heat-power-system.html>

### 8.3.7 Planerat: Vasa Elektriska, Vasa, Finland

I den finska staden Vasa pågår planer på att bygga en anläggning som ska producera vätgas för elmarknadens behov. Elektrolysprocessen använder elektricitet för att producera väte från vatten. Vätgas lagras sedan i tankar under högt tryck. När gasen ska användas tas den ut ur tanken och förbränns i dieselmotorer. Tekniken är således en kraft-till-X-till-effekt-cykel. Tanken är att vindkraftsel tas tillvara i form av vätgas och sedan omvandlas tillbaka till el. Fjärrvärmesystemet i Vasa kan dra nytta av den restvärme som genereras i processen. Projektet är ett samarbete mellan Wärtsilä, Vasa Elektriska, energibolaget EPV och Vasa stad. Dieselmotorn förväntas tas i drift senast 2026.

Länkar:

<https://www.wartsila.com/media/news/15-01-2021-wartsila-plus-venture-partners-in-vaasa-to-cooperate-in-wind-power-to-hydrogen-to-electricity-project-2845339>

<https://svenska.yle.fi/a/7-10027840>

### 8.3.8 Föreslaget: Ryaverket, Göteborg, Sverige

Det naturgasdrivna kraftvärmeverket Ryaverket i Göteborgs stad analyseras för att successivt gå över till mer förnybart bränsle. Målet med den föreslagna ordningen är att all fjärrvärme i Göteborg ska produceras från förnybara eller återvunna värmekällor år 2025. Tillsammans med Siemens Energy ska Göteborg Energi undersöka om det är möjligt att använda andra gröna bränslen i anläggningarna i stället, t.ex. flytande biodiesel. På sikt kan Göteborg Energi även överväga att blanda in vätgas i bränslemixen.

Länk:

<https://www.energi.se/artiklar/rya-kraftvarmeverk-testar-nya-branslen-i-gasturbinerna/>

## 8.4 PETROKEMISKA ANLÄGGNINGAR

En petrokemisk anläggning är en anläggning för bearbetning av råvaror som traditionellt härrör från petroleumprodukter. Ett petrokemiskt komplex innebär en sekvens av reaktioner och separationsprocedurer som involverar olika temperaturer och tryck, vilket gör hela processen energikrävande. Kemisk produktion involverar många processer som kräver uppvärmning, kylning eller kondensationssteg. Följaktligen hittar värmeväxlare många användningsområden i denna industri. Detta tyder på att det finns en betydande potential för att återvinna och återanvända värme i petrokemiska anläggningar.

Värmeåtervinning i petrokemiska anläggningar är vanligt, vilket bidrar till ökad energieffektivitet. Men processen för nedbrytning av olje- och gasmolekyler resulterar också i koldioxidutsläpp. För att uppnå mer klimatneutrala lösningar undersöker petrokemiska anläggningar möjligheterna att ändra sin råvaruinsats från fossilbränslebaserade råvaror till förnybara källor som biomassa. Denna omställning, tillsammans med återvinning av värme för fjärrvärmeändamål, kan avsevärt minska koldioxidutsläppen i denna industri.

Referens: (Liu et al., 2022)

Länk:

<https://www.energi.se/artiklar/2023/september-2023/darfor-driver-den-okade-plastanvandningen-pa-oljeindustrin/>

### 8.4.1 Föreslaget: Borealis – biomassa, Stenungsund, Sverige

I sin svenska anläggning i Stenungsund utforskar Borealis att driva en produktionsprocess där förnybara råvaror kommer att användas istället för konventionell olja och naturgas som råvara för plastproduktion. Syftet är att omvandla biomassa till kolväten för plasttillverkning. Den avsedda biomassaråvaran omfattar biprodukter från jordbruket som annars skulle gå till spillo. Inom en krackningsanläggning genomgår råmaterialet upphettning, vilket orsakar nedbrytning av stora molekyler till mindre. Denna process ger kolväten som eten och propen, som sedan används vid tillverkning av plastvaror. Restvärmen som genereras i processen planeras att tas tillvara för fjärrvärmeändamål.

Länk:

<https://www.nyteknik.se/nyheter/forsta-testerna-tillverka-plastravara-av-jordbruksrester/659806>

#### 8.4.2 Föreslaget: Borealis – kemisk återvinning, Stenungsund, Sverige

Idag förbränns en betydande mängd plastavfall eftersom det inte kan återvinnas på mekanisk väg. Borealis undersöker att bygga en anläggning i Stenungsund för kemisk återvinning, som skulle bli den första i Sverige. Ett alternativ för att hantera plastavfall via kemisk återvinning är pyrolys, som kan omvandla det tillbaka till ett kemiskt råmaterial som sedan kan användas för att tillverka jungfruliga polymerer. Att använda värmen som genereras inom processen för fjärrvärmeändamål kan öka den totala energieffektiviteten.

Referens: (Jeswani et al., 2021)

Länk:

<https://www.nyteknik.se/nyheter/har-ska-plast-atervinnas-pa-kemisk-vag/334653>

## 8.5 ELEKTRISKA TRANSFORMATORER

Mängden elektrisk energi som går till spillo inom elnät i form av värme kan ses som en värmekälla. Transformatorstationer i elnät är föremål för värmeåtervinning. Vanligtvis genererar transformatorer i elektriska transformatorstationer restvärme som sträcker sig från 20 till 70°C, så det behövs ofta genomföras uppgraderingar av temperaturen.

Transformatorer har två typer av förluster: lastförlust och tomgångsförlust. Lastförlust orsakas av lindningarnas resistans, som ökar proportionellt med kvadraten på den elektriska strömmen. Å andra sidan uppstår tomgångsförluster från hysteresförluster och virvelströmsförluster, som uppstår när transformatorn är spänningsatt men ingen ström levereras. Medan lastförlusterna fluktuerar baserat på den effekt som dras från transformatorn, förblir tomgångsförlusterna konstanta. Procentandelen last- och tomgångsförluster kan variera mellan olika transformatorer. Generellt uppskattas dock att den genomsnittliga värmeförlusten från transformatorer uppgår till 0,5 % av belastningen. Transformatorer med större kapacitet, till exempel de som överstiger 60 MVA, är särskilt relevanta för värmeåtervinning.

För att återvinna värme från transformatorer behövs ett återvinningssystem som kopplas till det befintliga kylsystemet. Transformatorer använder vanligtvis olja som det interna kylmediet, som cirkulerar genom kärnan naturligt eller med hjälp av pumpar. Värmen som transporteras av oljan överförs sedan till ett externt medium, såsom den omgivande luften eller vattnet, med hjälp av en värmeväxlare. Om en fjärrvärmeapplikation används krävs ofta att man höjer temperaturen genom att använda en värmepump.

References: (Dorotić et al., 2022) and (Davies et al., 2023).

### 8.5.1 2023: Svenska Kraftnät, Stockholm, Sverige

Svenska Kraftnät och Stockholm Exergi höjer näteffektiviteten till en högre nivå med värmeåtervinning vid en ny transformatorstation. Detta ska göras i Skanstullsprojektet som var tänkt att gå i drift 2023. Transformatorstationen byggdes med ett integrerat kyl- och värmeåtervinningssystem. Stationen kan ge upp till 1 000 MW el. Medan eltransformatorn har en begränsad värmeförlust räknar Stockholm Exergi med att återvinna närmare 8 GWh värme årligen och återanvända den i sitt fjärrvärmenät. Vid full drift kommer den återvunna värmen att räcka för att värma upp 2 200 moderna bostadslägenheter. För att värmeleverantören ska kunna göra nödvändiga investeringar köper Stockholm Exergi värmen från ägaren av restvärmen, vilket gör det till en vinnande lösning för båda parter.

Länk:

<https://stockholmdataparks.com/2021/04/23/swedish-tso-svenska-kraftnat-deploys-heat-recovery-at-new-power-substation/>

### 8.5.2 Föreslaget: A2A, Milano, Italien

Milano hade två demonstrationsdelar i EU-projektet REWARDHeat, som syftade till att utforska en ny generation av fjärrvärme- och kylnät med låga temperaturer som kan använda förnybart och återvunnen restvärme. De två demonstrationsdelarna i Milano skulle levereras av A2A och bestod av två pilotplatser i Viale Gadio och Via Balilla. Dessa två småskaliga fjärrvärme- och kylnät skulle fungera vid neutrala temperaturer och integrera användning av restvärme.

Demonstrationsprojektet i Viale Gadio skulle bestå av ett nybyggt fjärrvärmenät med låg temperatur som skulle ha utnyttjat restvärmen från en elektrisk transformator som restvärmekälla. Restvärmen från transformatorn avleds för närvarande till luften genom torrkyllare och en oljekrets. Denna värme, tillgänglig vid 30/40°C och konstant under hela året, planerades som värmekälla för uppvärmning inne i det kommunala akvariet och inuti transformatorstationen. Restvärmen planerades att tas ut med värmepump. Detta förslag nådde dock aldrig något investeringsbeslut eftersom slutkunden inte accepterade erbjudandet att använda värmen.

Länk:

<https://www.rewardheat.eu/en/Demonstration-Networks/Milan>

## 8.6 NYA INDUSTRIPROCESSER

Återvunnen industriell restvärme kan utnyttjas internt inom samma industri eller externt med andra industriella tillämpningar. Att återvinna industriell restvärme för fjärrvärmeändamål, särskilt för lågtemperatursystem, ökar både effektiviteten i industrisektorn och tillgången på fjärrvärme. Den primära frågan ligger i att effektivt transportera värmen från dess ursprungliga läge till det lokala distributionsnätet. Kostnadseffektiviteten i att utnyttja industriell restvärme för fjärrvärme är starkt beroende av närheten till industriområden. Detta beror på



ökade kostnader förknippade med värmeförluster och nätinvesteringar när avståndet ökar.

Historiskt sett har energiintensiva sektorer som petrokemiska anläggningar, oljeraffinaderier och cementfabriker varit i fokus för olika värmeåtervinningsinitiativ. Men under de senaste åren har tanken på att återanvända restvärme expanderat till att även omfatta nya industriella processer. Livsmedelsindustrin fungerar som ett illustrativt exempel, där flera europeiska projekt har utarbetats för att utnyttja dess restvärme. Dessa projekt inkluderar kafferosterier, produktionsanläggningar för vegetabiliskt protein och för alger. Det konsekventa produktionsmönstret för restvärme är en betydande fördel som nya industrier, såsom livsmedels- och byggmaterialindustrin, erbjuder för fjärrvärmeapplikationer. Det viktigaste är att industrianläggningen måste vara i drift under en tillräcklig tid för att få tillbaka investeringskostnaden för att bygga ut fjärrvärmesystemet.

Referenser: (Jodeiri et al., 2022), (Atienza-Márquez et al., 2019), (Fang et al., 2013)

#### **8.6.1 2019: Hamlet Protein, Horsens, Danmark**

Fjernvarme Horsens och Hamlet Protein har ingått ett avtal om att ta tillvara restvärmen som är i storleksordningen 70 GWh per år. Denna värmeåtervinning från Hamlet Protein genomfördes 2019 och ger fjärrvärme till 3 300 hushåll i Horsens. I takt med att fjärrvärmenätet byggs ut under de kommande åren kan mängden återvunnen restvärme öka.

Länk:

<https://fjernvarmehorsens.dk/nyheder/pressemeddelelse-21-marts-2019.php>

#### **8.6.2 2020: Paulig och Helen, Nordsjö, Finland**

Pauligs kafferosteri, beläget i Nordsjö, återvinner sin restvärme för att tillhandahålla värme till fjärrvärmenätet i Helsingfors. Initiativet till detta pilotprojekt fick priset Energigeni 2020 som delas ut av Finlands ekonomi- och arbetsministerium, den finska Energimyndigheten och det statliga företaget Motiva för hållbar utveckling. Paulig, det familjeägda mat- och dryckesföretaget, använder bara förnybara energikällor och rostar allt sitt kaffe med biogas.

Företaget har avsevärt förbättrat energieffektiviteten i sina rostningslinjer; därför finns det en mängd restvärme tillgänglig. Med hjälp av ett återvinningssystem återvinns värme från rostningsprocessen. Den återvunna värmen används i första hand för företagets egen uppvärmning. Den restvärme som inte behövs leds in i fjärrvärmenätet av Helen, vars fjärrvärmenät täcker större delen av Helsingfors. Helen drar fördel av att tillhandahålla en öppen fjärrvärme som kan både köpa och sälja värme. Restvärmen beräknas finnas i tillräckliga mängder för att tillgodose det årliga värmebehovet för 1000 tvårumslägenheter, och det kommer att fortsätta att öka i framtiden.

Länkar:

<https://www.helen.fi/en/news/2020/energy-genius>



<https://www.pauligggroup.com/taste-the-change/five-acts-of-sustainability-during-the-past-decade>

#### 8.6.3 2022: AstraReal, Gustavsberg, Sverige

Sedan slutet av 2022 har restvärme från AstraReals algodling börjat användas för fjärrvärme till över 2 500 lägenheter i Gustavsberg. AstraReals tillverkningsprocess är energikrävande och kräver både el och kyla. Genom att använda restvärmen till uppvärmning av bostäder och lokaler får Gustavsbergsborna mer än 20 % av sitt värmebehov tillgodosedda med denna teknik. Anläggningen för värmeåtervinning gör det möjligt att effektivt återvinna restvärme från tillverkningsprocessen, vilket innebär att över 15 GWh värme årligen återanvänds i det lokala fjärrvärmenätet som drivs av Vattenfall.

Länk:

[https://news.cision.com/se/vattenfall/r/nu-varmer-algodling-over-2500-lagenheter-i-gustavsberg\\_c3654460](https://news.cision.com/se/vattenfall/r/nu-varmer-algodling-over-2500-lagenheter-i-gustavsberg_c3654460)

#### 8.6.4 Planerat: Mycorena, Falkenberg, Sverige

Mycorena och Falkenbergsgruppen planerar att driva ett gemensamt projekt för att etablera en anläggning för storskalig produktion av svampbaserat protein i Falkenberg. Restvärmen från anläggningen ska återvinnas till fjärrvärmesystemet i Falkenberg. Initialt var driftsättningen planerad till 2022, men är nu försenad till 2025.

Länkar:

<https://www.mynewsdesk.com/se/guventures/pressreleases/den-foersta-anlaeggningen-foer-mykoproteinproduktion-ska-byggas-i-falkenberg-aat-mycorena-3095937>

<https://www.hn.se/hallands-aff%C3%A4rer/etablering-av-mycorenas-fabrik-i-falkenberg-ytterligare-f%C3%B6rsenad-1.111723727>

#### 8.6.5 Planerat: Hybrit, Gällivare, Sverige

Gällivare Energi har fått närmare 10 miljoner kronor i projektmedel för att utveckla ett mer hållbart fjärrvärmesystem som tar tillvara på restvärme från en ny industriprocess. En del av det planerade upplägget är den satsning som gruvbolaget LKAB ska göra på att producera fossilfritt stål genom den nya Hybrit-tekniken. Det yttersta målet är att förbereda för ett 100 % cirkulärt och klimatsmart fjärrvärmesystem i Gällivare, Sverige.

Detta projekt har fått bidrag från EU:s innovationsfond, se avsnitt 10.6.5 för ytterligare information.

Länkar:

<https://gallivare.se/arkiv/nyheter/2023/2023-04-14-eu-stod-till-gallivare-nar-industrins-restvarme-ska-bli-fjarrvarme>

<https://www.fvb.se/fvb-nytt/spill-fran-jarnsvamp-ska-varma-gallivare/>

### 8.6.6 Planerat: Fertiberia, Luleå, Sverige

Fertiberia har undertecknat ett samförståndsavtal med Region Norrbotten om att utveckla världens första 100 % gröna och utsläppsfria ammoniak- och gödseltillverkning senast 2026. Baserat på elektrolysörteknik kommer anläggningen endast att använda vatten och luft som råmaterial. Den kommer att försörjas med förnybar energi från vind- och vattenkraftskällor. Med mer än 600 MW elektrolysörer kommer den nya anläggningen i Luleå att vara innovativ i sin design och utveckling. Produktionskapaciteten för grön ammoniak kommer att bli 1 500 ton per dag. Elektrolysörerna kommer att generera värmeförluster som kan återvinnas till fjärrvärme.

Länk:

[https://www.grupofertiberia.com/media/605649/20211015-np-planta-fertiberia-suecia\\_def\\_en-1.pdf](https://www.grupofertiberia.com/media/605649/20211015-np-planta-fertiberia-suecia_def_en-1.pdf)

### 8.6.7 Planerat: Yara, Sluiskil, Nederländerna

Yara och Ørsted har gått samman för att utveckla en 100 MW vinddriven elektrolysöranläggning för förnybar vätgasproduktion. Beläget i Yaras fabrik i den holländska staden Sluiskil, syftar den till att ersätta fossilbaserat väte med förnybart väte för ammoniakproduktion. Det förnybara vätet skulle generera cirka 75 000 ton grön ammoniak årligen och potentiellt minska de fossila koldioxidutsläppen med mer än 100 000 ton per år. Den gröna ammoniaken är tänkt att användas för att producera koldioxidneutrala gödselprodukter, minska koldioxidutsläppen i livsmedelskedjan och har även potential som ett framtida klimatneutralt sjöfartsbränsle. Elektrolysörerna kommer att generera värmeförluster som kan återvinnas till fjärrvärme.

Länk:

<https://www.yara.com/corporate-releases/orsted-and-yara-see-to-develop-groundbreaking-green-ammonia-project-in-the-netherlands/>

## 8.7 KVK – CENTRALISERAD FJÄRRKYLA

Ett sätt att öka energieffektiviteten i kombinerade värme- och kylsystem är att överföra den restvärme som genereras i kylprocessen till ett fjärrvärmenät. Detta åstadkoms vanligtvis genom integrering av värmepumpar i systemet. Syftet är att utnyttja synergifördelarna med kombinerad värmning och kylning (KVK) genom att samtidigt använda båda ändarna av en värmepump eller genom att använda en kombination av en separat värmepump och en separat kylmaskin som arbetar parallellt. Detta tillvägagångssätt möjliggör utnyttjande av den restvärme som erhålls från kylprocessen för att uppfylla värmebehov och utnyttjande av den restkyla som erhålls från värmeprocessen för att möta kylbehov.

För samtidig användning av restvärme och kyla i kombinerade system är det nödvändigt att värme- och kylbehov uppstår samtidigt, med kylbehov som är relativt sett höga i förhållande till värmebehoven. Säsongslagring kan användas för att övervinna denna utmaning. Under vintern kan kyla som genereras av värmepumpen lagras för senare användning på sommaren, medan

lågtemperaturvärme som produceras av kylmaskinen på sommaren kan lagras för användning på vintern. Denna årliga cykel av lagring av både värme och kyla kan underlättas genom användning av omfattande centraliserade lågtempererade akvifer- eller borrhålssystem för lagring. Genom att integrera dessa lagringseenheter underlättas integrationen av fjärrvärme- och kylsystemet i ett smart energisystem. Detta möjliggör flexibilitet när det gäller att använda variabla förnybara energikällor.

Synergien med kombinerad värmning och kylning kan implementeras med antingen centraliserade eller decentraliserade metoder för kylförsörjning. I ett centraliserat system sker distributionen av värme och kyla genom två separata fjärrkyle- och fjärrvärmenät. Centraliserade kylsystem är mer lämpade att införliva säsongslagring på grund av kostnadsfördelarna som är förknippade med stora värmelagers skalfördelar.

Referens: (Østergaard et al., 2022)

#### **8.7.1 1989: Oslofjord Varme, Sandvika, Norge**

Under 1980-talet, när det fanns ett behov av att tillhandahålla mer värme för det framväxande Sandvikaområdet, fastställdes det att fjärrvärme genererad av stora värmepumpar var den mest kostnadseffektiva lösningen. Den tänkta värmekällan var avloppsvattnet från en nyligen byggd avloppstunnel.

Med tanke på att värmepumpar har både en varm och en kall sida, identifierades vidare att den kalla sidan kunde användas för fjärrkyla. Den initiala anläggningen med två värmepumpsaggregat byggdes 1989 med 13 MW värme och 9 MW kyla, men allteftersom fler kunder anslutits ökade behovet av kyla kontinuerligt. Anläggningen utökades 2008 med en tredje värmepumpsenhet på 7,7 MW värme och 5,2 MW kyla i vinterdrift, vilket ger en total kapacitet på ungefär 21 MW värme och 14 MW kyla.

Länkar:

<https://www.oslofjordvarme.no/anlegg/sandvika/>

[https://www.friotherm.com/wp-content/uploads/2017/11/sandvika\\_e005\\_uk.pdf](https://www.friotherm.com/wp-content/uploads/2017/11/sandvika_e005_uk.pdf)

<https://etkhpcorderapi.extweb.sp.se/api/file/1138>

#### **8.7.2 1995: Stockholms Exergi, Stockholm, Sverige**

Som tidigare nämnts i avsnitt 4.6.2 har Stockholm det mest omfattande fjärrkylesystemet i Europa med avseende på ledningslängd. Initierat 1995 är det nu 250 kilometer långt och är fortfarande under utveckling. Genom att utveckla och modernisera fjärrkyla i staden erbjuder Stockholm Exergi nu en bättre och säkrare fjärrkyletjänst.

Stockholm Exergi har ett stort fjärrkylennät med cirka 450 GWh årsproduktion och 220 MW som högsta kylbehov. Fjärrkylan produceras med en kombination av värmepumpar och frikyla genom havsvatten. Under 2020 kom hälften av kylan som producerades för fjärrkyla från stora värmepumpar.

En del av värmen som genereras i kylprocessen används i värmepumpar för att generera fjärrvärme. Den huvudsakliga värmeförsörjningen från avfallsförbränning, biomasseeldad kraftvärme samt centraliserade värmepumpar som använder återvunnen värme från avloppsvatten, fjärrkyla och havsvatten.

Referens: (Levihn, 2017)

Länk:

<https://www.stockholmexergi.se/en/district-cooling/>

### 8.7.3 2006: Helen, Helsingfors, Finland

Som tidigare beskrivits i avsnitt 4.6.3 har Helen drivit Katri Vala-anläggningen i Helsingfors sedan 2006 med några stora värmepumpar för att utnyttja den kombinerade värme- och kylningssynergien. Återcirkulation av värmeflöden från byggnadernas solvärmeöverkott samlas upp med fjärrkyla, går in i fjärrvärmesystemet och skapar ett integrerat energiekosystem där en minimal mängd värme går till spillo. Värmepumparna i Katri Vala står för en stor del av behovet av fjärrkyla (cirka 90 %). Värmen som genereras är användbar i fjärrvärmeförsörjningen. Kraftvärmeproduktion, fjärrkyla och fjärrvärme kompletterar varandra perfekt i detta integrerade system.

Länk:

<https://www.districtenergyaward.org/combined-heating-and-cooling-in-helsinki/>

### 8.7.4 2015: Stanford University, Stanford, USA

Som tidigare beskrivits i avsnitt 4.6.4 var Stanford Energy System Innovations (SESI)-projektet en stor omvandling av universitetets hela energisystem för dess campusområde. Omvandlingen innebar att man gick från gaseldad kraftvärme med ångdistribution till solesdriven fjärrkyla och fjärrvärme med varmvattendistribution. Kylsystemet skapades på 1960-talet för att tillgodose byggnadernas kylbehov.

Under 2015 tillkom ett nytt vattenbaserat fjärrvärmesystem som betjänar 300 byggnader. Denna integration av kyl-, värme- och elsystem möjliggjorde en integrerad optimering. SESI var tänkt att minska utsläppen av växthusgaser på campus med 68 % och minska den totala vattenanvändningen på campus med 18 %. Hjärtat i SESI var värmeåtervinningen, där 57 % av restvärmen från campusets fjärrkylesystem (som tidigare släpptes ut från evaporativa kyltorn) återanvändes för att tillgodose 93 % av behovet för uppvärmning och varmvatten på campus.

Referenser: (Stanford University, 2014), (Stagner, 2016), (de Chalendar et al., 2019), and (Stanford News, 2020)

Länk:

<https://www.districtenergyaward.org/stanford-university-district-energy-system/>

### 8.7.5 2022: Vattenfall, Berlin, Tyskland

Sedan starten 1997 har kylcentret på Potsdamer Platz i Berlin tillförlitligt försett cirka 12 000 kontor, 1 000 lägenheter och många institutioner med fjärrkyla.

Vattenfall och Siemens Energy har nu börjat driva en ny stor högtemperaturvärmepump i kylcentralen. Detta pilotprojekt syftar till att dra tillförlitliga slutsatser om den tekniska och ekonomiska potentialen för värmegenerering med storskaliga högtempererade värmepumpar. Värmen som producerades av denna process brukade annars slösas bort och släppas ut i omgivningen via kyltorn.

Tack vare integrationen av en ny högtemperaturvärmepump kombineras värme, kyla och el för ökad resurseffektivitet. Den nya tekniken ger en användning av restvärmen, ökar energieffektiviteten för kylproduktionen och ger grön värme från förnybar el för detta område i Berlin. Att använda värmepumpen minskar utsläppen av värme till omgivningen avsevärt och ger en extra värmeförsörjning till fjärrvärmenätet på cirka 55 GWh årligen.

Referens: (Huettl, 2022)

Länk:

<https://group.vattenfall.com/press-and-media/pressreleases/2021/berlins-largest-air-conditioning-system-is-gearing-up-to-generate-climate-friendly-heat-in-the-future>

#### 8.7.6 2022: Nordhavn, Köpenhamn, Danmark

Som tidigare förklarats i fall 7.8.3 har ett nytt energicenter byggts av HOFOR i Nordhavn, som kommer att tillhandahålla kombinerad värmning och kylning i framtiden. Anläggningen kommer att leverera fjärrvärme till många nya bostäder och kontor. Samtidigt ska centret leverera platsbesparande luftkonditionering via fjärrkyla till flera företag och hotell. Restvärmen som genereras i kylprocessen är också en värmekälla. Detta energicenter togs initialt i drift i slutet av 2022.

Länk:

<https://www.hofor.dk/pressemeddelelse/ny-energicentral-huser-baade-varme-kulde-og-spildevand/>

### 8.8 KVK – DECENTRALISERAD FJÄRRKYLA

Som beskrivits i föregående avsnitt 8.7 kan kombinerad värmning och kylning kategoriseras utifrån deras fjärrkylennät, som kan vara antingen centraliserade eller decentraliserade. I den decentraliserade konfiguration sker distributionen av värme och kyla genom ett gemensamt nätverk som arbetar vid temperaturer nära dem i traditionella fjärrkylesystem. Kylan i denna konfiguration genereras av decentraliserade värmepumpar som främst används för uppvärmningsändamål. Dessa decentraliserade värme- och kylförsörjningar kan också kompletteras med centraliserade värme- och kylförsörjningar för att säkerställa balanseringen av värme- och kylbehov under varje timme.

I den decentraliserade konfigurationen av kombinerad värmning och kylning tillförs värme genom lokala värmepumpar placerade hos kunderna. Dessa värmepumpar tar ut värme från det varma röret och släpper ut det avkylda vattnet till det kalla röret. Varje kundcentral kan ge värme och kyla till en enskild byggnad

eller ett kluster av flera byggnader. En viktig innebörd är att kyla kan tillföras direkt från det kallare röret om det har en lämplig temperatur.

Referens: (Østergaard et al., 2022)

#### **8.8.1 2013: ETH Hönggerberg, Zürich, Schweiz**

Den optimala driften har undersökts av ett multienergisystem som distribuerar geotermisk värme i ett "Anergy Grid" installerat på ETH Hönggerberg campus i Zürich. I det systemet har centraliserad värme- och kylproduktion baserad på fossila bränslen ersatts av ett dynamiskt underjordiskt termiskt nätverk som kopplar samman geotermiska fält, som fungerar både som värmekällor och lagring, med behovskluster som kräver värme och kyla.

Hela övergången är planerad att vara slutförd 2026. ETH-byggnaderna kommer sedan att värmas upp med hjälp av flera decentraliserade värmepumpar integrerade med geotermiska lagring och restvärme från en kylslinga som hämtar restvärme från byggnader och laboratorier. Värmen och kylan distribueras för närvarande genom tre slutna slingor av rör. Dessa är designade för att flytta ett varmt vatten, ett kallt vatten och en gemensam retur med varierande temperaturer under året. Systemdriften gör det möjligt att minska koldioxidutsläppen från universitetsområdet med 72 % jämfört med det nuvarande konventionella fossilbaserade systemet som använder centraliserad värme och kyla.

Referens: (Gabrielli et al., 2020)

#### **8.8.2 2013: Krokslättis Fabriker, Mölndal, Sverige**

EU-projektet REWARDHeat syftade till att undersöka en ny generation av fjärrvärme- och fjärrkylsystem med låga temperaturer som kan återvinna lågtempererade värmekällor. Mölndal hade en demonstrationsdel i detta projekt som bestod av ett nybyggt lågtemperaturnät som använder ett säsongslager i form av ett borrhållager, initialt implementerat 2013. En centraliserad värmepump ger byggnadsvärme, medan lokala värmepumpar ger tappvarmvatten. Det nybyggda delnätet för värme och kyla är kopplat till det befintliga kommunala fjärrvärmenätet. Delnätet kommer att betjäna ett komplex som inkluderar en historisk fabriksbyggnad som har förvandlats till ett modernt kontor, två nya kontorsbyggnader, fem bostadshus med lägenheter och ett hotell.

Länk:

<https://www.rewardheat.eu/en/Demonstration-Networks/Helsingborg-and-Molndal>

#### **8.8.3 2017: Saclay University, Paris, Frankrike**

2017 initierade Saclay-universitetet i Paris implementeringen av ett kombinerat värme- och kylsystem. I deras fjärrenergisystem ingår förnybara energikällor, två lågtemperaturnät och lokala värmelagringsenheter i sina lågtempererade byggnader. Energiförsörjningskedjan består av sju halvcentraliserade värmepumpsstationer på klusternivå, tillsammans med extra naturgaspannor för

värmeförsörjning. Systemet inkluderar också två 700-meters geotermiska brunnar, som levererar värme vid temperaturer mellan 25°C och 30°C.

Campussystemet har klusterstationer som använder värmepumpar för att leverera både kylvatten och varmvatten för att möta de termiska kraven för de enskilda kvarteren. Dessutom är dessa klusterstationer utrustade med värmeväxlare som fångar upp överskottskyla och restvärme från byggnaderna. Systemets maximala kapaciteter för värme- och kylförsörjning är 37 MW respektive 10 MW, medan den totala årsproduktionen av värme och kyla uppgår till 40 GWh respektive 10 GWh.

Referens: (Galindo Fernández et al., 2021)

#### 8.8.4 2018: Medicon Village, Lund, Sverige

E.ON ectogrid är en nätkonfiguration som först utvecklades 2018 för att fylla flera funktioner samtidigt: termisk distribution för värme och kyla, termisk lagring och flexibilitet. E.ON ectogrid levererar både värme och kyla från samma nät.

Rörsystemet består av två rör, med ett varmt och kallt flöde med temperaturer som varierar över året och kan flyttas åt olika håll. Nätets låga temperatur (0–40°C) maximerar användningen av restvärme och restkyla. Varje byggnad som är ansluten till en E.ON ectogrid har en värmepump och/eller en kylmaskin som höjer eller sänker temperaturen efter byggnadens behov. Det gör att vattnet i nätet inte behöver vara lika varmt eller kallt som det faktiska behovet av uppvärmning eller kylning.

I denna process skickar varje byggnad restvärme eller restkyla till andra byggnader, beroende på deras behov. E.ON ectogrid levererar värme och kyla till Medicon Village, beläget i Lund. Det är ett forsknings-, innovations- och samhällsområde där 2 600 personer arbetar på mer än 170 life-science-företag och organisationer. E.ON ectogrid kopplar samman 15 kommersiella fastigheter och bostadshus med olika värme- och kylbehov. Innan E.ON ectogrid installerades tillfördes årligen cirka 10 GWh fjärrvärme och 4 GWh fjärrkyla. Det långsiktiga målet är att balansera 11 GWh och att systemet endast ska behöva 3 GWh värme levererad utifrån. Nätkonfigurationen för detta fall har tidigare presenteras i avsnitt 4.5.3.

Länk:

<https://www.eon.se/foeretag/integrerade-energiolosningar/ectogrid/ectogrid-medicon-village>

## 8.9 KVK – LUFTKYLDA DATACENTRALER

En stor potential för värmeåtervinning ligger i att utnyttja den varma luften som släpps ut från stora datacentraler. Genom att kyla denna varma luft och effektivt utnyttja restvärmen kan den integreras in i lokala fjärrvärmenät. Processen att återvinna restvärme från datacenter är en förlängning av den kylprocess som syftar till att kyla bort den restvärme som uppstår från utrustningen i serverhallarna. Dessa kylaktiviteter är nödvändiga för att upprätthålla den önskade drifttemperaturen för de installerade komponenterna. Värmen som genereras av olika komponenter inom serverna, med processorer, minneschips



och diskenheter är betydande. I moderna datacenter används vanligtvis två primära kyltekniker: luftkylning och vätskekylning. Bland de datacenter som för närvarande är verksamma i Europa verkar majoriteten använda luftkylningssystem som kallas CRAC (computer room air conditioners) eller CRAH (computer room air handlers), som vanligtvis underlättar värmeåtervinning inom temperaturområdet 25°C till 35°C. °C i genomsnitt.

Referenser: (Tsong-Te Lai et al., 2010), (Tepper et al., 2012), (Davies et al., 2016), (Persson et al., 2022), och (Gynther et al., 2022).

### 8.9.1 2009: Academica, Helsingfors, Finland

Helen möjliggör att all restvärme som produceras i en datacentral som IT-företaget Academica installerat i Helsingfors kan återvinnas och tas tillvara. Via en energiplattform överförs värme vidare från datacentralen med hjälp av värmepumpar. Värmen som samlas in från datacentralen värmer upp helsingforsbornas hem på ett koldioxidneutralt sätt.

Referens: (Helen, 2011)

Länkar:

[https://www.academia.edu/2865278/Why\\_Blow\\_Away\\_Heat\\_Harvest\\_Server\\_s\\_Heat\\_Using\\_Thermoelectric\\_Generators](https://www.academia.edu/2865278/Why_Blow_Away_Heat_Harvest_Server_s_Heat_Using_Thermoelectric_Generators)

[https://sustainable-procurement.org/fileadmin/templates/sp\\_platform/lib/sp\\_platform\\_resource/s/tools/push\\_resource\\_file.php?uid=6296a08c](https://sustainable-procurement.org/fileadmin/templates/sp_platform/lib/sp_platform_resource/s/tools/push_resource_file.php?uid=6296a08c)

### 8.9.2 2015: Yandex, Mäntsälä, Finland

Under 2015 installerades en 4 MW värmepump i den finska staden Mäntsälä, som utnyttjar restvärmen från en datacentral som drivs av det ryska företaget Yandex. Värmeväxlare avger varmluft från dataserverna vid temperaturer på cirka 40°C. Denna värme används i värmepumpen, där temperaturen höjs till ca 85°C. Värmepumparna är optimerade för att uppnå höga temperaturer genom att ha en hög värmefaktor, potentiellt överstigande 4,0.

Genom att utvinna restvärme från datacentralen kan 75 % av den ursprungligen använda elen återanvändas. Vidare ersätter restvärmen naturgasuppvärmning och minskar därmed det årliga koldioxidutsläppet med cirka 4000 ton koldioxid de första åren, vilket senare kan bli upp till 11 000 ton koldioxid. Värmepumpen kan försörja 1500 bostäder med värme genom fjärrvärmenätet. Senare, när fjärrvärmenätet ska byggas ut, kan antalet stiga till cirka 4000 bostäder.

Länk:

<https://www.reuseheat.eu/wp-content/uploads/2018/03/6.1-Other-experiences-25-case-studies.pdf>

### 8.9.3 2017: Bahnhof, Stockholm, Sverige

Bahnhof har installerat datacenterkyla med värmeåtervinning på flera platser i Stockholm. I lösningen som tillämpas i deras datacentraler har Bahnhof investerat i

Carrier värmepumpar för att generera kyla till datacentret och använder fjärrvärmenätet för att överföra restvärmen för återvinning. Bahnhofs kylsystem har designats med överkapacitet och är även anslutet till Stockholms fjärrkylennät. Följaktligen kan värmepumparnas fulla kapacitet utnyttjas från start eftersom, förutom datacentrets restvärme, även energi för värmeproduktion tillhandahålls av fjärrkylennätets returledning. Detta innebär att Bahnhof förutom att kyla sitt datacenter levererar värme till fjärrvärmenätet och kyla till fjärrkylennätet.

Länk:

<https://stockholmdataparks.com/wp-content/uploads/customer-references-bahnhof.pdf>

#### 8.9.4 2019: Meta, Odense, Danmark

Efter att Facebooks nya datacenter invigdes 2019 i Odense, Danmark, etablerades ett samarbete mellan Fjernvarme Fyn och Facebook för att utnyttja datacentrets restvärme. 165 GWh gratis restvärme från datacentrets serverhallar som stöds av 100 % förnybar el distribueras till cirka 7 000 hushåll på Fyn, Danmarks tredje största ö. En nyligen genomförd utbyggnad kommer att göra det möjligt att värma upp till 11 000 hushåll med återvunnen, förnybar värme från Metas datacentraler. De två stora värmepumparna har nu en total termisk effekt på 47 MW.

Länkar:

<https://www.fjernvarmefyn.dk/nyheder/fjernvarme-fyn-i-fokus-ved-indvielsen-af-facebooks-nye-datacenter>  
<https://www.ramboll.com/projects/energy/meta-surplus-heat-to-district-heating>

#### 8.9.5 2019: Binero, Vallentuna, Sverige

2019 invigdes Binero Groups ultramoderna datacentral i Vallentuna. Den byggdes i samarbete med E.ON som driver det lokala fjärrvärmesystemet. Restvärmen från datacentralen återvinns och används i fjärrvärme för att värma bostäder i Vallentuna. Fullt utbyggt bedöms restvärmen från datacentralen kunna stå för närmare en tredjedel av värmeförseln till fjärrvärmenätet.

Länk:

<https://binero.com/press-release/binero-group-och-e-on-inviger-miljosmart-datacenter-i-vallentuna/>

#### 8.9.6 2020: GleSYS, Falkenberg, Sverige

I Falkenberg kommer en del av värmen som krävs för fjärrvärmesystemet från värmeåtervinning av restvärmen från ett nytt datacenter byggt av GleSYS 2020. Restvärmen tas om hand i en värmepump och skickas till fjärrvärmenätet.

Länk:

<https://www.falkenberg-energi.se/fjarrvarme/referenser-fjarrvarme/glesys/>

### 8.9.7 2021: BS Energy, Braunschweig, Tyskland

I Braunschweig har en värmeåtervinning från en befintlig datacentral pågått sedan 2021. Återvinningen utförs i form av en tvåstegskonfiguration där restvärmen från datacentralen först återvinns i en luft-till-vatten värmeväxlare och sedan i en vatten-till-vatten värmepump. Ett lågtemperaturnät utgör den kylsänka genom vilken den återvunna restvärmen tas tillvara. För denna värmeväxling måste restvärmen från datacentralen höjas från en temperatur på runt 25°C till 70°C, och tvåstegskonfigurationen gör detta. Detta fall var ett demonstrationsprojekt inom EU-projektet Reuseheat.

Referens: (Persson et al., 2022)

Länk:

<https://www.reuseheat.eu/brunswick/>

### 8.9.8 2023: Amazon, Dublin, Irland

Vid Amazons datacenter Tallaght i Dublin började restvärmen tas till vara 2023 och överförs från serverna till en luftbehandlingsenhet där en slinga med kallt vatten kyler den varma luften. Vattnet, vars temperatur nu har stigit till omkring 25°C, passerar sedan genom en ledning till ett energicenter strax utanför datacentralen, där flera värmepumpar uppgraderar det till dess temperaturen har stigit till 85°C (eller 70°C vid varmt väder). Varmvattnet används sedan för inmatning av värme i fjärrvärmesystemet. När systemet är fullt i drift förväntas det värma upp 47 000 m<sup>2</sup> lokala offentliga byggnader, 3 000 m<sup>2</sup> kommersiella byggnader och 135 lägenheter.

Länk:

<https://reasonstobecheerful.world/data-center-heat-green-energy/>

### 8.9.9 2023: Trollhättan Energi, Trollhättan, Sverige

Trollhättan Energi gav Bravida i uppdrag att installera sitt nya datacenter med fokus på värmeåtervinning och minimering av energianvändning. Bravida designade, byggde och levererade ett skalbart datacenter. I uppdraget ingick bland annat värmeåtervinning, där restvärmen återfördes till fjärrvärmenätet i Trollhättan. Projektet startade 2022 och beräknades vara klart i juli 2023.

Länk:

<https://www.energi-miljo.se/bravida-installerar-energieffektivt-i-nytt-datacenter-pa-uppdrag-av-trollhattan-energi/>

### 8.9.10 Planerat: Microsoft och Fortum, Esbo, Finland

Microsoft planerar att bygga ett regionalt datacenter i de två städerna Esbo och Kyrkslätt, där man så småningom kan tillhandahålla 40 % av all fjärrvärme som behövs i området. Kyrksläotts datacenter beräknas tas i drift 2025. Återvinning av restvärmen från utsläppsfri el som används av datacentralerna kommer att avsevärt minska regionens totala koldioxidutsläpp och bidra till att hålla fjärrvärmepriset konkurrenskraftigt. I programmet Esbo Clean Heat kommer Fortums fjärrvärme att produceras kolfritt 2025 och koldioxidneutralt före 2030. En

betydande del av programmets mål kan uppnås med hjälp av restvärmen från Microsofts storskaliga datacentraler.

Länkar:

<https://www.fortum.com/data-centres-helsinki-region>  
<https://www.fortum.com/data-centres-helsinki-region/construction-fortums-heat-pump-plant-has-started-microsofts-data-centre-site-kirkkonummi>  
<https://www.datacenterdynamics.com/en/news/fortum-begins-construction-at-finnish-heat-pump-plant-will-use-microsoft-data-center-waste-heat/>

#### 8.9.11 Föreslaget: Prime, Sæby, Danmark

Primes danska datacentercampus planeras att få tre hyperstora datacentraler. Detta var den mest hållbara Prime-utvecklingen under 2023 med 100 % förnybar energi, ett koldioxidneutralt campus, värmeåtervinning för fjärrvärme och biobränsle drivena generatorer. Restvärmen kommer att återvinnas och användas för att tillhandahålla fjärrvärme från Sæby Värmeverk till det lokala samhället. De tre datacentralerna kan tillsammans uppgå till en elanvändning på 124 MW. Driftsättningsåret har inte kommunicerats.

Länkar:

<https://primedatacenters.com/denmark-data-center/>  
<https://datacentre.solutions/news/64883/prime-enters-denmark-with-124-megawatt-data-centre-campus>  
<https://primedatacenters.com/blog/prime-enters-denmark-with-124-megawatt-data-center-campus-that-delivers-a-net-positive-environmental-impact/>

### 8.10 KVK – VATTENKYLDA DATACENTRALER

Som nämndes i föregående avsnitt (avsnitt 8.9) finns två primära metoder för att ta bort värmen som genereras i datacentraler: luftkylning och vätskekylning. Liksom i det förra avsnittet är det möjligt att fånga upp restvärmen och använda den med vätskekylsystem. När det gäller vätskekylning, eftersom de kyler utrustningen direkt med vattenkretsar, är temperaturerna vid vilka restvärmen kan återvinnas förhöjda, och faller vanligtvis inom intervallet 50°C - 60°C. Detta gör det enklare att direkt överföra värmen till lågtempererade fjärrvärmesystem.

Referens: (Persson et al., 2022)

#### 8.10.1 2020: ASETEK, Ålborg, Danmark

Ålborg Forsyning har ingått ett avtal om att köpa restvärme från teknikföretaget Aseteks datacenter för värmeåtervinning till kommunens stora fjärrvärmenät. Detta initiativ har en vattenkyld server som är direkt ansluten till en fjärrvärmeledning. Därmed kan 70-80 % av all el som går in i datacentrets servrar återanvändas som fjärrvärme utan behov av tillskottsvärme via värmepumpar.

Referens: (Linnebjerg Rasmussen and Voldgaard, 2021)

Länkar:

<https://www.asetek.com/press-releases/asetek-leverer-spildvarme-til-aalborgs-fjernvarmenet/>  
<https://fjernvarmen.danskfjernvarme.dk/p/magasinet-fjernvarmen/2021-08-19/a/nordjysk-datacenter-leverer-varme-direkte-til-fjernvarmenet/3045/440103/22444341>

### 8.10.2 2021: Darmstadt Technical University, Darmstadt, Tyskland

Tekniska universitetet i Darmstadt har implementerat ett nytt kylkoncept i nästa generation av sitt högpresterande datacenter. Det nya datacentret har sedan 2021 utrustats med en direkt vattenkylning som levererar värme vid en temperatur på 45°C. Denna lågtempererade restvärme uppgraderas med en värmepump och används för uppvärmning i universitetets campusrät. Den återvunna värmen matas in i returledningen till det lokala fjärrvärmenätet vid detta universitet.

References: (Oltmanns et al., 2020) och (Feike et al., 2021)

## 8.11 KVK – BATTERIFABRIKER

Att tillverka battericeller för fordon kräver betydande mängder el. Det mesta av denna elanvändning omvandlas till restvärme med låg temperatur som ofta lämnar tillverkningsplatsen i ett vattenflöde som har ett kylande syfte. Denna restvärme kan också överföras utanför batterifabriken, såsom ett fjärrvärmesystem om den är ansluten till ett sådant nät. Nedan presenteras fyra svenska fall rörande planerade batterifabriker och deras planering avseende värmeåtervinning.

Utanför Sverige finns omfattande planer för många stora batterifabriker. Enligt en undersökning gjord av tekniktidskriften Ny Teknik fanns 2023 planer i Europa för implementering med en total årlig batterilagringskapacitet på nästan 900 GWh. De mest omfattande planerna fanns i Norge (165 GWh/år), Spanien (132 GWh/år), Polen (127 GWh/år) och Frankrike (124 GWh/år).

Referenser: (Emilsson and Dahllöf, 2019) and (Bielewski et al., 2022).

Länk:

<https://www.nyteknik.se/elbilar/kartlaggning-har-ar-batterifabrikerna-som-ar-pa-gang-i-europa/4185757>

### 8.11.1 Planerat: Volvo och Northvolt, Göteborg, Sverige

Volvo och Northvolt planerar att tillsammans investera i sin NOVO-batterifabrik i Torslanda, Göteborg. Byggnationen påbörjades i slutet av 2023. Fabriken ska bygga litiumjonbatterier till Volvos elbilar. Det kalla rena avloppsvattnet som lämnar de stora värmepumparna i Rya reningsverk kommer att användas som kylresurs för batterianläggningen. Genom att återföra det uppvärmda vattnet till reningsverket kan restvärmen som genereras under tillverkningsprocessen ge fjärrvärme.

Länk:

<https://www.dn.se/ekonomi/goteborgs-losning-jattefabriken-ska-kylas-med-avloppsvatten/>

### 8.11.2 Föreslaget: Northvolt, Skellefteå, Sverige

Northvolt och Skellefteå Kraft ska tillsammans ta fram en ömsesidigt fördelaktig lösning för fjärrvärme kopplat till den storskaliga batterifabrik som Northvolt bygger i Skellefteå. Avsedd årlig lagringskapacitet för batterifabriken är 40 GWh.

Produktionsprocessen av battericeller är energikrävande och Skellefteå Kraft kommer att kunna återanvända restvärme från fabriken, vilket blir viktigt både miljömässigt och ekonomiskt. Pressmeddelandet om samarbetet mellan Northvolt och Skellefteå Kraft innehåller följande två meningar: *“Northvolt and Skellefteå Kraft will work together to develop a mutually beneficial solution for district heating connected to the large-scale battery factory that Northvolt is building. The production process of battery cells is energy intensive and Skellefteå Kraft will be able to reuse excess heat from the factory, which will be important both from an environmental and economical point of view”*. Enligt Nordiska Investeringsbanken håller Northvolt på att verifiera möjligheten för inmatning av restvärme från anläggningen till fjärrvärmesystemet.

Länkar:

<https://northvolt.com/articles/skellefteaa-kraft-and-northvolt-in-strategic-partnership-to-develop-sustainable-energy-solutions/>  
<https://www.nib.int/loan/northvolt-ett-ab-22746>

### 8.11.3 Föreslaget: Northvolt, Borlänge, Sverige

Northvolt och Stora Enso har undertecknat en avsiktsförklaring om köp av Kvarnsvedens Bruk och det omgivande industriområdet i Borlänge. Northvolt kommer att utveckla platsen till en tillverkningsanläggning för aktivt material och battericeller. Batterifabriken var från början planerad att starta den första delen av sin verksamhet i slutet av 2024, men har nu skjutits upp med minst två år. Helt utbyggd kommer anläggningen att ha en potentiell årlig produktionskapacitet på mer än 100 GWh katodmaterial, vilket kommer att möjliggöra cellmontage vid flera Northvolt-anläggningar. Sajten kommer också att innehålla cellproduktion. Det har inte kommunicerats om restvärmen från denna batterifabrik kommer att återvinnas.

Länkar:

<https://northvolt.com/articles/northvolt-to-transform-closed-paper-mill-in-sweden-into-new-gigafactory/>  
<https://www.dn.se/ekonomi/northvolt-miljardsatsar-i-borlange/>

### 8.11.4 Föreslaget: Volvo, Mariestad, Sverige

Volvos omfattande lokaliseringsstudie har kommit fram till beslutet att Mariestads kommun, belägen nära Volvokoncernens nuvarande drivlinefabrik i Skövde, kommer att vara den bästa platsen för en batterifabrik. Den planerade platsen kommer att dra nytta av regionens industri- och logistikinfrastruktur samtidigt som den får tillgång till Sveriges rika fossilfria elförsörjning.

Enligt remissunderlaget för miljötillståndet för anläggningen blir det årliga elbehovet 2,3 TWh med en dimensionerande kapacitet på 420 MW. Kylkapaciteten

beräknas uppgå till cirka 230 MW, där restvärmen initialt kommer att kylas bort till Väneren. En del värme kan dock komma att återvinnas i framtiden.

Länkar:

<https://www.volvogroup.com/en/news-and-media/news/2022/aug/volvo-group-starts-process-to-establish-plant-for-battery-production.html>

<https://www.volvogroup.com/se/about-us/Mariestad.html>

<https://www.nyteknik.se/fordon/sa-stor-blir-volvos-batterifabrik-i-mariestad/4224679>

## 8.12 KVK – LIVSMEDELSFÖRSÖRJNING

Kylprocesser i hushåll producerar värme, om än i små mängder. På samma sätt genererar kyl- och frysprocesser i livsmedelsförsörjningen också restvärme. I moderna stormarknader utrustade med ett stort antal kylar och frysar är mängden värme som genereras betydande. Denna restvärme kan effektivt utnyttjas för att värma upp hela stormarknader och uppfylla dess varmvattenbehov. Eventuellt överskott kan ledas in i ett fjärrvärmesystem.

References: (Rolfman et al., 2014), (Zühlsdorf et al., 2018), (CLEAN, 2019), (Heerup, 2019), och (Dorotić et al., 2022).

### 8.12.1 2015: Super Brugsen, Sønderborg, Danmark

Sedan 2015 har restvärme från kylarna på stormarknaden SuperBrugsen i den danska staden Sønderborg levererats till det lokala fjärrvärmeföretaget. Efter en tidigare brandincident installerades ett helt nytt kylsystem i samarbete med Danfoss. Värmeåtervinningen från kylsystemet kan förse hela butiken med uppvärmning och varmvatten. Kylsystemet har koldioxid som köldmedium. Härigenom höjs temperaturerna jämfört med traditionella kylsystem och restvärmen kan utnyttjas direkt i fjärrvärmenätet. Det finns därför inget behov av ytterligare värmepumpar för att höja temperaturen. En 1,8 m<sup>3</sup> varmvattentank med en referenstemperatur på 65°C har installerats för att komplettera kylsystemet. Koldioxidutsläppen minskade med 34 % genom att utnyttja restvärmen från kylsystemet jämfört med det tidigare gasbaserade värmesystemet för stormarknaden.

Länk:

<https://celsiuscity.eu/wp-content/uploads/2019/11/Energy-optimization-in-a-supermarket-in-H%C3%B8ruphav.pdf>

### 8.12.2 2022: Meny, Frederica, Danmark

Danfoss har installerat en värmeåtervinning i en butik i stormarknadskedjan Meny i Frederica. Sedan början av 2022 har systemet återvunnit värmen som genereras av butikens kyl- och frysanläggningar för att värma butikens 1 900 m<sup>2</sup> stora yta och ge gott om tappvarmvatten året runt. Resultatet blev en minskning av den årliga energianvändningen med 90 % och koldioxidavtrycket med 6,7 ton per år.

Länk:

<https://assets.danfoss.com/documents/latest/197224/AE406240476781en-000101.pdf>



### 8.13 AVLOPPSRENINGSVERK

Renat avloppsvatten kan betraktas som en förnybar och lokalt tillgänglig lågtempererad värmekälla. Renat avloppsvatten innehåller värme som vanligtvis är varmare än både luft och havsvatten. I tätorter leds cirka en tredjedel av den levererade värmen ut i avloppssystemet som restvärme. Det har uppskattats att den dagliga mängden avloppsvatten per person som levereras till avloppssystemet står för 85 % av det totala dagliga vattenbehovet.

Avloppsvatten uppvisar små fluktuationer i flöden och temperatur under hela året. På grund av sin höga värmekapacitet och densitet är avloppsvatten en lämplig värmekälla för användning i stora värmepumpar. Värmepumpar installerade vid avloppsreningsverk kan effektivt utvinna värme från avloppsvattnet, vilket ger en relativt jämn värmeförsörjning. Jämfört med industriell restvärme har avloppsvärme inte lika stor risk för avveckling på lång sikt. Trots dessa fördelar förblir avloppsvärme i stort sett globalt outnyttjad.

Värme från avloppsvatten utgjorde Sveriges största andel av installerad värmepumpskapacitet i fjärrvärmesystem, följt av omgivande vatten och industriell restvärme. När det gäller den totala installerade kapaciteten på 1527 MW under 2013 kom 47 % (mer än 700 MW) från avloppsvatten.

Referenser: (Averfalk et al., 2017) and (Živković and Ivezić, 2022).

#### 8.13.1 2017: Kalundborg Forsyning, Kalundborg, Danmark

2017 togs en 10 MW elektrisk värmepumpsanläggning i drift i Kalundborg, som använder värme från avloppsvatten för att generera fjärrvärme. Då var det den största installationen av en värmepump i Danmark. Värmepumpsanläggningen består av tre 3,3 MW värmepumpar och utgående värmeeffekt styrs genom att de tre värmepumpsenheterna slås på och av. Värmepumparna använder värme från det närliggande avloppsreningsverket som har en utgående temperatur över genomsnittet på grund av en lokal industri. Avloppsvatten med en temperatur mellan 20 och 25°C återvinns i värmepumpen och kyls till cirka 10°C. Returvattnet från fjärrvärmenätet värms upp från ca 55°C till 80°C (potentiellt upp till 86°C).

Länk:

<https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2018/12/annex-47sub-projetcskalundborgwastewater.pdf>

#### 8.13.2 2018: Sjölunda, Malmö, Sverige

Med GEA:s energieffektiva värmepumpar ansågs ett avloppsreningsverk vara den bästa värmekällan för uppvärmning av bostäder i ett innovativt tillvägagångssätt för att omvandla restvärme till användbar värme i Malmö. E.ON beslutade att GEA:s ammoniakvärmepumpar var idealiska för fjärrvärme i södra Sverige, tillsammans med biomassa och andra förnybara tekniker för att minska utsläppen av växthusgaser från uppvärmning. Med en värmekapacitet på 10 MW vardera installerades fyra värmepumpsaggregat intill avloppsreningsverket och den lokala avfallsförbränningsanläggningen i Malmös hamnområde, där de togs i drift i

januari 2018. Dessa värmepumpar står för 8 % av den totala värmeförsörjningen till cirka 100 000 bostäder.

Referens: (De Jong, 2018)

Länkar:

<https://www.vvsforum.se/2016/05/energijatte-gor-fjarrvarme-av-avloppsvatten/>  
<https://www.gea.com/en/news/trade-press/2021/gea-heat-pumps-at-e-on-malmoe.jsp>

### 8.13.3 2019: Kakolabacken, Åbo, Finland

År 2019 samarbetade kommunerna i Åboregionen i Finland för att bygga en ny anläggning för rening av avloppsvattnet från områdets 300 000 invånare. Avloppsvatten som värmekälla är gratis, stabilt, förutsägbart och naturligt placerat nära värmeanvändarna. När det gäller Åbo byggdes reningsverket i Kakolabacken under jord i staden. I anläggningen ingår två 21 MW värmepumpar som hämtar värme från det reade avloppsvattnet och matar in 85°C vatten till fjärrvärmenätet. Det befintliga lågtemperaturnätet gör att värmen kan användas utan vidare uppgradering. Värmepumpsanläggningen producerar 302 GWh värme per år – tillräckligt för 24 000 invånare, eller 8 % av invånarna i området där avloppsvattnet hämtas. Värmen har till stor del ersatt olja och kol, vilket beräknas ha minskat de årliga utsläppen med 80 000 ton koldioxid. Värmepumparna genererar även fjärrkyla.

Det nya reningsverket har också medfört andra fördelar i Åbo. Den förbättrade vattenreningen har minskat näringsbelastningen på det känsliga havets ekosystem i närheten. De återvunna gödselmedlen som produceras från avloppsslam minskar behovet av ny gödselproduktion, ökar tillgängligheten för det begränsade utbudet av utvunnen fosfor och undviker utsläpp från produktion av ammoniak och salpetersyra, två viktiga insatser för kvävebaserat gödsel.

Länkar:

<https://www.sitra.fi/en/cases/district-heating-from-waste-water-turku/>  
[https://www.friotherm.com/wp-content/uploads/2017/11/E11-15\\_Turku-Energia.pdf](https://www.friotherm.com/wp-content/uploads/2017/11/E11-15_Turku-Energia.pdf)

### 8.13.4 2020: Grand Arenas, Nice, Frankrike

I den franska staden Nice finns ett system för återvinning av restvärme som använder ett fjärrvärmenät med låg temperatur som hämtar restvärmen vid utflödet från ett avloppsreningsverk (sommar: 25-30°C och vinter: 13-8° C). Vattnet distribueras sedan till byggnadernas fjärrvärmecentraler som är utrustade med reversibla värmepumpar för att tillhandahålla nödvändig värme, kyla och sanitärt varmvatten till slutanvändarna (19 MW värme, 15 MW kyla). Detta återvinningssystem från reat avloppsvatten togs i drift 2020.

Länk:

<https://www.reuseheat.eu/wp-content/uploads/2018/10/D3.1-Best-practices.pdf>

### 8.13.5 2020: Ejby Mølle, Odense, Danmark

Fjernvarme Fyns nyaste värmepumpsanläggning använder värme från det renade avloppsvattnet vid reningsverket Ejby Mølle i Odense. Vattentemperaturen är 7-21°C medan framtemperaturen för fjärrvärme är 60-69°C. De stora eldrivna värmepumparna, med en total effekt på 19 MW, kan producera 59 GWh värme årligen, vilket täcker cirka 5 000 hushålls värmeanvändning. Det motsvarar 5 % av Fjernvarme Fyns årliga värmeförsörjning. Projektet gynnar även den mottagande åns djur och mikroorganismer. Det beror på att det renade avloppsvattnet avger en del av sin restvärme till fjärrvärmeförsörjningen innan det återförs till naturen.

Länk:

<https://www.fjernvarmefyn.dk/nyheder/danmarks-stoerste-varmepumpeanlaeg-baseret-paa-renset-spildevand-leverer-nu-groen-fjernvarme-i-odense>

### 8.13.6 2022: National Western Center, Denver, USA

National Western Center (NWC) i Denver fick hjälp i sitt mål att deras campusområde ska uppnå netto nollenergi genom att utnyttja restvärme från ett närliggande avlopp. Värmeåtervinningen från detta avlopp är kärnan i energilösningen eftersom det med 3,8 MW är Nordamerikas största system för återvinning av restvärme från avloppsvatten. Delgany-avloppet har potential att klara över 90 % av värmebehovet. Det krävde dock ett radikalt förslag att omdirigera en del av den orenade avloppsströmmen som rinner genom platsen och fånga upp värmen för att försörja en omgivande, campusomfattande distributionsslinga. Detta fjärrvärmesystem togs i drift i april 2022 och minskar den primära energianvändningen för campusområdet.

Länkar:

<https://www.usengineering.com/2023/02/national-western-center-features-largest-sewer-heat-recovery-system-in-north-america/>

<https://nationalwesterncenter.com/about/what-is-the-nwc/sustainability-regen/energy/>

<https://www.districtenergy.org/events/event-description?CalendarEventKey=94cc0201-7deb-4aa7-a162-018ad3261095&Home=%2Fevents%2Fevent-description>

### 8.13.7 2023: De Stichtse Rijnlanden, Utrecht, Nederländerna

År 2022 fick bygget av den största värmepumpen i Nederländerna det officiella klartecknet. Pumpen är en del av en fjärrvärmelösning som kommer att producera hållbar värme för kommunerna Utrecht och Nieuwegein. Värmepumpen kommer att placeras på platsen för Utrechts avloppsreningsverk vid vattenstyrelsen för De Stichtse Rijnlanden. Om bygget fortskrider väl kommer installationen att bilda en ny hållbar värmekälla i slutet av 2023 med en effekt på 27 MW värme.

Cirka 65 000 kubikmeter avloppsvatten renas dagligen. Avloppsvattnet som kommer in i reningsverket är relativt varmt. Med denna installation kommer värmen inte längre att försvinna bort utan temperaturen på det renade vattnet kommer att användas för fjärrvärmenätet. En värmeväxlare och värmepumpen

kommer att få värmenätstvattnet till en hög temperatur på 75°C. Detta vatten kommer sedan att tillföras värmenätet.

När anläggningen är färdig kommer installationen årligen att leverera 162 GWh värme till fjärrvärmenätet. Detta kommer att räcka för att förse cirka 20 000 bostäder med hållbar värme, vilket motsvarar cirka 15 % av det totala värmebehovet för fjärrvärmenäten i Utrecht och Nieuwegein.

Länk:

<https://news.eneco.com/start-of-construction-of-largest-heat-pump-in-the-netherlands/>

#### **8.14 SUMMERING AV 13 MÖJLIGHETER OM VÄRMEÅTERVINNING**

Den huvudsakliga slutsatsen från detta kapitel är att många olika alternativ för värmeåtervinning har identifierats från nya aktiviteter, såsom raffinaderier för icke-fossila transportbränslen, vätgasförsörjning och dess användning, petrokemiska processer, elektriska transformatorer, nya industriella processer, restvärme från kylprocesser samt reningsverk för avloppsvatten. Både hög- och lågtempererade värmekällor förekommer, där lågtemperaturkällor kräver värmepumpar för att nå lämpliga temperaturer som förväntas i fjärrvärmesystem och kunders värmesystem. Men många av fallen ger stora volymer av restvärme, vilket kräver att stora städer absorberar dessa stora volymer.

Nuvarande koldioxidutsläpp från fjärrvärmesystem och dess potentiella kunder kan minska avsevärt genom att implementera dessa 13 möjligheter avseende värmeåtervinning, vilket stöds av de 72 fallen som bevis.

Bedömningen är att varje fjärrvärmeleverantör bör överväga dessa möjligheter till värmeåtervinning när de letar efter lokalt tillgängliga alternativ för fossilfri fjärrvärme.

## 9 Värmetillförsel för spetsbehov

Att tillgodose spetsbehov är den mest utmanande aspekten av ett värmeförsörjningssystem ur både ekonomisk och miljömässig synvinkel. Ty det behövs en extra kapacitet som inte kommer att vara i drift under vår, sommar och höst utan bara under vissa kalla perioder under vintern. På grund av denna starkt partiella användning har enkla oljepannor traditionellt sett varit de primära källorna för att möta vinterns spetsbehov. Men för att uppnå en koldioxidneutral ekonomi är det viktigt att även eliminera koldioxidutsläppen för dessa spetsbehov.

Detta kapitel behandlar tre möjligheter som är relevanta för värmeförsörjning under perioder med mycket hög efterfrågan på värme. Den första möjligheten handlar om värmeproduktionsenheter som drivs med icke-fossila råvaror. Den andra möjligheten beskriver möjligheten att möta spetsbehoven med stora värmelager. Den sista möjligheten presenterar olika styrningar av efterfrågan genom att spetsbehov minskar eller att en rättvis fördelning av värmeförsörjningsunderskott genomförs. Platserna för alla identifierade fall visas i Figur 21.

Referenser: (WSP, 2022), (Energistyrelsen, 2022)

Länk:

<https://celsiocity.eu/strategies-for-decreasing-peak-loads-and-energy-use/>



Figur 21. Karta som visar platserna för identifierade fall i databasen angående värmetillförsel för spetsbehov.

## 9.1 PANNOR MED FOSSILFRIA BRÄNSLEN

Fossila spetspannor har traditionellt använts när ordinarie värmeförsörjning får driftstörningar eller när vädret är extra kallt så att ytterligare värmebehov uppstår. Två huvudsakliga förnybara bränslealternativ är nu träpellets och bioolja.

Pellets möter hinder främst i form av höga investeringskostnader och betydande utrymmesbehov för nödvändiga anläggningar. Bioolja, å andra sidan, möter utmaningar relaterade till begränsad tillgänglighet, eftersom de råvaror som producerar bioolja med låga utsläpp av växthusgaser redan används, med konkurrens från transportsektorn om dessa resurser. Eftersom träpellets är ett fast bränsle är det ett spetslastbränsle som inte direkt konkurrerar med transportsektorn. Detta kan vara en strategisk fördel för fjärrvärmeföretag som investerar i pellets.

För att öka säkerheten för värmeleveransen kan åtgärder vidtas såsom diversifiering av teknologier och bränslen, fördelning av produktionskapacitet över flera enheter och strategisk lokalisering av reservlastkapacitet. Dessa åtgärder bidrar till att säkerställa en tillförlitlig värmeförsörjning för kundernas spetsbehov.

Referenser: (WSP, 2022), (Energistyrelsen, 2022)

### 9.1.1 2020: Navirum, Norrköping, Sverige

2020 invigde Navirum en ny spetslastpanna med 70 MW kapacitet i Ingelstaområdet. Den nya pannan ska drivas om andra tillförselanläggningar i Norrköping inte kan leverera mer värme. Drifttiden beräknas till 300-500 timmar per år, vilket leder till en minskning av de fossila koldioxidutsläppen med 7 500 ton per år. Anläggningen är även förberedd för att använda träpulver.

Länk:

<https://bioenergitidningen.se/allt-om-norrkopings-nya-topp-och-reservpanna-for-bioolja/>

### 9.1.2 2022: Göteborg Energi, Göteborg, Sverige

Göteborg Energi har börjat att byta ut sina fossila spetspannor mot fyra nya enheter, med förädlad biomassa som bränsle. Den totala kapaciteten för de nya enheterna kommer att vara cirka 300 MW. Som den första i serien är upprustningen av den tidigare spetsanläggningen Rya klar och driften påbörjades 2022. Denna anläggning har en kapacitet på 125 MW. De övriga tre anläggningarna, med en total kapacitet på 140-180 MW, kommer att finnas i Mölndal, Sävenäs och Sörred. Driftsättningsåren för dessa träpelletsanläggningar förväntas vara 2025, 2026 respektive 2027.

Länkar:

<https://www.valmet.com/sv/media/nyheter/press-releases/2020/valmet-bygger-hetvattenpanna-till-goteborg-energi/>

<https://bioenergitidningen.se/biobransleanlaggningarna-som-goteborg-energi-vill-bygga/>

### 9.1.3 2023: Navirum, Örebro, Sverige

För att klara målet att endast sälja förnybar eller återvunnen värme 2025 har Navirum under 2022 initierat och under 2023 gått över från fossil olja till bioolja i en stor topplastpanna (130 MW) i Örebro.

Länk:

<https://bioenergitidningen.se/e-on-i-orebro-fran-fossil-till-fornybar-olja/>

## 9.2 STORA VÄRMELAGER

Värmelagring är en mångsidig lösning som kan användas för kapa spetsbehov genom förskjutning i tiden, som tidigare har beskrivits i kapitel 5. Lagret möjliggör användning av värme som tidigare har genererats under låglast, vilket gör att den kan användas effektivt under höglastperioder. Härigenom kan värmelagren minska det traditionella utnyttjandet av fossilbränsleeldade pannor för att möta extra spetsbehov under kalla dagar.

Denna möjlighet till koldioxidfri fjärrvärme exemplifieras av tre fall där stora värmelager finns i Sverige.

### 9.2.1 1983: Vattenfall, Storvreta, Sverige

Detta stora bergrumslager, som tidigare beskrivits i fallet 5.6.2, har en anmärkningsvärd storlek jämfört med den årliga värmeförsörjningen i det lokala fjärrvärmesystemet i Storvreta. Storleken på 100 000 m<sup>3</sup> och en årlig värmeleverans på 14 GWh värme ger en relativ lagringsstorlek på 2000 m<sup>3</sup>/TJ. Denna relativa lagerstorlek är mer omfattande än alla stora värmelager som identifieras i referensen nedan, även de stora värmelagren för solfjärrvärme i Danmark. Det ska vara möjligt i detta fjärrvärmesystem att ta alla säsongsmässiga lastvariationer med värmelagret och köra biomassapannan på konstant last under hela året. För detta ändamål bör det relativa lagret vara över 1500 m<sup>3</sup>/TJ enligt referensen nedan.

Referens: (Gadd and Werner, 2021)

### 9.2.2 2018: Adven, Hudiksvall, Sverige

Adven är mycket nöjd med resultatet av investeringen i att uppgradera ett gammalt oljelager till värmelager, som tidigare beskrivits i fallet 5.6.4. Kassaflödet från investeringen blev högre än förväntat under planeringsfasen. Detta resultat är särskilt giltigt för möjligheten att använda värmelagret för att möta spetsbelastningar under kalla dagar. Både rörliga kostnader och koldioxidutsläpp från detta ändamål har reducerats avsevärt.

Andra erhållna fördelar med det stora värmelagret har varit minskad tid för kontinuerlig driftövervakning, enklare underhållsuppehåll samtidigt som värmelagret kan ta hela ansvaret för värmeförsörjningen och inga problem med sommarvärmeförsörjning under minimikapaciteten i kraftvärmeverket.

Referens: Personlig kommunikation med Adven



Länkar:

<https://adven.com/se/fjarrvarme/hudiksvall/>  
<https://energiforsk.se/media/27147/bergrumslagret-i-hudiksvall.pdf>  
<https://www.energi.se/artiklar/har-samlas-fjarrvarme-under-berget/>

### 9.2.3 Planerad: Mälarenergi, Västerås, Sverige

Detta värmelager, som tidigare beskrivits i fallet 5.6.7, kommer att ha en värmeeffekt på upp till 90 MW. Varmvattenmagasinet gör att Mälarenergi kan värma bostäder under kalla vinterdagar när värmebehovet är högt, utan att minska elproduktionen vid kraftvärmeverket, vilket gjordes tidigare. Härigenom kan värmelagret minska efterfrågan på spetskapacitet från fossila pannor och generera mer el samtidigt. Dessa fördelar kommer att ge betydande kassaflöde från denna investering i värmelagring.

Länkar:

<https://www.nyteknik.se/premium/kraftvarmen-den-dolda-raddaren-i-elsystemet-7037976>  
<https://www.energi-miljo.se/har-byggs-europas-storsta-hetvattenlager/>  
<https://www.bbc.com/news/business-65098792>

## 9.3 ALLOKERING AV VÄRMEUNDESKOTT

Varje fjärrvärmeleverantör saknar direkt kontroll över värmebehoven i systemet, eftersom kunderna utför regleringen av värmebehoven. Traditionella optimeringsinsatser är begränsade till att bara svara på värmebehovet när det uppstår. Men genom att implementera ett smart termiskt nät blir det möjligt att aktivt hantera och reglera värmebehoven i stället för att bara passivt reagera på dem. Intelligent fjärrvärme erbjuder ett ekonomiskt och tekniskt hållbart mjukvarualternativ, eller till och med ett potentiellt substitut, för konventionella försörjningslösningar som spetspannor och stora värmelager. Detta tillvägagångssätt underlättar en förskjutning från ett helt konsumentcentrerat perspektiv i regleringen av värmebehovet, genom att även beakta värmeförsörjningskostnader i regleringen av värmebehoven. Härigenom kan mindre kostsamma mjukvaruinvesteringar ersätta dyrare hårdvaruinvesteringar i spetspannor och värmelager.

Genom att implementera aktiva efterfrågesvar och strategier för hantering av efterfrågesidan kan en nätoperatör få förmågan att aktivt reglera efterfrågan med bibehållen hög servicekvalitet. Härigenom kommer dessa behovsrelaterade aktiviteter att aktivera den värme som finns lagrad i byggnadsmassorna, som tidigare beskrivits i avsnitt 5.8.

Denna nivå av efterfrågekontroll gör det möjligt för operatören att optimera systemets operativa beteende, vilket resulterar i flera fördelar. Dessa inkluderar minskningen av kostsamma toppar i värmebehoven, mer effektiv balansering av baslaster, anpassning av efterfrågan till marknadens eller marginella produktionspriser och aktiv sänkning av returtemperaturerna. De två primära syftena med sådana styrmekanismer är värmelastbortfall, vilket innebär att

selektivt reducera eller ta bort laster under perioder med hög efterfrågan, och lastförflyttning, vilket innebär att tidpunkten för värmeanvändningen ändras för att optimera systemets effektivitet.

Efterfrågestyrning kan implementeras genom både direkta och indirekta tillvägagångssätt. Ett indirekt tillvägagångssätt innebär att använda prissättningssystem som inkluderar differentierade energikostnader baserat på den aktuella värmebelastningsanvändningen. Utmaningen med indirekta tillvägagångssätt är att konsumenter vanligtvis saknar medel att agera tills det är för sent, även om de är medvetna om prisdynamiken.

Smart hantering av efterfrågesidan innebär å andra sidan att värmeleverantören inom vissa gränser har möjlighet att direkt styra värmeleveranserna på distans. Detta direkta tillvägagångssätt möjliggör mer exakt och omedelbar kontroll över efterfrågan, vilket kan vara fördelaktigt. Att implementera direkta tillvägagångssätt kan dock vara mer utmanande eftersom de ofta kräver investeringar i hårdvaruinfrastruktur och utveckling av avancerade mjukvarusystem. Att ha en hög kontrollnivå som uppnåtts av efterfrågestyrningssystem möjliggör rättvis fördelning av eventuella underskott i värmeförsörjning mellan kunderna när det oundvikligen inträffar.

Referens: (Johansson, 2014)

### 9.3.1 1990: Borås Energi & Miljö, Borås, Sverige

Borås Energi & Miljö introducerade 1990 ett utvecklat debiteringssystem för kunderna med de högsta värmebehoven (flerbostadshus och lokaler). Den baserades på den maximala flödeskapacitet som krävdes av kunderna under året. Den abonnerade flödeskapaciteten styrs av en flödesbegränsare. Om det abonnerade flödet överskrider reduceras flödet till radiatorsystemet, vilket medför att flödet för varmvattenberedning blir obegränsat.

Den tekniska delen av detta debiteringssystem kan även användas för allokering av tillfälliga värmeunderskott, genom att förse nätet med lägre framledningstemperaturer i värmedistributionsnätet. Denna tekniska lösning kräver endast en mindre installation i varje fjärrvärmecentral utan störningar på den ordinarie värmebehovsstyrningen hos kunderna.

Referens: (Werner, 1992)

### 9.3.2 2012: NODA och Karlshamn Energi, Karlshamn, Sverige

Karlshamn Energi har kopplat in ett 90-tal byggnader för att reglera efterfrågan genom NODA Heat Network i sitt fjärrvärmesystem. Byggnaderna används som virtuellt lager som Karlshamn Energi kan aktivera från sitt kontrollrum. Denna extra flexibilitet används för att minska toppbelastningar under kalla vinterdagar eller för att minska den allmänna värmeanvändningen under underhållsstopp i närliggande industri som levererar restvärme som baslast. De anslutna byggnaderna står för cirka 15-20 % av det totala årliga värmebehovet på närmare 200 GWh.

Referens: (Johansson, 2015)

Länkar:

<https://noda.se/en/offerings/energy-systems/functions-noda-network/>  
<https://noda.se/en/references/karlshamn-energi/>  
<https://smartcitysweden.com/best-practice/430/the-intelligent-district-heating-system-makes-use-of-ai/>

### 9.3.3 2018: Ngenic och Jämtkraft, Åre, Sverige

Jämtkraft har digitaliserat sitt fjärrvärmesät i Åre. Genom att använda digital teknik minskar uppvärmningen tillfälligt när alla skidturister samtidigt tar sina varmvattenduschar.

Länkar:

<https://www.nyteknik.se/nyheter/sa-kan-skidakare-duscha-varmt-och-anda-spara-energi/1871586>  
<https://termoinnovation.se/wp-content/uploads/2023/09/45965-1-slutrapport-pdf.pdf>

### 9.3.4 2021: Stockholm Exergi, Stockholm, Sverige

Som tidigare nämnts i avsnitt 3.4.2 har Stockholm Exergi installerat gateways, som är dataenheter kopplade till fastighetens fjärrvärmecentraler, vilket gör att fjärrvärmesystemet kan uppnå högre intelligens, effektivitet och motståndskraft vid betydande störningar. Dessa gateways underlättar automatiserad insamling av data om kundernas värmeanvändning, vilket gör den lättillgänglig för analys. Fastighetsägare kan även använda denna digitala plattform för att intelligent styra och optimera sin värmeanvändning. Genom att utnyttja data som samlas in via dessa gateways kan Stockholm Exergi öka sin förståelse för användningsmönster och genomföra åtgärder för att optimera värmeanvändningen och förbättra systemets övergripande prestanda. Systemet kan också fördela eventuella underskott vid höga spetsbehov.

Länkar:

<https://www.stockholmexergi.se/nyheter/vad-ar-det-stockholm-exergi-installerar-i-fjarrvarmecentralerna/>  
<https://www.energi-miljo.se/installerade-gateways-utan-lov/>

## 9.4 SUMMERING AV 3 MÖJLIGHETER OM SPETSTILLFÖRSEL

Innebörden av detta kapitel är att det finns två andra möjligheter (stora värmelager och omfördelning av kunders värmebehov) till det traditionella sättet att enbart använda bränslebaserade pannor för spetslastbehov. Vissa fjärrvärmeföretag föredrar dock att fortfarande använda spetslastpannor, men med icke-fossila bränslen så som beskrivs i avsnitt 9.1.

Länken till fossilfri fjärrvärme är att pannor med fossila bränslen nästan uteslutande användes tidigare för att täcka kundernas spetsbehov. De tre identifierade möjligheterna ger alla fullständig fossilfri tillförsel för spetsbehov.

Bedömningen av hur försörjningen för spetslaster bör organiseras innehåller nu tre alternativ. Varje fjärrvärmelieferantör måste själv ta reda på den optimala fördelningen mellan de tre alternativen i sina fjärrvärmesystem.

## 10 Värdekedjans möjligheter

I detta avslutande diskussions- och sammanfattningskapitel lämnas silomentaliteten i de föregående åtta kapitlen om möjligheter till reduktioner av koldioxidutsläpp genom att fokus riktas mot sju övergripande frågeställningar som rör viktiga strategigrupper kring koldioxidutsläpp av fjärrvärmesystem:

1. Frihetsgrader för tillgängliga möjligheter
2. Temperaturnivåer tillämpade i distributionsnät
3. Värmepumpar som verktyg inom fjärrvärmesystem
4. Digitalisering som verktyg för identifiering av avvikelser
5. Leveransansvar
6. Institutionella ramar
7. Digitala planeringsmodeller

Dessa sju strategigrupper innehåller olika tvärmöjligheter för fjärrvärmens värdekedja. Dessa möjligheter bygger på erhållna resultat och de samlade erfarenheterna från tidiga initiativ till koldioxidfria fjärrvärmesystem.

### 10.1 FRIHETSGRADER FÖR TILLGÄNGLIGA MÖJLIGHETER

Denna initiala strategimöjlighet handlar om de tillgängliga alternativen och förutsättningarna för att genomföra dessa samt de möjliga strategierna för att välja lämpliga möjligheter. Frihetsgrader används här som ett uttryck för alla gällande villkor som underlättar eller begränsar valet av koldioxidreduktioner. När det är lätt att göra ett val är frihetsgraden hög. När valet är begränsat av olika anledningar är frihetsgraden låg.

Fyra olika aspekter av frihetsgrader diskuteras som möjlighetsfall: möjligheternas tillgänglighet, nya kontra befintliga byggnader, nya kontra befintliga synergier och nya kontra befintliga fjärrvärmesystem.

#### 10.1.1 Möjligheternas tillgänglighet

I det fossila energisystemet användes fossila bränslen av generiska teknologier som var tillgängliga globalt. I det typiska fjärrvärmesystemet utvanns värme från ett kraftvärmeverk. Lokala förhållanden hade liten inverkan på teknikvalet. Därför blev fjärrvärmesystem nästan en global monokultur med några mindre nationella avvikelser.

I det fossilfria samhället måste mer uppmärksamhet ägnas åt lokala förhållanden eftersom alla möjligheter inte finns överallt. Ett exempel är tillgången på geotermiska värmekällor. Från sitt läge nära en betydande spricka i jordskorpan har Island utmärkta resurser för exploatering av högt tempererad geotermisk värme, vilket gör det också möjligt att generera en hög andel el. De tillgängliga temperaturerna från stora geotermiska akviferer i Frankrike och Tyskland är lägre, men lämpar sig för fjärrvärme på många platser, såsom i Paris- och Münchenregionerna. I Finland och Sverige ger den dominerande kristallina berggrunden med låg permeabilitet mindre möjligheter för djupa geotermiprojekt.

Ett annat exempel är att den årliga solinstrålningen är högre i södra Europa än i norra Europa. Därför kommer lokala förhållanden att påverka valet av solenergi som en tillgänglig möjlighet i ett koldioxidfritt samhälle.

En viktig insikt om tillgängligheten är att effektiv koldioxidreduktion inte bara handlar om substitution av fossila bränslen i värmeförsörjningen. Fjärrvärmetekniken måste också modifieras för att göra substitutionen mer lönsam. Ett exempel är användningen av stora solfångarfält i fjärrvärmesystem. Stora årliga andelar av solvärme kan endast nås genom att använda stora säsongslager för att lagra sommarvärme för vinterns behov. Dessa stora lager kan även användas för andra ändamål, som att täcka toppbehov (avsnitt 9.2) och ta emot oväntat billig elvärme under blåsiga dagar (avsnitt 7.7). Solfångare har lägre värmeförluster när lägre temperaturer appliceras i solfångarkretsen, vilket ger drivkrafter för lägre distributionstemperaturer genom att tillämpa central sänkning av returtemperaturen med en värmepump (avsnitt 4.10) eller ta bort befintliga temperaturfel i distributionsnäten (avsnitt 3.5 och 4.9). Därför kommer ofta en mer effektiv koldioxidreduktion att erhållas genom att en grupp möjligheter stödjer varandra. Dessa implementeringar av möjlighetsgrupper dyker upp flera gånger i denna rapport, eftersom ett specifikt fjärrvärmesystem ibland förekommer som ett fall för mer än en möjlighet.

### 10.1.2 Nya kontra befintliga byggnader

Nya byggnader har lägre värmebehov än befintliga byggnader, eftersom byggbranschen under de senaste decennierna har lärt sig att konstruera och implementera nya byggnader med låga värmebehov för uppvärmning och beredning av tappvarmvatten. Befintliga byggnader kommer också att rustas upp, vilket ger lägre värmebehov som en följd.

En öppen forskningsfråga under många år har varit om koldioxidreduktioner främst ska fokusera på att minska värmebehovet i byggnaderna eller på en mer effektiv värmeförsörjning (Hummel et al., 2023). Det traditionella svaret på denna forskningsfråga har alltid varit att båda aktiviteterna ska utföras samtidigt för att nå en ny optimal balans mellan värmeförsörjning och värmebehov, (Connolly et al., 2014) och (Hansen et al., 2016). Många forskningsresultat tyder på att det totala värmebehovet i europeiska byggnader kommer att minska med cirka en procent per år, vilket ger en total minskning med cirka en tredjedel till 2050. Dessa sänkningar ger en unik möjlighet för befintliga fjärrvärmeföretag med låga eller måttliga marknadsandelar att sälja vidare frigjord kapacitet i sin infrastruktur till nya kunder.

### 10.1.3 Nya kontra befintliga synergier

Fjärrvärme handlar främst om samverkan med andra samhällsaktiviteter och processer som har restvärme som oundviklig biprodukt till sin kärnverksamhet. Genom värmeåtervinning kan synergier skapas som ger fördelar för båda parter i samarbetet. I befintliga fjärrvärmesystem tillämpas främst kraftvärmesynergier och de två avfallssynergierna kring kommunalt avfall och skogsavfall. Vissa framtida synergier har identifierats i denna möjlighetsrapport och dessa presenteras översiktligt i Tabell 3 tillsammans med de tre traditionella synergierna enligt ovan.

**Tabell 3. Synergier som skapar möjligheter för värmeförsörjning till fjärrvärmesystem. Tre inledande traditionella synergier presenteras med kursiv stil, medan övriga synergier har identifierats i denna rapport.**

<b>Möjliga synergier</b>	<b>Synergiprocesser</b>
1. Kraftvärme	<i>Restvärme från en värmekraftsprocess återvinns och tillförs ett fjärrvärmesystem.</i>
2. Avfallsförbränning	<i>Restvärme från en avfallsförbränningsanläggning återvinns och tillförs ett fjärrvärmesystem.</i>
3. Skogsavfall	<i>Skogsavfall från skogsvård och skogsindustrier förbränns som biomassa i både kraftvärme- och värmepannor, varvid erhallen värme tillförs ett fjärrvärmesystem.</i>
4. Kombinerad värmning och kylning – rumskyta	Restvärme från kylprocesser i varma byggnader återvinns med värmepumpar och tillförs ett fjärrvärmesystem.
5. Kombinerad värmning och kylning – stora elanvändare	Restvärme från koncentrerad elanvändning återvinns med eller utan värmepumpar och tillförs ett fjärrvärmesystem. Typiska exempel är matförsörjningskedjan, elektriska transformatorer, stora datacenter samt tillverkning av elektriska batterier.
6. Kombinerad värmning och kylning – stora värmeanvändare	Restvärme från koncentrerad värmeanvändning återvinns med eller utan värmepumpar och tillförs ett fjärrvärmesystem. Typiska exempel är bränsleraffinaderier och petrokemiska fabriker inom energisektorn samt materialtillverkare inom industrin.
7. Flexibel elanvändning	Värme skapas i stora elpannor eller värmepumpar när låga elpriserna är låga (på blåsiga dagar) och tillförs ett fjärrvärmesystem.
8. Vätgasförsörjning	Restvärme från tillverkning av vätgas återvinns och tillförs ett fjärrvärmesystem, ty typiska elektrolysörer skapar värmeförluster som motsvarar en fjärdedel till en tredjedel av tillförd el. Vätedrivna kraftvärmeverk kan också återvinna värme till fjärrvärmesystem.
9. Koldioxidavskiljning	Koldioxidavskiljning kan också uppfattas som en synergi, då avskild koldioxid förväntas generera en extra intäkt.
10. Avloppsvatten	Restvärme i avloppsvatten från varmvattenanvändning återvinns med en värmepump och tillförs ett fjärrvärmesystem.



Kraftvärmesynergien kommer att förlora sin dominerande ställning eftersom fossila bränslen kommer att ersättas i det globala energisystemet, varvid totalt mycket mindre bränslevolymer kommer att användas för elproduktion. Vissa länder med stora mängder avfallsbiomassa från jord- och skogsbruk kommer att ha vissa kraftvärmeverk baserade på biomassa, men de tillgängliga globala resurserna kan aldrig ersätta den nuvarande användningen av fossila bränslen i nuvarande kraftvärmeverk.

Synergien med värmeåtervinning från avfallsförbränning kommer att fortsätta till viss del, eftersom icke-återvinningsbart brännbart avfall inte kan deponeras på deponier på grund av lagbaserade deponeringsförbud som tillkommit för att brännbart och organiskt avfall inte ska ge upphov till utsläpp av klimatgasen metan.

Fjärrvärmeföretagen måste därför identifiera och tillämpa andra synergier för att upprätthålla en lämplig värmeförsörjning till sina värmedistributionsnät. Dessa synergiförändringar kommer att utmana fjärrvärmebolagens planeringsavdelningar. En alternativ strategi kan vara att inte alls tillämpa någon synergi baserad på värmeåtervinning, helt eller i viss utsträckning. Genom att tillämpa linjär värmeförsörjning med geotermi, solvärme eller omgivningsvärme kan beroendet av ett visst synergisamarbete minska.

En viktig insikt är att kraftvärmesynergien är intern inom energisektorn eftersom el och värme skapas i kraftvärmeverk. Därmed kan synergivinsten behållas inom energisektorns företag. Många av de nya synergierna handlar om samarbete med andra samhällssektorer, vilket gör det mycket viktigt att kunna dela synergivinsterna med andra sektorer. Båda parter i ett samarbete ska ju dra nytta av samarbetet. Annars är det inget samarbete.

#### 10.1.4 Nya kontra befintliga fjärrvärmesystem

En avgörande skillnad uppstår när det gäller frihetsgrader för nya och befintliga fjärrvärmesystem. Nya system har större frihetsgrader eftersom de kan utnyttja nya nätkonfigurationer för värmedistribution (enligt kapitel 4) och ny värmeförsörjning (enligt kapitel 7-9).

Befintliga fjärrvärmesystem kommer att bli offer för tekniklåsningar, eftersom de ursprungligen konstruerades för att hämta värme från tillförselanläggningar som genererade värme baserade på förbränning av bränslen. För att möta framtida marknadsvillkor måste deras ägare lära sig hur man kan erhålla lägre nättemperaturer i sina nät. En stor utmaning för befintliga fjärrvärmeföretag blir att samtidigt vara nyfiken på nya fjärrvärmelösningar och fortfarande driva befintliga traditionella fjärrvärmesystem.

En utmaning för att dimensionera nya fjärrvärmesystem kommer att vara nödvändiga anslutningar av befintliga byggnader med högre värmebehov och högre behovstemperaturer. Det blir bara nya fjärrvärmesystem för nya byggnader som får den fulla frihetsgraden i projekteringsfasen.

### 10.1.5 Summering angående frihetsgrader

Vid implementering av koldioxidfria fjärrvärmesystem måste mer uppmärksamhet ägnas lokala förhållanden eftersom alla möjligheter till koldioxidreduktion inte är tillgängliga överallt. Detta är en stor förändring från traditionella fjärrvärmesystem, där en global generisk fossilbaserad teknik kunde tillämpas överallt, såsom vid exploatering av kraftvärmesynergien.

En annan viktig slutsats när det gäller fossilfria fjärrvärmesystem är att koldioxidreduktion inte bara handlar om en direkt substitution av värmeförsörjningen. Dessa substitutionsmöjligheter bör också kombineras med indirekta möjligheter till effektivare värmeanvändning och värmedistribution. Dessa kombinationer av möjligheter att använda värme, koppla kunder, flytta värme, lagra värme och leverera värme gör hela koldioxidreduktionen mycket mer lönsam.

## 10.2 TEMPERATURNIVÅER TILLÄMPADE I DISTRIBUTIONSNÄT

Den tillämpade temperaturnivån i ett fjärrvärmesystem är en gemensam nämnare i alla fjärrvärmesystem. Kombinationer av fram- och returtemperaturer i värmedistributionsnät ska överföra värme från tillförselanläggningar till kundernas värmesystem. Härigenom har successivt lägre temperaturer tillämpats vid tillförsel av värme, förflyttning av värme och användning av värme genom att tillämpa enkel värmeöverföring i värmeväxlare eller shuntventiler.

Dessa traditionella system kallas numera för varma distributionsnät, eftersom kalla distributionsnät också används idag, enligt avsnitt 4.4 och 4.5. I dessa kalla nät används värmepumpar i fjärrvärmecentralerna för att hantera obalansen mellan låga framledningstemperaturer och tillämpade högre temperaturbehov. Den framväxande användningen av värmepumpar i fjärrvärmesystem diskuteras vidare i nästa avsnitt i detta kapitel.

Kärnan i denna möjlighet är att sammanfatta drivkrafterna för och åtgärderna för att erhålla lågtemperaturfjärrvärme (LTFV) med hänvisningar till de identifierade möjligheterna. De fem möjlighetsfallen tar upp förutsättningarna för befintliga system, de ekonomiska drivkrafterna för att erhålla lägre nättemperaturer samt tre fall rörande handlingsplaner för befintliga system, större transformationer och nya system.

### 10.2.1 Befintliga fjärrvärmesystem

I befintliga varma fjärrvärmesystem är temperaturbehoven nästan alltid lägre än distributionstemperaturerna. De kan till och med vara lika om direktanslutningar utan värmeväxlare appliceras i fjärrvärmecentralerna. Därför är det alltid ett fåtal kunder med de högsta temperaturkraven som bestämmer temperaturnivån för hela värmedistributionsnätet. Kunder med lägre behovstemperaturer har nästan ingen ekonomisk fördel i dessa system för sin lägre temperaturnivå. De får använda en hög framtemperatur, även om de klarar sig med en lägre framtemperatur.

### 10.2.2 Ekonomiska drivkrafter för lägre temperaturer

Storleken på den ekonomiska drivkraften för lägre distributionstemperaturer uttrycks med kostnadsreduktionsgradienten (KRG), som ger information om kostnadsreduktionen som erhålls för olika tillförselsätt och system när lägre nättemperaturer tillämpas vid förflyttning av värme. Värdet på denna gradient varierar mellan 0,07 och 0,7 euro per MWh levererad och °C lägre temperatur för olika värmeförsörjningstekniker, enligt den nyligen publicerade IEA-DHC TS2-rapporten (Averfalk et al., 2021). För olika system varierade de årliga KRG-uppskattningarna mellan 0,1 och 0,6 euro per MWh och °C. Därför varierar den ekonomiska drivkraften för att nå lägre temperaturer från system till system.

Mer detaljerade KRG-uppskattningar finns också tillgängliga i (Averfalk and Werner, 2020). Lägre värden erhålls från system som använder förbränningsteknik (som kraftvärmeverk), medan de högre värdena kommer från förbränningsfria tillförselsätt. Dessa uppskattningar har erhållits genom att simulera följande nio fördelar med lägre temperaturer i värmedistributionsnät:

1. **Mer geotermisk värme utvinns** från brunnar med temperaturer mellan 60°C och 100°C eftersom lägre temperaturer kan återföras till berggrunden.
2. **Mindre el som används i värmepumpar** vid uttag av värme från värmekällor med temperaturer under nättemperaturerna eftersom lägre tryck kan appliceras i värmepumparnas kondensorer.
3. **Mer restvärme som utvinns** från värmekällor med temperaturer mellan 60°C och 100°C eftersom lägre temperaturer på restvärmen kommer att avges till omgivningen.
4. **Mer värme erhålls från solfångare** eftersom deras värmeförluster blir lägre, vilket ger högre verkningsgrader för solfångarna.
5. **Mer värme som återvinns från rökgaskondensering** eftersom andelen förångat vatten (ånga) i de utsläppta rökgaserna kan minskas vid användning av biomassa med hög vattenhalt.
6. **Mer el genererad per enhet värme** som återvinns från ångkraftvärmeverk eftersom högre elutbyten erhålls med lägre ångtryck i turbinkondensorer.
7. **Högre värmelagringskapacitet** i värmelager eftersom lägre returtemperaturer kan användas i samband med högttemperatureffekter från högtemperaturvärmekällor.
8. **Lägre distributionsförluster** genom lägre temperaturskillnader mellan vattnet i distributionsrören och omgivningen.
9. **Möjlighet att använda plaströr** i stället för stålrör för att minska installationskostnaderna.

Dessa nio förmågor är de grundläggande ekonomiska drivkrafterna för alla möjligheter förknippade med lägre temperaturer i fjärrvärmenät.

### 10.2.3 Aktivitetsplaner för befintliga system

Det är möjligt att reducera de tillämpade temperaturnivåerna i befintliga system avsevärt genom att i huvudsak eliminera avvikelser och funktionsfel som orsakar temperaturfel i värmedistributionsnät, fjärrvärmecentraler och kundernas

värmesystem. Dessa avvikelser och fel finns fortfarande kvar eftersom de ekonomiska drivkrafterna från tidigare användning av kraftvärmeverk och pannor har varit ganska låga (från låga kostnadsreduktionsgradienter).

Handlingsplaner för befintliga system bör innehålla följande tre aktiviteter:

- Identifiering och eliminering av höga cirkulationsflöden i distributionsnät, enligt möjligheten i avsnitt 4.9.
- Identifiering och minskning av höga returtemperaturer från avvikelser och fel i fjärrvärmecentraler, enligt möjligheterna i avsnitt 3.5 och 3.6.
- Identifiering och eliminering av höga temperaturbehov hos kunderna, enligt möjligheterna i avsnitt 2.7 och 2.8.

Dessa tre steg är baserade på de erhållna erfarenheterna av att många nuvarande distributionsnät kan drivas med lägre temperaturnivåer, eftersom de flesta radiatorsystem kan drivas med lägre temperaturer (avsnitt 2.7) när olika felfunktioner har eliminerats.

En vanlig invändning mot slutsatsen ovan är annars att det måste krävas stora investeringar för att få lägre temperaturer genom att få in nya större radiatorer i befintliga byggnader. Denna invändning är dock inte sann. De flesta radiatorer i nuvarande byggnader har från början varit systematiskt överdimensionerade och de nuvarande värmebehoven är mycket lägre än de ursprungliga designkraven, ty energieffektiviseringar har genomförts. Därför kan lägre temperaturer tillämpas i befintliga radiatorsystem.

Slutsatsen ovan gäller även för förväntade energieffektiviseringsåtgärder i befintliga byggnader. De kommer också att sänka temperaturnivåerna i befintliga radiatorsystem och ge utrymme för att koppla in nya kunder i befintliga fjärrvärmesystem. Energieffektiviseringsåtgärder kommer således att skapa nya värden för befintliga fjärrvärmeleverantörer.

#### 10.2.4 Aktivitetsplaner för större förändringar

I några av de fall som refereras i denna rapport har stora transformationer genomförts av befintliga värmedistributionsnät. Identifierade tillämpade transformationsstrategier för tre fall diskuteras här:

Arlanda flygplats i Sverige (fall 5.1.2) introducerade 2009 ett akviferlager för att hantera lågtemperaturbehov genom ett eget kallt fjärrvärmenät. Lågtempererad restvärme samlas in under sommaren och överförs till lagret.

Högtemperaturkraven tillgodoses i ett separat nät som hämtar värme från de norra delarna av Stockholms fjärrvärmesystem. Den huvudsakliga förändringen är man eliminerade den tidigare användningen av högtemperaturvärme för lågtemperaturkrav, såsom markvärme för flygplanens transportvägar på flygplatsen.

Campussystemet för ETH Hönggerberg i Zürich (fall 8.8.1) ersätter mellan 2013 och 2026 det befintliga varma distributionsnätet med ett kallt distributionsnät. Olika grupper av byggnader renoveras och ansluts till det nya kalla nätet en efter en under dessa tretton år. Värmepumpar används i varje grupp av byggnader för

att möta högre behovstemperaturer. Kvarvarande byggnader hämtar värme från det befintliga varma nätet till dess hela transformationen är genomförd. Det varma nätet kommer att läggas ner när transformationen är genomförd.

Stanford University i Kalifornien, USA (avsnitt 4.6.4 och 8.7.4) slutförde 2015 en stor omvandling från ett gammalt ångdistributionsnät till ett nytt vattenbaserat distributionsnät. Härigenom blev införandet av synergien med kombinerad värmning och kylning mer lönsam, eftersom mindre el behövde användas i de centrala värmepumparna för temperaturlyftet från fjärrkyla till det nya fjärrvärmesystemet. Efter omvandlingen stängdes ångsystemet ned.

Slutsatsen är att den gemensamma nämnaren i dessa tre stora transformationer är att de delar upp värmefördelningen i en ny bottencykel som tar hand om lågtemperaturkraven, medan en tidigare toppcykel tar hand om högtemperaturkraven. Efter omvandlingen stängs toppcykeln antingen ned (som vid ETH och campus Stanford) eller behålls delvis för framtiden (som på Arlanda flygplats). Värmetillförseln i dessa cykler är eller kommer också att stödjas med värmelager som är lämpliga för varje temperaturnivå. Separationen av temperaturnivåerna ger lågtemperaturvärme till lågtemperaturkrav och högtemperaturvärme till högtemperaturkrav. Härmed har dessa tre stora transformationer alla en flernivåstrategi, som också är den inre kärnan i den flernivåkonfiguration som rapporteras om i avsnitt 4.3.

Erfarenheterna från dessa tre exempel ger en viktig insikt i hur man kan organisera framtida tillförselnheter till hög- och lågtemperaturanläggningar samt hög- och lågtemperaturområden. Exempel på högtemperaturbaserade anläggningar är elpannor, förbränningspannor och värmeåtervinning från högtemperaturprocesser, medan lågtemperaturanläggningar är värmepumpar, solfångare och lågtemperaturresurser. Hög- och lågtemperaturlager kan sedan kopplas till dessa två olika grupper av värmeförsörjning.

Dessa tre stora omvandlingar har också stora likheter med genomförda eller planerade omvandlingar från ångbaserad till vattenbaserad fjärrvärme, såsom har utförts i Köpenhamn, Hamburg, Salzburg och Paris.

### 10.2.5 Aktivitetsplaner för nya system

En handlingsplan för nya fjärrvärmesystem kan kort sammanfattas med följande sex enkla rekommendationer:

- Alla nya byggnader bör utformas för användning av låga radiatortemperaturer. En föregångare i detta avseende är den schweiziska normen SIA384/1:2009 som föreskriver ett målvärde på 40°C för den dimensionerande framledningstemperaturen för nya radiatorer med 50°C som absolut högsta tillåtna värde.
- Indirekta fjärrvärmecentraler bör förses med värmväxlare med långa termiska längder (minst 6) för att kunna hålla både låga framtemperaturer och låga returtemperaturer i näten.
- Välj en nätkonfiguration som gör det enkelt att använda lägre distributionstemperaturer, om värmetillförseln är påverkad av höga kostnadsreduktionskoefficienter.

- Inför reglering av nödvändiga cirkulationsflöden i distributionsnätet.
- Överväg att använda separata temperaturnivåer för områden med befintliga byggnader och nya byggnader.
- Använd hållbara värmekällor som finns lokalt tillgängliga på platsen.

#### 10.2.6 Summering angående temperaturnivåer

Den tillämpade temperaturnivån är den viktigaste gemensamma nämnaren för att använda värme, ansluta kunder, flytta värme, lagra värme och leverera värme.

Den viktigaste insikten är att det är möjligt att sänka nättemperaturerna i befintliga distributionsnät utan större investeringar, eftersom dessa lägre temperaturer kan erhållas genom eliminering av frekventa temperaturfel i distributionsnät, kundcentraler och kunders värmesystem. Lägre temperaturer ger helt enkelt lägre kostnader för värmeförsel. Dessa kostnadsreduktioner inkluderar mer effektiva värmepumpar genom högre värmefaktorer eller total eliminering av behovet av värmepumpar.

Tjugo procent av de identifierade möjligheterna i denna rapport är kopplade till nätens temperaturnivåer, särskilt hur man ska få lägre temperaturer i dem.

### 10.3 VÄRMEPUMPAR SOM VERKTYG I FJÄRRVÄRMESYSTEM

Värmepumpar kan användas i fjärrvärmesystem för att lösa situationer när kundernas temperaturbehov är högre än nättemperaturerna eller när högre verkningsgrad kan erhållas vid tillförsel, lagring eller distribution av värme genom användning av lägre temperaturer.

Ett ökat allmänt intresse för värmepumpar har visat sig vara ett viktigt verktyg för att erhålla en fossilfri global värmeförsörjning för byggnader. Nya internationella publikationer inkluderar (IEA, 2022a) and (Lyons et al., 2022), där den senare referensen skrevs inom det europeiska CETO-initiativet.

En stor värmepump kopplades till ett fjärrvärmesystem för första gången i Europa 1943 i ETH:s campussystem i Zürich (Pallua, 2021). Nyligen utgivna publikationer om stora värmepumpar i fjärrvärmesystem inkluderar (Averfalk et al., 2017), (David et al., 2017), (IEA-HPT, 2019), and (Euroheat & Power, 2022). Ett tyskt perspektiv för stora värmepumpar levereras i (Agora Energiewende and Fraunhofer IEG, 2023). Typiska avvikelser i stora värmepumpar redovisas i (Aguilera et al., 2022), medan kartläggningar av några framtida möjligheter med stora värmepumpar redovisas i (Lund and Persson, 2016) and (Persson et al., 2020b).

De två fallen för denna möjlighet beaktar värmepumparnas närvaro i de identifierade möjligheterna och alternativet med att använda värmepumpar med flexibel elanvändning.



### 10.3.1 Förekomst av värmepumpar i identifierade möjligheter

Värmepumpar förekommer i många av de identifierade möjligheterna för fossilfrihet, vilket visar att de kan agera på många olika sätt inom ett fjärrvärmesystem. Det breda utbudet av värmepumpsmöjligheter presenteras i Tabell 4 med avsnitt och fallreferenser där sjutton olika värmepumpstillämpningar finns i denna rapport. Den gemensamma nämnaren för alla dessa sjutton framträdanden av värmepumpar är att låga temperaturer hos värmekällor och i nät kan uppgraderas till högre temperaturbehov.

Tabell 4. De 17 möjligheter i denna rapport som använder värmepumpar.

Del i värdekedjan samt i vilka möjligheter som värmepumpar används	Exempel på fall som har identifierats i denna rapport
<b>Använda värme:</b> 2.5 Ångleveranser baserade på fjärrvärme	2.5.1 Olvondo 2.5.2 SPHeat
2.6 Temperaturhöjningar för att nå högre temperaturkrav	Allmän metod i kalla nät och tillfälliga metoder i varma nät för kunder som har exceptionellt höga temperaturkrav.
<b>Ansluta kunder:</b> 3.2 Lokala reduktioner av returtemperaturen för att erhålla mer effektiv värmedistribution.	3.2.1 Chifeng
<b>Flytta värme:</b> 4.10 Central reduktion av returtemperaturen för att få en kombination av mer effektiv värmelagring och mer effektiva solfångare enligt kapitel 5 och avsnitt 7.6.	4.10.1 Marstal 4.10.3 Graz
<b>Lagra värme:</b> 5 Erhålla mer värme från solfångare genom att kyla ut värmelagret till en låg temperatur under våren.	5.2.5 Brødstrup 5.5.1 Marstal 5.5.3 Gram
<b>Värmeförsörjning från linjära försörjningskedjor:</b> 7.4-7.5 Utvinna mer värme från geotermiska värmekällor.	7.4.3 Gateshead 7.5.2 Wüstenrot
7.6 Utvinna mer värme från solfångare.	7.6.1 Marstal 7.6.3 Gram 7.6.16 Graz
7.8 Utvinna värme från sjö- och havsvatten	7.8.1 Drammen 7.8.2 Esbjerg
7.9 Utvinna värme från omgivande luft	7.9.1 Svendborg 7.9.2 Silkeborg
<b>Värmeförsörjning från värmeåtervinning:</b> 8.5 Värmeåtervinning från elektriska transformatorer	8.5.1 Stockholm 8.5.2 Milan
8.7 Värmeåtervinning från central fjärrkyla	8.7.2 Stockholm 8.7.3 Helsinki 8.7.4 Stanford 8.7.5 Berlin
8.8 Värmeåtervinning från decentraliserad fjärrkyla	8.8.1 ETH Zürich 8.8.2 Saclay-universitetet i Paris
8.9 Värmeåtervinning från luftkylda datacenter	8.9.3 Odense
8.10 Värmeåtervinning från vattenkylda datacenter	8.10.1 Aalborg 8.10.2 Darmstadt
8.11 Värmeåtervinning från tillverkning av elektriska batterier	8.11.2 Göteborg
8.12 Värmeåtervinning från matförsörjning	8.12.1 Sønderborg 8.12.2 Frederica
8.13 Värmeåtervinning från avloppsvatten	8.13.1 Kalundborg



Utöver inriktningen i denna rapport kan värmepumpar även förekomma i förbränningsanläggningar för ytterligare sänkning av rökgastemperaturerna och motsvarande fukthalt (rökgaskondensorer) när fuktiga bränslen används.

### 10.3.2 Flexibilitet med värmepumpar

I varma distributionsnät kan värmepumpar drivas effektivt genom att enbart drivas vid låga elpriser. Vid höga elpriser kan värmepumpen stängas av, vilket ger driftutrymme för en annan tillförsel enhet med lägre driftskostnad. Därmed kommer värmepumpen att ändra sin position i den interna konkurrensen beroende på aktuellt elpris. Vid lägre elpriser kommer värmepumpen att öka sin konkurrenskraft i den interna körordningen. Denna driftstrategi är möjlig att tillämpa eftersom olika tillförsel enheter med olika kostnadsegenskaper (inklusive värmelager) ofta finns tillgängliga i de flesta fjärrvärmesystem.

Samma grad av flexibilitet kan inte uppnås effektivt i kalla distributionsnät med ultra-låga nättemperaturer, där decentraliserade värmepumpar alltid krävs för att möta de högre temperaturbehoven i kundernas värmesystem.

### 10.3.3 Summering angående värmepumpar

Värmepumpar förekommer i många av de identifierade möjligheterna till fossilfri fjärrvärme. Den typiska tjänsten som tillhandahålls är att förväntade högre temperaturbehov kan mötas med lägre temperaturer hos värmekällorna och i distributionsnäten. Härigenom kan värmepumpar ses som ett generellt verktyg i fjärrvärmesystem genom att tillhandahålla denna tjänst. I varma distributionsnät kan värmepumpar drivas genom att använda en flexibel driftstrategi, vilket ger lägre elkostnader genom denna högre flexibilitet. Samma frihetsgrad finns inte i kalla nät.

Ungefär en fjärdedel av alla identifierade möjligheter i denna rapport innehåller användning av värmepumpar.

## 10.4 DIGITALISERING SOM VERKTYG FÖR IDENTIFIERING AV AVVIKELSER

Många av de identifierade möjligheterna är kopplade till den pågående digitaliseringsprocessen i dagens fjärrvärmesystem. Huvudsyftet med digitalisering är att använda tillgängliga och ytterligare dataflöden för mer effektiv drift av fjärrvärmesystem närmare den yttersta gränsen vad gäller driftstabilitet. Detta är möjligt eftersom nuvarande system av tradition har drivits med breda säkerhetsmarginaler med avseende på temperaturer, tryck och flöden. Tidigare fanns det mycket få mätningar och insikter om den komplexa verkligheten i distributionsnät och fjärrvärmecentraler. De breda säkerhetsmarginalerna användes för att skydda driften från perioder av instabil drift, som orsakar förlorade värmeleveranser till anslutna kunder.

Digitaliseringen av fjärrvärmesystem har rönt stor uppmärksamhet under de senaste åren. Nya introduktioner och översikter återfinns i (Euroheat & Power, 2023b), (Dansk Fjernvarme, 2023), and (Schmidt, 2023).

Ett stort dilemma har varit att fjärrvärmebranschen har varit omogen i användningen av moderna datavetenskapliga metoder, medan IT-branschen inte riktigt har förstått och insett grundläggande fjärrvärmefunktioner och motsvarande prioriteringar. Ett exempel är att simuleringsmodeller för elsystem har felaktigt tillämpats direkt på fjärrvärmesystem, ty dessa modeller saknar alla viktiga egenskaper som termiska trögheter, beteenden, tryck, temperaturer och flöden som kännetecknar värmedistributionsnät.

Möjligheten till digitalisering exemplifieras med fyra olika fall. Först diskuteras tillgängligheten av dataflöden. För det andra sammanfattas de tidigaste åtgärderna för digitalisering. För det tredje presenteras några nya åtgärder med hänvisningar till de identifierade möjligheterna i detta projekt. Slutligen ges några förslag på lämpliga framtida digitaliseringsåtgärder.

#### 10.4.1 Tidigare och nuvarande dataflöden

Tidigare begränsade bristen på tillförlitliga dataflöden möjligheten att övervaka och analysera den verkliga driften av fjärrvärmesystem. Värmeleveranser till kunder registrerades med analoga värmemätare. De avlästes manuellt årligen eller månadsvis för manuella faktureringsprocesser. Tillämpade framtemperaturer i näten valdes enligt enkla teoretiska beräkningar. Endast ett fåtal differensstryck i distributionsnäten mättes och kommunikationen begränsades till kablar från mätpunkterna till det centrala kontrollrummet. Värmeleverantörerna visste inte vad som hände i kundernas byggnader bortanför leveransgränserna. Tidiga datorer var dyra, långsamma och få anställda hade någon datorvana.

Dataflödessituationen idag är helt annorlunda. Det är enkelt att mäta, överföra och lagra mätningar från digitaliserade värmemätare i fjärrvärmecentraler. Tillämpade temperaturer och tryck kan mätas och överföras via trådlös kommunikation. Kundernas temperaturer kan också mätas av värmeleverantören. Billigare datorer är mycket snabbare och det är lätt att lagra stora datamängder, vilket ger möjlighet att mäta med högre tidsupplösningar. Nuförtiden har yngre medarbetare utmärkta dataerfarenheter. Men det är fortfarande en rejäl brist på enkla, pålitliga och snabba metoder och verktyg förknippade med typiska fjärrvärmefunktioner.

#### 10.4.2 Tidiga aktiviteter för digitalisering

Digitaliseringen av fjärrvärme startade för mer än fyra decennier sedan med enkla digitala stödverktyg för att leverera och flytta värme. Ett tidigt mål för digitaliseringen på 1980-talet var att få en kostnadseffektiv värmeförsörjning genom att regelbundet planera ordentliga körorderlistor för tillgängliga tillförselanläggningar med olika kostnadsegenskaper. Dessa verktyg följdes av digitala rutiner för retrospektiva dagliga ekonomiska verkkningsgrader för värmeförsörjning genom att jämföra kostnader för varje dags faktiska värmeförsörjning med den mest effektiva värmeförsörjningen.

Kapacitetsuppskattningar genom att beräkna tryckfall i maskade nät med digitala simuleringsprogram introducerades också, men dessa tidiga verktyg baserades ofta på samma användningsmönster för alla kunder, vilket försummade den stora mångfalden i kundbeteenden. Digitala kartor och register över

distributionsledningarna dök upp, vilket gav möjlighet att övervaka och dokumentera de värdefulla ledningsnäten.

Digitaliseringen av värmemätaravläsningar har gett möjlighet att överföra mätningar direkt från värmemätarna till faktureringsavdelningen. Men de flesta fel i värmemätning måste ändå identifieras och lösas manuellt.

De gemensamma nämnarna för alla dessa tidiga digitaliseringsåtgärder var att manuella rutiner precis flyttat in i datorerna. Men dessa rutiner uppgraderades sällan för att använda de digitala förmågorna som finns i datorer. Man kopierade bara in manuella rutiner i datorerna. Arbetssätten ändrades inte när rutinerna flyttade in i datorerna.

### 10.4.3 Aktuella aktiviteter för digitalisering

De senaste åtgärderna för digitalisering listas nedan enligt värdekedjans delar med hänvisningar till möjligheterna i denna rapport:

#### *Använda värme*

- Appar för smarta telefoner till kunder angående deras inköp av fjärrvärme.
- Identifiera märkliga och oväntade dagliga behovsmönster genom att följa kundernas behovsvariationer (avsnitt 2.1).
- Identifiera märkliga och oväntade kundbeteenden genom att spåra avvikelser i deras värmeanvändning (avsnitt 2.2).
- Kontinuerliga mätningar av sekundära fram- och returtemperaturer i kunders radiatorsystem för att hitta höga temperaturkrav och ineffektiva värmesystem i kundbyggnader (avsnitt 2.7).

#### *Ansluta kunder*

- Övervakning av anslutna fjärrvärmecentraler (avsnitt 3.4)
- Verktyg för snabb identifiering av fel i fjärrvärmecentraler genom kontinuerlig jämförelse av värmemätarinformation om värmeleverans och cirkulerat vatten (avsnitt 3.5).
- Kontinuerliga uppskattningar av nedsmutsningssituationen för alla värmeväxlare i fjärrvärmecentraler (avsnitt 3.6).

#### *Flytta värme*

- Spåra faktiska cirkulationsflöden genom att jämföra faktiska och beräknade framtemperaturer för att identifiera oavsiktliga cirkulationsflöden (avsnitt 4.9).
- Kontinuerliga mätningar och avlägsnande av syre (avsnitt 4.11)
- Kontinuerliga mätningar av korrosionen inuti distributionsrör av stål (avsnitt 4.12)

#### *Tillföra värme*

- Styrning av den lokala värmebehovsregleringen för att minska spetslasterna genom en rättvis allokering av värmeleveranserna vid tillförselbrister (avsnitt 9.3).

#### 10.4.4 Möjliga framtida aktiviteter för digitalisering

Följande åtgärder kan implementeras i framtiden genom att använda de verkliga digitala förmågorna i moderna datorer och datakommunikation:

##### *Använda värme*

- Övervaka kundernas radiatorsystem genom kontinuerlig uppskattning av deras effektiva termiska längder (avsnitt 2.8) för att hitta nya felaktigt fungerande radiatorsystem inom en dag.

##### *Ansluta kunder*

- Förse kunder med användbar information om statusen för deras fjärrvärmecentraler (utmärkt, bra, genomsnittlig, dålig eller hemsk).
- Ny framtida driftstrategi genom att alltid mäta styrventilernas öppningar i alla fjärrvärmecentraler, vilket ger möjlighet att ersätta nuvarande användning av differensstryck som grundvillkor för flödesleveranser.
- Hitta nya trasiga fjärrvärmecentraler inom en dag.

##### *Flytta värme*

- Kontinuerliga mätningar av tryck i mer än hundra noder som kan ge dynamiska tryckkoner för distributionsnäten.
- Kontinuerliga tryckberäkningar av värmedistributionsnät från flöden uppmätta från samtliga flödesmätare i fjärrvärmecentralerna.
- Kontinuerlig jämförelse av faktiska och beräknade tryck för att snabbt hitta avvikelser.
- Kontinuerliga mätningar av fram- och returtemperaturer i mer än hundra noder som kan ge information om områden med höga sänkningar av framtemperaturerna från höga värmeförluster och områden med höga returtemperaturer.
- Kontinuerlig flödesbalans i nät med faktisk andel cirkulationsflöden för att hitta nya oavsiktliga cirkulationsflöden inom ett dygn.
- Kontinuerlig värmebalans i nät med faktisk andel distributionsförluster.

#### 10.4.5 Summering angående digitalisering

Digitalisering av fjärrvärmesystem är en pågående process som startade för tre till fyra decennier sedan. Digitalisering av planering och övervakning av värmeförseln blev det första steget i denna process. Numera har digitaliseringen även nått nät och fjärrvärmecentraler. Nästa steg blir att utnyttja de senaste digitala förmågorna hos modern digital teknik för snabb övervakning av flera tusen platser, vilket ger möjlighet till att följa vad som verkligen händer samtidigt i nät, fjärrvärmecentraler och kunders värmesystem. Detta kommer att ge en mer effektiv drift av fjärrvärmesystem, eftersom traditionell drift har baserats på gamla traditioner och gissningar (ibland formulerade i nationella standarder) om att flytta värme i värmedistributionsnät.

Digitaliseringsmöjligheterna i denna rapport utgör sexton procent av alla identifierade möjligheter.

## 10.5 LEVERANSANSVAR

I traditionella varma distributionsnät har värmeleverantörerna varit helt ansvariga för värmeleveransen med avseende på tillgänglighet och tillförlitlighet. Med detta centrala försörjningsansvar kommer varken spetsbehov eller försörjningsavbrott att reducera värmeleveranserna till de anslutna kunderna. Detta leveransansvar bygger på viss redundans i både värmeförsörjning och värmedistribution. Merkostnaderna för dessa nödvändiga extra kapaciteter ingår i priset för fjärrvärmeförbrukningen. Kunder till fjärrvärmeföretag behöver därför ingen egen kapacitet som reserv för köpt fjärrvärme.

De två fallen för denna möjlighet behandlar delat leveransansvar och värmelager för säkra värmeleveranser.

### 10.5.1 Delat leveransansvar

Decentraliserad inmatning av värme är en grundläggande egenskap för kalla nät i den decentraliserade CHC-konfigurationen (avsnitt 4.5), men kan även förekomma i varma distributionsnät (avsnitt 4.8). En gemensam nämnare för dessa decentraliserade inmatningar är att dessa leveranser inte följer dygns- och säsongvariationerna för det slutliga värmebehovet. Härigenom bör även viss tillsatsvärme tillföras för att möta kundernas totala värmebehov.

Tillskottsvärmen kan antingen levereras av den decentraliserade leverantören eller av annan leverantör i nätet. I det senare fallet uppstår ett delat leveransansvar och denna ansvarsfördelning måste definieras för alla decentraliserade inmatningar. Graden av leveransansvar är en viktig förutsättning när man tar hand om lokala värmeåtervinningar i Stockholm (märkt som Öppen Fjärrvärme). Högre ersättningsnivåer tillämpas när decentraliserade värmeleverantörer också kan ge ett högre leveransansvar.

Länkar:

<https://celsiuscity.eu/open-district-heating-in-stockholm-sweden/>

[https://c2e2.unepccc.org/kms\\_object/open-district-heating-in-stockholm-sweden/](https://c2e2.unepccc.org/kms_object/open-district-heating-in-stockholm-sweden/)

<https://www.stockholmexergi.se/en/heat-recovery/>

<https://www.stockholmexergi.se/en/heat-recovery/frequently-asked-questions-about-open-district-heating/>

### 10.5.2 Värmelager för säkra värmeleveranser

Stora värmelager kan också ge högre grader av leveransansvar (enligt avsnitt 9.2), eftersom de kan ge en omedelbar värmeförsörjning med hög kapacitet. I framtiden kan ägare av värmelager tillhandahålla särskilda ansvarskontrakt till värmeanvändare som är intresserade av att ta en mer aktiv roll i fjärrvärmesystemet. De kan ha en ambition att vara decentrala värmeleverantörer eller prosumenter.

Fjärrvärmeoperatörer kan också motivera implementeringar av stora värmelager genom att inkludera en viss tidsgaranti (som två, tre eller fyra veckor) i särskilda värmeleveranskontrakt, tillhandahålla och sälja säker värmeleverans oberoende av oväntade spetsbehov eller leveransavbrott. Å andra sidan kan stater eller

kommuner också begära en liknande tidsgaranti i juridiska dokument för säkra värmeleveranser, vilket kan ge ett ökat kundförtroende för fjärrvärme.

### 10.5.3 Summering angående försörjningssäkerhet

I traditionella fjärrvärmesystem utgjorde spets- och reservpannor det slutliga leveransansvaret för alla kunder. Enligt diskussionen ovan bör stora värmelager kunna ärva detta ansvar i framtiden. Härmed kan sammanfattningen av dessa två möjlighetsfall uttryckas med följande fråga: Kommer stora värmelager att kunna dela det framtida leveransansvaret tillsammans med efterfrågestyrning och traditionella spetspannor?

## 10.6 INSTITUTIONELLA RAMVERK

De institutionella ramverken för fjärrvärme och sammanhanget för utbyggnaden av dessa system varierar mycket från land till land. Länder med höga marknadsandelar har generellt sett utvecklat legala och marknadsmässiga instrument för att få effektiva värmemarknader med trygga och säkra värmeleveranser samt nöjda kunder. Dessa utvecklade institutionella ramverk för fjärrvärme är normalt inte tillgängliga i länder som har låga marknadsandelar för fjärrvärme. En översikt över EU-sammanhanget för institutionella ramverk för fjärrvärme har nyligen publicerats i (Billerbeck et al., 2023).

De sex fallen rörande möjligheten kring de institutionella ramarna inkluderar energiredovisning, redovisning av växthusgasutsläpp, koldioxidavskiljning, förbud mot fossilbränslepannor, stödsystem och fjärrvärmeforskning.

### 10.6.1 Energiredovisning

Rutinerna för internationell och nationell energistatistik finns i FN:s internationella rekommendationer för energistatistik, antagna 2011 och slutligen publicerade 2017. Dessa rekommendationer förlitar sig till stor del på IEA:s erfarenheter från övervakningen av världens energimarknader, som initierades efter två internationella oljeembargon på 1970-talet. IEA:s rutiner för energistatistik förklaras kort i 2005 års IEA Energy Statistics Manual, medan de mer djupgående förklaringarna finns i 2023 års databasdokumentation för IEA World Energy Balances. Denna internationella energistatistik är tillgänglig i fyra dimensioner:

- Geografiska enheter, såsom nationer och regioner
- År
- Samhällssektorer
- Råvaruflöden för olika energiprodukter

Primär energiförsörjning och slutlig energianvändning är de två enda gränssnitten som rapporteras i energistatistiken. Aktiviteter utöver slutlig energianvändning ingår inte. Härmed ingår varken värmeförluster från transporter eller effektiv användning av el i värmepumpar i energistatistiken.

Dessa statistikrutiner förutsätter linjära energiförsörjningskedjor, vilket präglade fossilbränslesamhället. Grundprincipen blev då att varje slutligt energibehov skulle vara kopplat till en primär energiförsörjning, enligt termodynamikens första

huvudsats. En konsekvens av denna grundprincip är att fjärrvärmens fokus på värmeåtervinning varken registreras eller kommuniceras i energistatistiken, eftersom IEA:s energibalanser saknar återvunnen värme som ett råvaruflöde.

Värmeåtervinning kännetecknas av ett sekundärt sekventiellt värmefflöde från en ursprunglig energiomvandlingsprocess som använder primär energiförsörjning för att uppfylla ett primärt syfte. Exempel på dessa primära syften är termisk kraftproduktion, industriella processer och avfallsförbränning. Härigenom samlas restvärme in från olika samhällssektorer för att användas för uppvärmning av byggnader. Denna värmeöverföring mellan sektorer kan tyvärr inte hanteras i nuvarande internationella rutiner för energistatistik.

Konsekvenserna för fjärrvärmesystem från den strikt linjära energiförsörjningskedjan som antas i energistatistiken är:

- I **kraftvärmeverk** är värmen som återvinns till fjärrvärme synlig, men primärenergien allokeras proportionellt mot genererad el och värmeeffekten. Härigenom kommer återvunnen värme att ha samma primära energibehov som värme från traditionella värmepannor. Alla kombinerade fördelar med kraftvärme allokeras helt och hållet till genererad el och ingen fördel tilldelas värmeåtervinningen.
- Inom **industriell energiförsörjning och processer** rapporteras aldrig värme som återvinns till fjärrvärmesystem korrekt. Härigenom allokeras all primär energiförsörjning helt till det primära ändamålet. Den återvunna värmen är aldrig anslutet till något primärt energibehov.
- Inom **avfallsförbränning** uppfattas avfallets värmevärde som primär energiförsörjning, dvs avfallet uppfattas som ett bränsle. Eftersom de flesta av dessa anläggningar arbetar i kraftvärmeläge, gäller samma funktioner som för kraftvärmeverk ovan. Innebörden för fjärrvärmesystem blir att återvunnen värme kopplas till miljöproblem i samband med avfallsförbränning. Härmed flyttas ansvaret för dessa problem från avfallssektorn till energisektorn. Denna överföring av ansvar strider mot den globala principen om att förorenaren ska ta sitt ansvar och betala. Det primära syftet med avfallsförbränning måste också uppfattas som att undvika metanutsläpp från deponier, eftersom många länder redan har infört deponiförbud för organiskt och brännbart avfall.

En möjlighet för fjärrvärme kan vara att revidera de ovan beskrivna inkonsekventa statistikrutinerna. En översyn bör beakta principen om att förorenaren betalar och erkänna de samhälleliga fördelarna med värmeåtervinning. Detta kommer att öka samhällets och kundernas intresse för fjärrvärme baserad på värmeåtervinning. Revideringen bör innehålla följande tre grundläggande aktiviteter:

- Införa ett varuflöde för värmeåtervinning i internationell energistatistik.
- Allokeras alla primära energiflöden till det primära syftet i de sekventiella försörjningskedjorna.
- Definiera värmeåtervinning som sekundärt syfte, utan ansvar för primär energiförsörjning.

De tre aktiviteterna som föreslagits ovan stämmer också mycket väl överens med de grundläggande principerna för avfall som förespråkas av EPD International avseende miljöproduktdeklarationer (EPD).



Referenser: (IEA, 2005), (United Nations, 2017), (EPD International, 2021) och (IEA, 2023)

### 10.6.2 Redovisning för klimatgaser

Nationella växthusgasutsläpp måste rapporteras till UNFCCC varje år genom att följa IPCC:s riktlinjer för växthusgasinventeringar. Dessa riktlinjer tar hänsyn till utsläpp i fem olika korgar: energiförsörjning, industriella processer, jordbruk, markanvändning med förändrad markanvändning och skogsbruk (LULUCF på engelska) och avfall, enligt (IPCC, 2006a).

För fjärrvärmesystem registreras utsläppen av växthusgaser i följande korgar enligt energi- och värmetillförseln:

- **Fossila bränslen:** Alla koldioxidutsläpp samlas i energikorgen, enligt IPCC:s riktlinjer för energiförsörjningen (IPCC, 2006b).
- **Värmeåtervinning från industriella processer:** Inga koldioxidutsläpp allokeras till fjärrvärme, eftersom det inte finns något varuflöde för värmeåtervinning i energiredovisningen. Industriföretagen ansvarar för primärenergiförsörjningen och motsvarande utsläpp av växthusgaser.
- **Biomassa:** Alla biogena koldioxidutsläpp registreras i LULUCF-korgen, eftersom dessa utsläpp hör till skogssektorn. Argumentet för att använda denna korg är att användningen av biomassa hör till det naturliga kolkretsloppet och inte till det ytterligare fossila kolkretsloppet. Härmed är emissionsfaktorn för biomassa inom energisektorn noll och de nationella skogssektorerna ansvarar för koldioxidutsläppen från bioenergi som används inom energisektorn.
- **Avfall:** Alla fossilbaserade koldioxidutsläpp registreras i energikorgen när avfallsförbränning används för energiändamål, eftersom avfall ses som primär energiförsörjning enligt energiredovisningsprinciperna från FN och IEA. När avfallsförbränning utförs utan energiåtervinning registreras alla fossila utsläpp i avfallskorgen. De biogena koldioxidutsläppen tillförs dock till LULUCF-korgen.

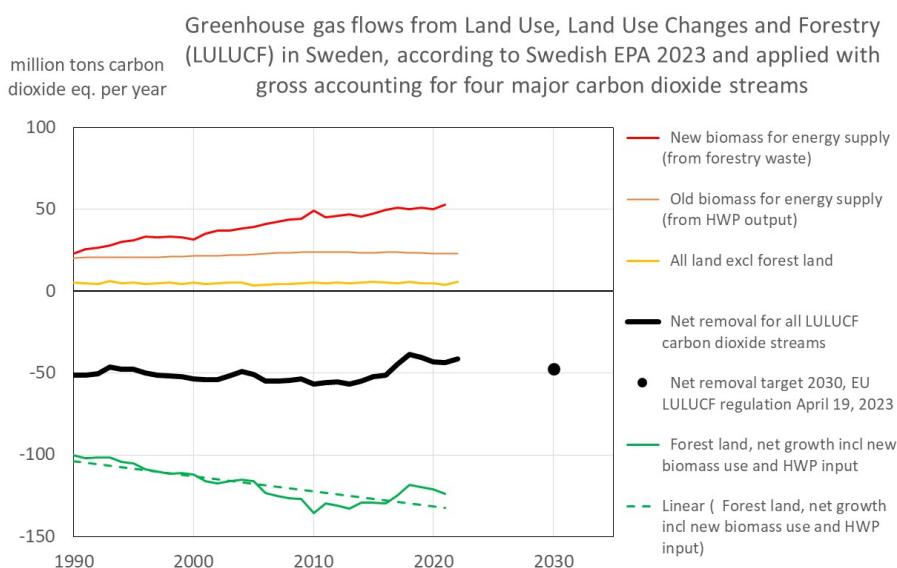
Därför registreras utsläppen från fjärrvärmesystem enligt samma statistiska rutiner som för primärenergiförsörjning i internationell energiredovisning som beskrivits i föregående underavsnitt. Härmed gäller samma brister för fjärrvärme som förekommer i energiredovisningen även för redovisning av utsläpp av växthusgaser. Anledningen till denna starka koppling mellan energiredovisning och redovisning av utsläpp av växthusgaser är att "IPCC National Greenhouse Gas Inventories Program" styrdes från 1991 av IPCC:s arbetsgrupp 1 i nära samarbete med OECD och IEA fram till dess övergång 1999 till "IPCC's Task Force on National Greenhouse Gas Inventories" baserad i Japan.

Eftersom utsläpp från förbränning av biomassa registreras annorlunda än andra bränsleresurser i fjärrvärmesystem, måste mer uppmärksamhet riktas mot hur man definierar den övre gränsen för biomassaanvändning. Annars riskerar skogssektorn att flytta för mycket kol från skogsbruk till atmosfären och orsaka ytterligare klimatförändringar på samma sätt som fossila koldioxidutsläpp gör.

Baserat på översikten ovan uppmanas nationer att rapportera koldioxidutsläpp från biomassa under en memo-post i sina nationella inventeringsrapporter till UNFCCC. Dessa utsläpp bör inte inkluderas i de nationella totala utsläppen från energisektorn. Mängder biomassa som används som bränsle ingår i den nationella primärenergiförsörjningen, men motsvarande koldioxidutsläpp ingår inte i den nationella totalen då det antas att biomassan produceras på ett hållbart sätt. Om biomassan skördas i en ohållbar takt redovisas nettoutsläppen av koldioxid som en förlust av biomassa-kol i LULUCF-sektorn.

Ingen generell regel eller generellt åtagande definierar internationellt den hållbara takten för användning av biomassa. En vanlig uppfattning är att den årliga skörden inte bör överstiga den årliga skogsbrukets tillväxt. Europeiska unionen har dock en annan åsikt genom att säga att det europeiska skogsbruket bör behållas som en långsiktig sänka för kompensation för framtida oundvikliga fossila koldioxidutsläpp.

EU-synen och det motsvarande politiska beslutet finns dokumenterat i (European Union, 2023) utfärdad den 19 april 2023, genom att säga att EU:s växthusgassänka från LULUCF bör vara 310 miljoner ton år 2030. Detta gemensamma tak för alla medlemsländer fördelas också till varje medlemsstat i förordningen. Detta utsläppstak bör därför uppfattas som liknande taket för fossila koldioxidutsläpp i EU.



Figur 22. Utsläpp av växthusgaser från LULUCF i Sverige 1990-2021, samt delvis för 2022.

Som ett exempel illustreras den svenska utvecklingen och nuläget för LULUCF-sektorn i Figur 22. Figuren består av de fyra stora flödena av växthusgaskällor och sänkor tillsammans med den totala nettoavskiljningen för LULUCF (som tjock svart linje). Netto reduktionen 2022 var 41 miljoner ton, medan det tilldelade EU-målet för 2030 är 47 miljoner ton. Härmed måste den svenska skogssektorn eliminera de ohållbara utsläppen av 6 miljoner ton biogen koldioxid före 2030. De är ohållbara eftersom de minskar den svenska delen av EU:s åtagande att använda skogsbruket som sänka för framtida oundvikliga utsläpp av växthusgaser.

Två viktiga slutsatser från denna diskussion om utsläpp av växthusgaser för fjärrvärmesystem är:

1. Det internationella systemet för koldioxidredovisning är inte så transparent för fjärrvärmesystem, eftersom värmeåtervinning dels inte är ett erkänt råvaruflöde i energistatistiken och dels presenteras koldioxidutsläppen i olika korgar med olika grundprinciper.
2. Europeiska unionen har nyligen infört en övre gräns för biomassaanvändning i LULUCF-sektorn genom sin förordning som beslutades i april 2023.

En möjlighet för fjärrvärme skulle kunna vara att harmonisera redovisningsprinciperna för växthusgasutsläpp med den revidering av principerna för energiredovisning angående fjärrvärme som föreslagits i föregående underavsnitt. Detta kommer att öka samhällets och kundernas intresse för fjärrvärme. Det kommer också att sätta press på ägaren av det primära syftet (när värmeåtervinning tillämpas) att reducera användningen av fossila bränslen i sina primära processer.

### 10.6.3 Avskiljning av koldioxid

Fjärrvärmesystem som använder värme från förbränning av biomassa och avfall har indirekt skapat potentiella punktkällor för användning av biogena koldioxidavskiljningar, eftersom biomassa och avfall transporteras med fordon till centrala förbränningsanläggningar. Denna höga koncentration av biogena koldioxidutsläpp är ett mervärde för stora fjärrvärmeleverantörer, eftersom stora volymer biogen koldioxid kan avlägsnas effektivt när man har dessa höga koncentrationer. Denna lovande synergi identifierades tidigare i underavsnitt 10.1.3.

Enligt kapitel 6 finns inga internationella ersättningssystem för avlägsnande av koldioxid. Därför skulle denna brist kunna elimineras genom att inkludera en biogen koldioxidavskiljning i det europeiska handelssystemet för koldioxid genom en speciell LULUCF-korg för dessa avskiljningar.

Tidiga nationella ersättningssystem för avlägsnande av koldioxid har nyligen dykt upp i både Norge och Danmark. Ett liknande ersättningssystem har också föreslagits och planerats för Sverige, men det slutliga beslutet har ännu inte fattats av den svenska riksdagen.

### 10.6.4 Förbud för fossilbaserade pannor

Än så länge har inte internationella förbud mot fossila värmepannor dykt upp. Inom EU togs denna fråga upp i den slutgiltigt förhandlade kompromisstexten från den 7 december 2023 för omarbetningen av direktivet byggnaders energiprestanda. Genom översyn av artikel 3 bör texten vara "utfasning av fossila bränslen inom uppvärmning och kyla med sikte på en fullständig utfasning av fossila bränslepannor till 2040". Artikel 7 bör innehålla "krav på medlemsstaterna att se till att nya byggnader från 2028 som ägs av offentliga organ, och sedan alla nya byggnader från 2030, är nollutsläppsbyggnader".

Vissa nationella förbud har dock implementerats i några banbrytande medlemsländer inom EU. En översikt över situationen till och med 2022 presenterades i (Braungardt et al., 2023), medan situationen under 2023 kan sökas genom följande länkar till webbplatsen för European Heat Pump Association (EHPA). Aktuella och aviserade förbud med olika år för implementering för fossil uppvärmningsutrustning i Europa kan sammanfattas enligt följande:

- För olja och gas i alla byggnader: Norge, Danmark, Irland, Nederländerna och Tyskland.
- För olja och gas i nya byggnader: Storbritannien, Luxemburg och Italien.
- För olja i alla byggnader och gas i nya byggnader: Belgien, Frankrike och Österrike.
- För olja i nya byggnader: Slovakien.

Länkar:

<https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-16655-2023-INIT/en/pdf>

<https://www.ehpa.org/news-and-resources/news/fossil-fuel-heating-too-few-eu-countries-have-committed-to-phase-out/>

<https://www.ehpa.org/news-and-resources/position-papers/industry-ngo-joint-statement-in-support-of-a-phase-out-of-fossil-fuel-boilers-and-a-switch-to-clean-heating/>

<https://www.ehpa.org/news-and-resources/news/german-heating-law-watered-down-but-end-goal-unchanged/>

<https://www.ehpa.org/news-and-resources/news/which-countries-are-ending-fossil-fuel-heaters/>

#### 10.6.5 Stödsystem för fossilfri fjärrvärme

Både regulativa och finansiella stödsystem finns på EU-nivån och nationella nivåer. De senaste uppdateringarna kommer att öka den framtida konkurrenskraften för koldioxidfri fjärrvärme.

Ett viktigt regelverk är omarbetningen av EU:s energieffektivitetsdirektiv som trädde i kraft den 10 oktober 2023. Artikel 26 i detta direktiv innehåller fyra energiomvandlingsaktiviteter där värmeåtervinning bör övervägas när nya eller renoverade anläggningar planeras och implementeras. De fyra verksamheterna är värmekraftverk utöver 10 MW tillförd effekt, industrianläggningar utöver 8 MW tillförd effekt, serviceanläggningar utöver 7 MW tillförd effekt, och datacentraler utöver 1 MW tillförd effekt. Därför kan dessa aktiviteter inte längre förkastas i planeringsfasen, om inte en kostnadsnyttoanalys visar att värmeåtervinning är olönsam.

Ett annat viktigt regelverk inom EU är systemet för handel med utsläppsrätter som initialt startade 2005. År 2027 kommer det att utökas med ytterligare ett handelssystem, kallat ETS 2, som omfattar byggnader och transporter. Det kommer att vara en uppströmslösning för bränsleleverantörer till dessa två sektorer. Det blir därför dyrare att värma upp byggnader med fossila bränslen när priserna på utsläppsrätter ökar. ETS 2-systemet kommer dock att kombineras med en social klimatfond och ett pristak för dess utsläppsrätter fram till 2030.

Ett viktigt finansiellt stödsystem från EU är den europeiska innovationsfonden, ett utvecklingsprogram för demonstration av innovativ teknik med låga koldioxidutsläpp. Fonden fokuserar på mycket innovativ ren teknik och stora flaggskeppsprojekt med europeiskt mervärde som kan ge betydande växthusgasreduktioner. Det finansieras av intäkter från EU:s system för handel med utsläppsrätter. Den planerade anslagsbudgeten för 2020-2030 är 40 miljarder euro. Situationen i januari 2024 var att projektanslag på 6,5 miljarder euro hade undertecknats för 106 projekt från utlysningarna 2020, 2021 och 2022. Slutdatum för utlysningen 2023 var planerad till april 2024.

Fyra fall av koldioxidutsläpp som identifierats i detta projekt har fått finansiering från Innovationsfonden och dessa presenteras i Tabell 5.

**Tabell 5. Fall identifierade i denna rapport som har erhållit beslut om stöd från EU:s innovationsfond.**

Projektnamn	Fall i denna rapport	Land	Bidrag från innovationsfonden, miljoner euro	Planerat år för implementering
BECCS Stockholm	6.1.1	Sverige	180	2026
EAVORLOOP	7.2.12	Tyskland	91.6	2026
Holland Hydrogen	8.2.3	Nederländerna	89	2027
HYBRIT	8.6.5	Sverige	143	2027
Total			504	

Några korta exempel på nationella aktiviteter som rör finansiering och stödjande aktiviteter för koldioxidfri fjärrvärme ges nedan från Tyskland, Tjeckien, Frankrike, Nederländerna och USA.

I Tyskland tillkännagav den tyska regeringen i juni 2023 den framtida ambitionen att tredubbla anslutningen av fjärrvärme fram till 2045. Målet är att nå 18 miljoner invånare med fjärrvärme från de 6 miljoner som redan nås idag. Dessutom har ett program på 2,98 miljarder euro nyligen genomförts i Tyskland (Bundesförderung für effiziente Wärmenetze). Avsikten är att stödja fossilfrihet i både befintliga och nya fjärrvärmesystem. Support DHC-projektet kommer att vara aktivt kopplat till detta tyska program. Detta forskningsprojekt samfinansieras av Europeiska unionens LIFE-program. En av de stödjande projektpartnererna i detta EU-projekt är Högskolan i Halmstad.

I Tjeckien har ett program på 1,2 miljarder euro införts för att främja lägre koldioxidutsläpp och modernisering av värmeproduktionsenheter. Programmet pågår till januari 2026 och finansieras av EU:s moderniseringsplan.

I Frankrike kan fossilfrihet inom fjärrvärmesystem genom geotermi, solenergi, biomassa eller värmepumpar erhålla stöd sedan 2009 från programmet "Fonds Chaleur" vid ADEME. Denna stödfond hade en årlig budget på 370 miljoner euro fram till 2021, den höjdes till 520 miljoner euro från 2022 och kommer att nå nivån 820 miljoner euro från 2024. Det franska ministeriet för energiomställning offentliggjorde officiellt den 22 december 2023 den slutgiltiga handlingsplanen för att påskynda utvecklingen av den geotermisk energisektorn. Den nya

handlingsplanen stöder utbyggnaden av geotermisk energi för att möta behoven av förnybar uppvärmning och kyla för enskilda och kollektiva byggnader i Frankrike.

I Nederländerna stängdes det stora gasfältet Groningen ned den 1 oktober 2023. Motivet till denna stängning var att minska risken för skador på byggnader, som hade varit en realitet sedan en jordbävning 2012. Denna åtgärd avslutade en 60-årig era för leverans av naturgas för att värma holländska byggnader. Därför kommer andra holländska värmeförsörjningsmetoder att krävas i framtiden, såsom fjärrvärme.

I USA kan fossilfria fjärrvärmesystem dra nytta av "Inflation Reduction Act", enligt Spurr-artikeln i 2023/1-numret av District Energy (länk finns nedan i slutet av följande länklista).

Länkar:

[https://energy.ec.europa.eu/news/new-energy-efficiency-directive-published-2023-09-20\\_en](https://energy.ec.europa.eu/news/new-energy-efficiency-directive-published-2023-09-20_en)

[https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/ets-2-buildings-road-transport-and-additional-sectors\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/ets-2-buildings-road-transport-and-additional-sectors_en)

[https://cinea.ec.europa.eu/programmes/innovation-fund\\_en](https://cinea.ec.europa.eu/programmes/innovation-fund_en)

[https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-07/if\\_pf\\_2022\\_beccs\\_en.pdf](https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-07/if_pf_2022_beccs_en.pdf)

[https://climate.ec.europa.eu/system/files/2023-04/if\\_pf\\_2023\\_eavorloop\\_en.pdf](https://climate.ec.europa.eu/system/files/2023-04/if_pf_2023_eavorloop_en.pdf)

[https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-12/if\\_pf\\_2022\\_hh\\_en.pdf](https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-12/if_pf_2022_hh_en.pdf)

[https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-07/if\\_pf\\_2022\\_hybrit\\_en.pdf](https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-07/if_pf_2022_hybrit_en.pdf)

[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_22\\_4823](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_4823)

<https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/germany-aims-to-connect-100000-buildings-to-district-heating-every-year/>

[https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/Effiziente\\_Waermenetze/effiziente\\_waermenetze\\_node.html](https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/Effiziente_Waermenetze/effiziente_waermenetze_node.html)

<https://www.euroheat.org/dhc/eu-projects/supportdhc>

[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip\\_22\\_7680](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip_22_7680)

<https://presse.ademe.fr/2023/05/fonds-chaleur-2022-520-millions-deuros-engages-au-profit-de-plus-de-900-nouvelles-installations-de-chaleur-renouvelable-et-de-recuperation.html>

<https://prod.euroheat.org/news/latest-news-on-the-european-district-heating-and-cooling-market>

<https://www.thinkgeoenergy.com/france-finalizes-action-plan-for-geothermal-sector-development/>

<https://www.europeangashub.com/groningen-gas-field-the-end-of-an-era-but-the-timing-is-unfortunate.html>

[https://www.districtenergy-digital.org/districtenergy/library/item/q1\\_2023/4073104/](https://www.districtenergy-digital.org/districtenergy/library/item/q1_2023/4073104/)

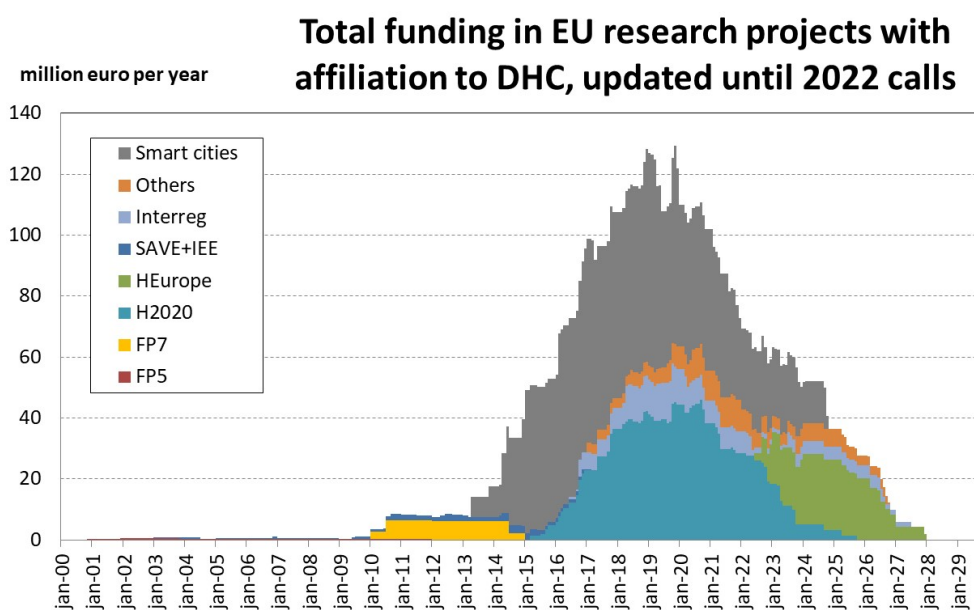
#### 10.6.6 Fjärrvärmeforskning

Koldioxidreduktioner inom den europeiska fjärrvärmesektorn har stötts av flera betydande EU-forskningsprojekt. De tillgängliga resurserna för dessa projekt var mycket låga för tjugo år sedan, men har ökat avsevärt efter 2013, enligt Figur 23. Toppen på omkring 100 miljoner euro per år nåddes mellan 2018 och 2020. De



tillgängliga forskningsresurserna har minskat under de senaste åren, ty sedan 2021 har aktiva reduktionsåtgärder prioriterats framför traditionell akademisk forskning. Detta har givit mindre forskningsresurser i ramprogrammet för Horisont Europa jämfört med det tidigare programmet Horisont 2020.

Det totala beloppet av forskningsanslag i Figur 23 är nästan en miljard euro, vilket har givit viktiga incitament till universitet och andra forskningsorganisationer för att utveckla och expandera fjärrvärmetekniken, metoderna och konkurrenskraften. Dessa forskningsaktiviteter kommer säkerligen att påverka den europeiska fjärrvärmesektorn under 2030-talet, både genom nya idéer och genom bidrag från unga yrkesverksamma som har deltagit i dessa forskningsprojekt.



Figur 23. Översikt av tillgängliga finansiella resurser för forskningsprojekt om fjärrvärmesystem och fjärrkyla med stöd från olika EU-program. Stöd från EU:s innovationsfond ingår ej. Indata till detta diagram består av 134 projekt med en genomsnittlig budget på 7,1 miljoner euro.

### 10.6.7 Summering angående institutionella ramverk

De sex fallen som presenteras om möjligheten till bättre institutionella ramverk kan alla revideras till att ge mer aktivt stöd för lägre koldioxidutsläpp från fjärrvärmesystem. Både redovisningssystemen för energi och växthusgasutsläpp kan revideras för bättre överensstämmelse med fjärrvärmens egenskaper. System som använder biomassa kan användas för att ta bort biogen koldioxid från det naturliga kretsloppet om ordentliga ersättningssystem införs för eliminerade utsläpp. Förväntade förbud för fossilbränslepannor kommer att skapa en marknad för fossilfri värme från både fjärrvärmesystem och enskilda värmepumpar. Ekonomiskt stöd kommer fortfarande att krävas för nya lovande tekniker och metoder genom att eliminera introduktionsrisker vid introduktion i fjärrvärmesystem. Fjärrvärmeforskning kommer att behövas för att fortsätta arbetet med att få mer effektiva och konkurrenskraftiga fjärrvärmesystem.



## 10.7 DIGITALA PLANERINGSMODELLER

Under de senaste åren har omfattande digitala planeringsmodeller utvecklats inom några europeiska forskningsprojekt som en form av digitalisering. Huvudsyftet har varit att aggregera lokala förutsättningar till regionala och nationella nivåer avseende möjliga utbyggnader av befintliga system och nya fördelaktiga system.

Framstegen har uppnåtts genom att använda tillgängliga öppna data i dessa digitala modeller, både för forskningsändamål och lokalt genomförande. Ett centralt verktyg i dessa planeringsmodeller är användningen av geografiska informationssystem (GIS). Grupper av öppna data som används inom denna möjlighet inkluderar befolkningstätheter, nuvarande fjärrvärmesystem, nuvarande avfallsförbränningsanläggningar, aktuella platser för industriell restvärme, nuvarande geotermiska resurser med mera.

Tre fall som rör möjligheten till digitala planeringsmodeller presenteras här: projektklustret Heat Roadmap Europe (HRE) och två nationella analyser för Italien och Sverige.

### 10.7.1 2012: Heat Roadmap Europe

Den första förstudien i HRE-klustret var (Connolly et al., 2012) som sammanfattades i (Froning, 2012), som hade fokus på nuläget för fjärrvärme inom EU. Den ekonomiska fördelen uppskattades till 14 miljarder euro årligen, om fjärrvärmens kunde nå en marknadsandel på 50 % i de europeiska byggnaderna. Den andra förstudien blev (Connolly et al., 2013) och sammanfattades i (Editorial, 2013), som hade ett mer långsiktigt fokus för Europeiska unionen. I detta framtida fall för 2050 uppskattades den årliga ekonomiska fördelen till 100 miljarder euro med samma marknadsandel som i den första förstudien.

Den huvudsakliga nyheten i HRE-förstudierna var kombinationen av tidsmodellering av energisystem och kartläggning av de rumsliga energilandskapen. Denna kombination introducerade den nya möjligheten att inkludera unika lokala förhållanden i prognoser och planering, vilket gjorde erkännandet och identifieringen av fjärrvärmens möjligheter mer synliga. Medan de två förstudierna fungerade som en första testbädd för dessa nya idéer, blev IEE-projektet Stratego, 2014-2016, även känt som HRE3 (Connolly et al., 2015) den första riktiga tillämpningen av den nya möjligheten. Fem dåvarande EU-medlemsstater: Tjeckien; Kroatien; Italien; Rumänien; och Storbritannien, utsattes för den nya kombinerade metoden, där en mjuk länk användes mellan modellering av energisystemen på nationell nivå och den kvadratkilometerskaliga rumsliga kartläggningen.

Målet med Heat Roadmap Europe 4-projektet mellan 2016 och 2019 var att utveckla nationella koldioxidsnåla uppvärmnings- och kylningsstrategier, kallade Heat Roadmaps, genom att kvantifiera och implementera förändringar på nationell nivå för 14 EU-medlemsstater, som tillsammans stod för cirka 85-90 % av det totala värme- och kylbehovet i Europa. De 14 medlemsländerna var Österrike, Belgien, Tjeckien, Finland, Frankrike, Tyskland, Ungern, Italien, Nederländerna, Polen, Rumänien, Spanien, Sverige och Storbritannien. Som en fortsättning syftade projektet sEEnergies mellan 2019 och 2022 till att genomföra en omfattande

bedömning och kvantifiering av den politiska effekten av Energy Efficiency First-principen, varvid ett holistiskt ramverk utvecklades som beaktade synergierna mellan olika sektorer för att maximera energibesparingarna. I den femte delen av Heat Roadmap Europe från 2023 uppskattades potentialen att utöka marknadsandelen för fjärrvärme i EU till 20 % till 2030 och 48 % till 2050. Strategisk planering är nödvändig för att utveckla 18 500 nya fjärrvärmesystem som kräver infrastrukturinvesteringar på omkring 680 miljarder euro till 2050.

Flera internationella vetenskapliga artiklar har publicerats från HRE-projektområdet. Den optimala avvägningen mellan värmetillförsel och värmebehov undersöktes i (Connolly et al., 2014, Hansen et al., 2016). Strategiska värmesynergieregioner identifierades i (Persson et al., 2014). El-, värme- och kylsektorerna jämfördes i (Connolly, 2017). Verkliga implementeringar av stora värmepumpar i fjärrvärmesystem identifierades i (David et al., 2017). Alla steg bakom utvecklingen av den paneuropeiska termiska atlasen (PETA) presenterades i (Möller et al., 2018). Den senaste versionen av PETA är nu tillgänglig via den senaste webblänken nedan. Hela landområdet inom EU delades upp i 440 miljoner hektar och förväntade värmedistributionskostnader uppskattades för varje hektar i (Persson et al., 2019), medan EU-omfattande lokala värmeförsörjningsstrategier presenterades i (Möller et al., 2019). Slutligen var den strategiska uppvärmningsövergångstypologin för policyrekommendationer huvudtemat i (Paardekooper et al., 2022).

Den utarbetade HRE-metodiken har även tillämpats för andra geografiska områden, såsom i Heat Roadmap China och Heat Roadmap Chile.

Länkar:

[https://vbn.aau.dk/files/77244240/Heat Roadmap Europe Pre Study 1.pdf](https://vbn.aau.dk/files/77244240/Heat_Roadmap_Europe_Pre_Study_1.pdf)

[https://vbn.aau.dk/files/77342092/Heat Roadmap Europe Pre Study II May 2013.pdf](https://vbn.aau.dk/files/77342092/Heat_Roadmap_Europe_Pre_Study_II_May_2013.pdf)

<https://vbn.aau.dk/da/publications/heat-roadmap-europe-3-stratego-translating-the-heat-roadmap-europ>

<https://www.euroheat.org/dhc/eu-projects/stratego>

<https://heatroadmap.eu/project/>

<https://cordis.europa.eu/project/id/695989>

[https://api.euroheat.org/uploads/Heat matters the missing link in RE Power E U Aalborg University 2023 f362bc76ba.pdf](https://api.euroheat.org/uploads/Heat_matters_the_missing_link_in_RE_Power_EU_Aalborg_University_2023_f362bc76ba.pdf)

<https://www.seenergies.eu/>

<https://euf.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=8d51f3708ea54fb9b732ba0c94409133>

### 10.7.2 2021: Italien

Möjligheterna till mer fjärrvärme i Italien har undersökts i ett nationellt projekt som syftade till att visa den outnyttjade potentialen hos avfall och förnybar värme i Italien genom en detaljerad kartläggning av dessa värmekällor med hjälp av HRE-metoden. Ambitionen var att lyfta fram områden med en viktig värmeåtervinningspotential som kunde utnyttjas genom utbyggnad av fjärrvärmesystem. De återvinningsbara värmekällorna analyserades i termer av

geografisk placering och återvinningsgrad med särskilt fokus på temperaturnivåer och tekniska konsekvenser för temperaturuppgraderingar med värmepumpar.

Referens: (Dénarié et al., 2021)

### 10.7.3 2022: Sverige

Framtida möjligheter för solfjärrvärme i Sverige undersöks för närvarande med hjälp av HRE-metoden i ett projekt finansierat av Energimyndigheten. Fallstudier utförs för tre platser med stora solfångarfält, gropvärmelager och ytterligare stora värmepumpar som ska användas under blåsiga dagar med låga elpriser.

Länk:

<https://termoinnovation.se/projekt/soldriven-fjarrvarme-med-groplager-for-svenska-forhallanden/>

### 10.7.4 Summering angående digitala planeringsmodeller

Dessa tre fall för möjligheten med digitala planeringsmodeller visar att lokala förhållanden numera kan aggregeras till nationella och regionala nivåer. Innebörden blir att tiden för att identifiera områden lämpade för fjärrvärme kan bli betydligt kortare än vad som traditionellt har utförts. Dessa framsteg kan underlätta policybeslut om fjärrvärme och företagsbeslut om utbyggnad av befintliga system och etablering av nya system.

## 10.8 SUMMERING AV 7 MÖJLIGHETER I VÄRDEKEDJAN

De slutliga aggregerade resultaten om värdekedjan presenteras enligt de sju strategiska möjlighetsgrupperna som identifierades i detta kapitel:

**För det första**, de framväxande möjligheterna för fossilfrihet innehåller fler **frihetsgrader** än vad som existerar i befintliga system som använder traditionella fjärrvärmetekniker baserade på förbränning av bränslen. Dessa nya möjligheter bör implementeras vid utbyggnad av befintliga system och etablering av nya system. Alla ersättningsmöjligheter är dock inte tillgängliga överallt, eftersom deras tillgänglighet beror på lokala förhållanden. Detta är en viktig förändring från tidigare generiska fjärrvärmetekniker som fanns tillgängliga över hela världen. En viktig slutsats är också att de direkta ersättningsprojekten för värmeförsörjning för fossilfrihet måste stödjas av andra möjligheter som ökar den totala lönsamheten för ersättningsprojekten genom att tillhandahålla mer effektiv värmeförsörjning.

**För det andra**, möjligheterna att erhålla **lägre temperaturnivåer** i värmedistributionsnät är huvudgruppen för att få mer lönsamma projekt kring fossilfrihet, eftersom de flesta fossilfria värmeförsörjningsalternativen blir mer effektiva när lägre temperaturer tillämpas. Ett brett utbud av möjligheter till lägre temperaturer dyker upp i nya system, medan befintliga nätverk av tradition är förknippade med högre temperaturnivåer. Flera fall har dock visat att det också är möjligt att sänka temperaturen avsevärt i befintliga system genom att identifiera och eliminera temperaturfel i nät, fjärrvärmecentraler och kunders värmesystem.

**För det tredje**, flera möjligheter med värmepumpar ger en viktig slutsats att värmepumpar kan användas effektivt på flera olika sätt som ett generellt verktyg i framtida fjärrvärmesystem för att övervinna hinder efterfrågade temperaturer är högre än temperaturerna på många möjliga värmekällor. Värmepumpar kan implementeras när man använder värme, ansluter kunder, flyttar värme, lagrar värme, återvinner värme och tillhandahåller värme i linjära leveranskedjor från lågtemperaturkällor. En framtida utmaning är dock att välja hållbara köldmedier i dessa stora värmepumpar.

**För det fjärde**, möjligheter baserade på digitalisering ger förutsättningar för att driva fjärrvärmesystem närmare kanten med avseende på driftstabilitet och säkra värmeleveranser genom att eliminera nuvarande breda driftmarginaler. Digitaliseringen av fjärrvärme har nu nått nät, fjärrvärmecentraler och kundernas värmesystem. Ytterligare digitalisering kommer att ge mer effektiv drift av fjärrvärmesystem, eftersom driften av befintliga system bygger på gamla traditioner och gissningar om att flytta värme i distributionsnäten.

**För det femte**, i vissa kalla distributionsnät kommer leveransansvaret att vara en utmaning, eftersom flera decentraliserade värmeleverantörer kommer att dominera värmeförsörjningen till dessa distributionsnät. Det kommer att vara viktigt att hantera dessa delade leveransansvar genom att definiera karaktären på varje decentraliserad värmeförsörjning. Ersättningsnivån kan fastställas enligt varje leveranskaraktär. Ett gemensamt stort värmelager i värmedistributionsnätet kan också användas som en kollektiv garanti för alla värmeleveranser.

**För det sjätte**, de internationella och nationella institutionella ramverken för fjärrvärme ger både stöd och barriärer för fjärrvärmeverksamhet. På stödsidan har vissa nationella förbud för fossilbränslepannor införts. Vissa nationella stödsystem har också dykt upp i länder med låga marknadsandelar för fjärrvärme. Forsknings- och utvecklingsfonder för fjärrvärme som främjar koldioxidutsläpp har ökat under de senaste åren, både nationellt och inom EU. På barriärsidan erkänner inte de internationella reglerna för energi- och koldioxidredovisning fortfarande den verkliga karaktären av värmeåtervinning i fjärrvärmesystem. Den europeiska fjärrvärmesektorn väntar fortfarande på pålitliga internationella eller nationella ersättningssystem för koldioxidavskiljning från förbränning av biomassa och avfall.

**För det sjunde**, den framväxande användningen av digitala planeringsmodeller har underlättat uppgiften att sammanföra många olika lokala förhållanden till nationella nivåer och EU-nivån samt att ge konkreta råd för utbyggnad av befintliga fjärrvärmesystem och förslag på nya fjärrvärmesystem.

## 11 Aggregerade slutsatser

Knutna till de tre inledande forskningsfrågorna i avsnitt 1.3 har denna inventering av tidiga projekt för fossilfria fjärrvärmesystem givit följande tre viktiga slutsatser.

**För det första**, aktiviteter för **fossilfri fjärrvärme** kan delas in i ersättande och stödjande möjligheter. **Ersättande möjligheter** i värmeförsörjningen inkluderar linjär försörjning från förnybar energi, värmeåtervinning från processer som genererar restvärme och icke-fossila sätt att möta spetsbehov under mycket kalla dagar. Den linjära värmeförsörjningen baseras på geotermisk värme, solvärme och eltillförsel. Nya aktiviteter för värmeåtervinning är möjliga från många olika samhällsprocesser, såsom bioraffinaderier, vätgasförsörjning, petrokemiska anläggningar, eldistribution, fjärrkyla, datacenter, batterifabriker, livsmedelsförsörjning och avloppsvatten. Värmelager kan göra värmeleveransen mer oberoende av värmertilförseln, vilket också ger ytterligare möjligheter att minska spetsbelastningar. **Stödjande möjligheter** innehåller främst aktiviteter för att erhålla lägre temperaturer i värmedistributionsnät, vilket ökar lönsamheten vid användning av lågtempererade värmekällor. Dessa aktiviteter utförs när man använder värme, ansluter kunder och flyttar värme. En planerad stödaktivitet är också avskiljning av biogen koldioxid från det naturliga kolkretsloppet, även om ett lämpligt internationellt ersättningsystem för detta fortfarande saknas.

**För det andra**, karaktären hos **möjligheterna till fossilfritt** skiljer sig från de traditionella erfarenheterna baserade på fossila bränslen. Tillgången på möjligheter till fossilfritt beror på lokala förhållanden, medan fossila bränslen transporterades från tillgängliga globala resurser, vilket gav full frihet att använda fossila bränslen var som helst i världen. Härigenom kommer fossilfria fjärrvärmesystem inte bli så likartade som traditionella fjärrvärmesystem var med fossila bränslen. De lokala förutsättningarna för fossilfri fjärrvärme ger något lägre frihetsgrader för implementering av ersättande möjligheter i befintliga byggnader eller system. Därför är det viktigt för framtiden att utnyttja den högre frihetsgrad som är möjlig i nya byggnader och system genom att använda nya metoder mm.

**För det tredje**, de **gemensamma nämnarna** för de 70 identifierade möjligheterna är antal frihetsgrader för fossilfrihet, handlingsplaner för att erhålla lägre temperaturer i värmedistributionsnät, olika sätt att använda värmepumpar för att uppgradera låga framtemperaturer för att tillgodose högre temperaturbehov hos kunderna, möjliga smarta digitaliseringsalternativ, tydliga leveransansvar, gynnsamma institutionella ramar samt digitala planeringsverktyg. Dessa sju gemensamma nämnare är effektiva verktyg för att få mer effektiva fossilfria fjärrvärmesystem, eftersom den traditionella fjärrvärmetekniken en gång i tiden utformades för system baserade på användning av fossila bränslen.

## 12 Referenser

- ACUÑA, J., LAZZAROTTO, A., GARCIA, J., PALLARD, W. M., TOPEL, M., HESSELBRANDT, M., MALMBERG, M. & ABUASBEH, M. 2021. Tools For Design of High Temperature Borehole Storage In District Heating Production. Sweden. Available from: <https://energiforsk.se/media/29817/tools-for-design-of-high-temperature-borehole-storage-in-dhp-energiforskrappport-2021-770.pdf>.
- AGFW 2015. EnEff:Heat | Energy-efficient district heating supply using heat from mine water (issue 31). AGFW. Available from: [https://www.agfw-shop.de/agfw-fachliteratur/forschung-und-entwicklung/energieeffiziente-fernwaermeversorgung-unter-nutzung-der-waerme-aus-grubenwaessern.html?\\_\\_store=en&\\_\\_from\\_store=de](https://www.agfw-shop.de/agfw-fachliteratur/forschung-und-entwicklung/energieeffiziente-fernwaermeversorgung-unter-nutzung-der-waerme-aus-grubenwaessern.html?__store=en&__from_store=de).
- AGORA ENERGIEWENDE & FRAUNHOFER IEG 2023. Roll-out von Großwärmepumpen in Deutschland. Strategien für den Markthochlauf in Wärmenetzen und Industrie. Available from: <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/roll-out-von-grosswaermepumpen-in-deutschland/>.
- AGUILERA, J. J., MEESENBURG, W., OMMEN, T., MARKUSSEN, W. B., POULSEN, J. L., ZÜHLSDORF, B. & ELMEGAARD, B. 2022. A review of common faults in large-scale heat pumps. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 168, 112826. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112826>.
- AIRU 2021. District Heating in Italy in 2020. Milan. Available from: <https://www.airu.it/teleriscaldamento/#ANNUARIO>.
- ATIENZA-MÁRQUEZ, A., BRUNO, J. C. & CORONAS, A. 2019. Recovery and Transport of Industrial Waste Heat for Their Use in Urban District Heating and Cooling Networks Using Absorption Systems. *Applied Sciences*, 10(1), 291. Available from: <https://doi.org/10.3390/app10010291>.
- AVERFALK, H., BENAKOPOULOS, T., BEST, I., DAMMEL, F., ENGEL, C., GEYER, R., GUÐMUNDSSON, O., LYGNERUD, K., OLTMANN, J., NORD, N., PONWEISER, K., SCHMIDT, D., SCHRAMMEL, H., SKAARUP ØSTERGAARD, D., SVENDSEN, S., TUNZI, M. & WERNER, S. 2021. Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook: Final Report of IEA DHC Annex TS2. Implementation of Low-Temperature District Heating Systems. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag. Available from: <https://doi.org/10.24406/publica-fhg-301176>.
- AVERFALK, H., INGVARSSON, P., PERSSON, U., GONG, M. & WERNER, S. 2017. Large heat pumps in Swedish district heating systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 1275-1284. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.135>.
- AVERFALK, H., OTTERMO, F. & WERNER, S. 2019. Pipe Sizing for Novel Heat Distribution Technology. *Energies*, 12(7), 1276. Available from: <http://www.mdpi.com/1996-1073/12/7/1276>.
- AVERFALK, H. & WERNER, S. 2017. Essential improvements in future district heating systems. *Energy Procedia*, 116, 217-225. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.069>.
- AVERFALK, H. & WERNER, S. 2018. Novel low temperature heat distribution technology. *Energy*, 145, 526-539. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.157>.
- AVERFALK, H. & WERNER, S. 2020. Economic benefits of fourth generation district heating. *Energy*, 193, 116727. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116727>.
- BACQUET, A., GALINDO FERNÁNDEZ, M., OGER, A., THEMESSEL, N., FALLAHNEJAD, M., KRANZL, L., POPOVSKI, E., STEINBACH, J., BÜRGER, V., KÖHLER, B., BRAUNGARDT, S., BILLERBECK, A., BREITSCHOPF, B. & WINKLER, J. 2022a. District heating and cooling in the European Union: overview of markets and regulatory frameworks under the revised Renewable Energy Directive. Annexes 1



- and 2: Final version. *In*: HOOS, E. (ed.). Luxembourg: Directorate-General for Energy - European Commission,. Available from: <https://doi.org/10.2833/057638>.
- BACQUET, A., GALINDO FERNÁNDEZ, M., OGER, A., THEMESSEL, N., FALLAHNEJAD, M., KRANZL, L., POPOVSKI, E., STEINBACH, J., BÜRGER, V., KÖHLER, B., BRAUNGARDT, S., BILLERBECK, A., BREITSCHOPF, B. & WINKLER, J. 2022b. District heating and cooling in the European Union: overview of markets and regulatory frameworks under the revised Renewable Energy Directive. Annexes 3 to 5: Final version. *In*: HOOS, E. (ed.). Luxembourg: Directorate-General for Energy - European Commission,. Available from: <https://doi.org/10.2833/220399>.
- BACQUET, A., GALINDO FERNÁNDEZ, M., OGER, A., THEMESSEL, N., FALLAHNEJAD, M., KRANZL, L., POPOVSKI, E., STEINBACH, J., BÜRGER, V., KÖHLER, B., BRAUNGARDT, S., BILLERBECK, A., BREITSCHOPF, B. & WINKLER, J. 2022c. District heating and cooling in the European Union: overview of markets and regulatory frameworks under the revised Renewable Energy Directive. Annexes 6 and 7: final version. *In*: HOOS, E. (ed.). Luxembourg: Directorate-General for Energy - European Commission,. Available from: <https://doi.org/10.2833/96390>.
- BACQUET, A., GALINDO FERNÁNDEZ, M., OGER, A., THEMESSEL, N., FALLAHNEJAD, M., KRANZL, L., POPOVSKI, E., STEINBACH, J., BÜRGER, V., KÖHLER, B., BRAUNGARDT, S., BILLERBECK, A., BREITSCHOPF, B. & WINKLER, J. 2022d. District heating and cooling in the European Union: overview of markets and regulatory frameworks under the revised Renewable Energy Directive. Main Report: Final version. *In*: HOOS, E. (ed.). Directorate-General for Energy - European Commission,. Available from: <https://doi.org/10.2833/962525>.
- BANKS, D., ATHRESH, A., AL-HABAIBEH, A. & BURNSIDE, N. 2019. Water from abandoned mines as a heat source: practical experiences of open-and closed-loop strategies, United Kingdom. *Sustainable Water Resources Management*, 5, 29-50. Available from: <https://doi.org/10.1007/s40899-017-0094-7>.
- BEAUVAIS, A. & EPP, B. 2023. The Rise of Solar District Heating. IEA SHC Task 68 - Efficient Solar District Heating Systems. Available from: <https://www.euroheat.org/static/85535fa5-8e67-47a2-b670e32d3891af70/The-Rise-of-Solar-District-Heating.pdf>.
- BEIRON, J., SVANBERG FRISINGER, M.-S., HOLM, J., JOHNSSON, F., UNGER, T. & WOLF, J. 2022. Teknik, systemintegration och kostnader för Bio-CCS. Energiforsk. Available from: <https://energiforsk.se/program/bio-ccs-i-fjarrvarmesektorn/rapporter/teknik-systemintegration-och-kostnader-2022-837>.
- BERGSTRÖM, R. & EKENGREN, Ö. 1993. Konvertering av oljeberggrum till energilager. Stockholm, Sweden: Byggnadsforskningrådet. Available from: [https://gupea.ub.gu.se/bitstream/handle/2077/48035/gupea\\_2077\\_48035\\_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://gupea.ub.gu.se/bitstream/handle/2077/48035/gupea_2077_48035_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- BERTELSEN, N., MATHIESEN, B. V., DJØRUP, S. R., SCHNEIDER, N. C. A., PAARDEKOOPEL, S., SÁNCHEZ-GARCÍA, L., THELLUFSEN, J. Z., KAPETANAKIS, J., ANGELINO, L. & KIRUJA, J. 2021. Integrating Low-Temperature Renewables in District Energy Systems. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency (IRENA). Available from: <https://www.irena.org/publications/2021/March/Integrating-low-temperature-renewables-in-district-energy-systems>.
- BIELEWSKI, M., PFRANG, A., BOBBA, S., KRONBERGA, A., GEORGAKAKI, A., LETOUT, S., KUOKKANEN, A., MOUNTRAKI, A., INCE, E., SHTJEFNI, D., JOANNY ORDÓÑEZ, G., EULAERTS, O. & GRABOWSKA, M. 2022. Clean Energy Technology Observatory: Batteries for Energy Storage in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets. *Clean Energy Technology Observatory (CETO)*. Luxembourg: Joint Research Centre. Available from: <https://doi.org/10.2760/808352>.



- BILLERBECK, A., BREITSCHOPF, B., WINKLER, J., BÜRGER, V., KÖHLER, B., BACQUET, A., POPOVSKI, E., FALLAHNEJAD, M., KRANZL, L. & RAGWITZ, M. 2023. Policy frameworks for district heating: A comprehensive overview and analysis of regulations and support measures across Europe. *Energy Policy*, 173, 113377. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113377>.
- BIOENERGI. 2020. Mälarenergi undersöker om kraftvärmeverket i Västerås kan bli kolsänka. *Bioenergitidningen*. Available from: <https://bioenergitidningen.se/malarenergi-undersoker-om-kraftvarmeverket-i-vasteras-kan-bli-kolsanka/>.
- BIOENERGI. 2022. Öresundskraft testar koldioxidavskiljning med ny teknik. *Bioenergitidningen*. Available from: <https://bioenergitidningen.se/oresundskraft-testar-koldioxidavskiljning-med-ny-teknik/>
- BIOENERGI. 2023a. Södra i internationell storsatsning på koldioxidinfångning. *Bioenergitidningen*. Available from: <https://bioenergitidningen.se/sodra-i-internationell-storsatsning-pa-koldioxidinfangning/>.
- BIOENERGI. 2023b. Öresundskraft investerar 70 miljoner kronor i bio-CCS. *Bioenergitidningen*. Available from: <https://bioenergitidningen.se/oresundskraft-satsar-70-miljoner-kronor-pa-koldioxidinfangning-med-ccs/>.
- BIOENERGI. 2023c. Ørsted tecknar avtal med Carbon Clean för koldioxidinfångning. *Bioenergitidningen*. Available from: <https://bioenergitidningen.se/orsted-tecknar-avtal-med-carbon-clean-for-koldioxidinfangning-vid-flagshipone/>.
- BORGLUND, A.-S. 2021. Så har Ulricehamns Energi kapat kostnaderna för fjärrvärme. *Tidningen Energi*. Available from: <https://www.energi.se/artiklar/2022/januari-2022/sa-har-ulricehamns-energi-kapat-fjarrvarmekostnaderna/>.
- BRACKE, R. 2018. *Potenzialstudie warmes Grubenwasser*, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Available from: [https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3\\_fachberichte/LANUV-Fachbericht\\_90\\_web.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/LANUV-Fachbericht_90_web.pdf).
- BRAUNGARDT, S., TEZAK, B., ROSENOW, J. & BÜRGER, V. 2023. Banning boilers: An analysis of existing regulations to phase out fossil fuel heating in the EU. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 183, 113442. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113442>.
- BRENNENSTUHL, M., ZEH, R., OTTO, R., PESCH, R., STOCKINGER, V. & PIETRUSCHKA, D. 2019. Report on a Plus-Energy District with Low-Temperature DHC Network, Novel Agrothermal Heat Source, and Applied Demand Response. *Applied Sciences*, 9(23), 5059. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/23/5059>.
- BRITO, N., HÖFLER, K., MAYDL, J., VENUS, D., MORCK, O., ØSTERGAARD, I., THOMSEN, K., ROSE, J., JENSEN, S., KAAH, H., ALMEIDA, M., FERREIRA, M., BAPTISTA, N., FRAGOSO, R., BLOMSTERBERG, Å., CITHERLET, S. & PÉRISSET, B. 2014. *Shining Examples of Cost-Effective Energy and Carbon Emissions Optimization in Building Renovation (Annex 56)*. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/265641312\\_Shining\\_Examples\\_of\\_Cost-Effective\\_Energy\\_and\\_Carbon\\_Emissions\\_Optimization\\_in\\_Building\\_Renovation\\_Annex\\_56](https://www.researchgate.net/publication/265641312_Shining_Examples_of_Cost-Effective_Energy_and_Carbon_Emissions_Optimization_in_Building_Renovation_Annex_56).
- BRUNSTRÖM, C., EFTRING, B. & CLAEISSON, J. 1988. THE LYCKEBO PROJECT - HEAT LOSSES FROM THE ROCK CAVERN STORAGE. In: BLOSS, W. H. & PFISTERER, F. (eds.) *Advances In Solar Energy Technology*. Oxford: Pergamon. Available from: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-034315-0.50246-9>.
- BRUUS, F. & SØRENSEN, P. A. 2019. New thermal heat storage in Greater Copenhagen. *HotCool*, 4, 16-19. Available from: <https://online.flippingbook.com/view/175776627/>.
- CALIKUS, E., NOWACZYK, S., SANT'ANNA, A., GADD, H. & WERNER, S. 2019. A data-driven approach for discovering heat load patterns in district heating. *Applied Energy*, 252, 113409. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113409>.

- CALIKUS, E., NOWACZYK, S., SANT'ANNA, A. & BYTTNER, S. 2018. Ranking Abnormal Substations by Power Signature Dispersion. *Energy Procedia*, 149, 345-353. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.198>.
- CELSIUS & EUROHEAT & POWER 2023. Advancing District Heating & Cooling Solutions and Uptake in European Cities - Overview of support activities and projects of the European Commission on district heating and cooling. Deliverable D2.1. Available from: <https://www.euroheat.org/static/4facc35c-f376-459d-876b6118ae6ce07a/advancing-district-heating-cooling-solutions.pdf>.
- CLEAN 2019. Kogebog for genbrug af varme fra kølediske. Final report from the Danish EUDP project called Super Supermarkets. Available from: <https://cleancluster.app.box.com/s/ogv3srpb674v03wua6rxvb64a40ma6tf>.
- CONNOLLY, D. 2017. Heat Roadmap Europe: Quantitative comparison between the electricity, heating, and cooling sectors for different European countries. *Energy*, 139, 580-593. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.037>.
- CONNOLLY, D., HANSEN, K., DRYSDALE, D., LUND, H., MATHIESEN, B. V., WERNER, S., PERSSON, U., MØLLER, B., WILKE, O. G., BETTGENTHÄUSER, K., POWWELS, W., BOERMANS, T., NOVOSEL, T., KRAJAČIĆ, G., DUIĆ, N., TRIER, D., MØLLER, J. D., ODGAARD, A. M. & JENSEN, L. L. 2015. Heat Roadmap Europe 3 (STRATEGO): Translating the Heat Roadmap Europe Methodology to Member State Level. Department of Development and Planning, Aalborg University. Available from: <https://vbn.aau.dk/da/publications/heat-roadmap-europe-3-stratego-translating-the-heat-roadmap-europ>.
- CONNOLLY, D., LUND, H., MATHIESEN, B. V., WERNER, S., MÖLLER, B., PERSSON, U., BOERMANS, T., TRIER, D., ØSTERGAARD, P. A. & NIELSEN, S. 2014. Heat Roadmap Europe: Combining district heating with heat savings to decarbonise the EU energy system. *Energy Policy*, 65, 475-489. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.035>.
- CONNOLLY, D., MATHIESEN, B. V., ØSTERGAARD, P. A., MÖLLER, B., NIELSEN, S., LUND, H., PERSSON, U., NILSSON, D., WERNER, S. & TRIER, D. 2012. Heat Roadmap Europe 2050 - first pre-study for EU27. Available from: [http://vbn.aau.dk/files/77244240/Heat\\_Roadmap\\_Europe\\_Pre\\_Study\\_1.pdf](http://vbn.aau.dk/files/77244240/Heat_Roadmap_Europe_Pre_Study_1.pdf).
- CONNOLLY, D., MATHIESEN, B. V., ØSTERGAARD, P. A., MÖLLER, B., NIELSEN, S., LUND, H., PERSSON, U., WERNER, S., GRÖZINGER, J., BOERMANS, T., BOSQUET, M. & TRIER, D. 2013. Heat Roadmap Europe - second pre-study for EU27. Available from: [http://vbn.aau.dk/files/77342092/Heat\\_Roadmap\\_Europe\\_Pre\\_Study\\_II\\_May\\_2013.pdf](http://vbn.aau.dk/files/77342092/Heat_Roadmap_Europe_Pre_Study_II_May_2013.pdf).
- DANSK FJERNVARME 2008. Dansk Fjernvarme Benchmarking statistik 2008/2009 (Danish District Heating Association Benchmarking statistics 2008/2009). In: DANSK FJERNVARME (ed.). Kolding. Available from: <https://danskfjernvarme.dk/>.
- DANSK FJERNVARME 2010. Dansk Fjernvarmes Benchmarkingstatistik 2010/2011 (Danish District Heating Association's Benchmarking statistics 2010/2011). In: DANSK FJERNVARME (ed.). Available from: <https://danskfjernvarme.dk/>.
- DANSK FJERNVARME 2012. Nøgletal Benchmarking 2012 (Key numbers' benchmarking 2012). In: DANSK FJERNVARME (ed.). Kolding. Available from: <https://danskfjernvarme.dk/>.
- DANSK FJERNVARME 2014. Dansk Fjernvarmes årsstatistik 2014/2015 (Danish District Heating Association's yearly statistics 2014/2015). In: DANSK FJERNVARME (ed.). Kolding. Available from: <https://danskfjernvarme.dk/>.
- DANSK FJERNVARME 2015. Nøgletal Benchmarking 2015. In: FJERNVARME, D. (ed.). Kolding. Available from: <https://danskfjernvarme.dk/>.
- DANSK FJERNVARME 2017. Nøgletal 2017 (Key numbers 2017). In: DANSK FJERNVARME (ed.). Kolding. Available from: <https://danskfjernvarme.dk/>.

- DANSK FJERNVARME 2018. Nøgletal 2018 (Key numbers 2018). In: DANSK FJERNVARME (ed.). Kolding. Available from: <https://danskfjernvarme.dk/>.
- DANSK FJERNVARME 2019. Nøgletal 2019 (Key numbers 2019). In: FJERNVARME, D. (ed.). Kolding. Available from: <https://danskfjernvarme.dk/>.
- DANSK FJERNVARME 2020. Nøgletal 2020 (Key numbers 2020). Kolding. Available from: <https://danskfjernvarme.dk/>.
- DANSK FJERNVARME 2023. Digitalisering og datadreven drift i danske fjernvarmeselskaber. Kolding. Available from: <https://danskfjernvarme.dk/media/txqbdy4/inspirationskatalog-digitalisering-2023.pdf>.
- DAVID, A., VAD MATHIESEN, B., AVERFALK, H., WERNER, S. & LUND, H. 2017. Heat Roadmap Europe: Large-Scale Electric Heat Pumps in District Heating Systems. *Energies*, 10(4), 578. Available from: <http://www.mdpi.com/1996-1073/10/4/578>.
- DAVIES, G., LAGOEIRO, H., REVESZ, A. & MAIDMENT, G. 2023. Waste Heat Recovery From Electrical Substations. *ASHRAE Transactions*, 129. Available from: <https://openresearch.lsbu.ac.uk/item/92w24>.
- DAVIES, G. F., MAIDMENT, G. G. & TOZER, R. M. 2016. Using data centres for combined heating and cooling: An investigation for London. *Applied Thermal Engineering*, 94, 296-304. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.09.111>.
- DE CHALENDAR, J. A., GLYNN, P. W. & BENSON, S. M. 2019. City-scale decarbonization experiments with integrated energy systems. *Energy & Environmental Science*, 12(5), 1695-1707. Available from: <https://doi.org/10.1039/C8EE03706J>.
- DE JONG, K. 2018. Malmo takes second generation heat pump plant in operation. *Euroheat and Power (English Edition)*, 15(1), 24-26. Available from: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85046290459&partnerID=40&md5=ccbd8e272f52c8c56cf767b1552d3255>.
- DÉNARIÉ, A., FATTORI, F., SPIRITO, G., MACCHI, S., CIRILLO, V. F., MOTTA, M. & PERSSON, U. 2021. Assessment of waste and renewable heat recovery in DH through GIS mapping: The national potential in Italy. *Smart Energy*, 1, 100008. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.segy.2021.100008>.
- DINCER, I. & OZCAN, H. 2018. 1.17 Geothermal Energy. In: DINCER, I. (ed.) *Comprehensive Energy Systems*. Oxford: Elsevier. Available from: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809597-3.00119-X>.
- DOMINKOVIĆ, D. F., GIANNIOU, P., MÜNSTER, M., HELLER, A. & RODE, C. 2018. Utilizing thermal building mass for storage in district heating systems: Combined building level simulations and system level optimization. *Energy*, 153, 949-966. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.093>.
- DOROTIĆ, H., ČULJAK, K., MIŠKIĆ, J., PUKŠEC, T. & DUIĆ, N. 2022. Technical and Economic Assessment of Supermarket and Power Substation Waste Heat Integration into Existing District Heating Systems. *Energies* [Online], 15. Available from: <https://doi.org/10.3390/en15051666>.
- E.ON. 2023. *E.ON ectogrid: developing Medicon Village* [Online]. Available from: [https://www.eon.se/en\\_US/foeretag/ectogrid/ectogrid-medicon-village](https://www.eon.se/en_US/foeretag/ectogrid/ectogrid-medicon-village). [Accessed 11/08/2023].
- EDITORIAL 2013. Heat roadmap Europe: Saving money with district heating. *Euroheat and Power (English Edition)*, 10(3), 14-15. Available from: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84885012286&partnerID=40&md5=82e7df4d6be8a3e2f5d1424f7adf3dfd>.
- EGEC 2023. Geothermal Market Report 2022. European Geothermal Energy Council. Brussels. Available from: <https://www.egec.org/media-publications/egec-geothermal-market-report-2022/>.
- EGGIMANN, S., VIVIAN, J., CHEN, R., OREHOUNIG, K., PATT, A. & FIORENTINI, M. 2023. The potential of lake-source district heating and cooling for European

- buildings. *Energy Conversion and Management*, 283, 116914. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.116914>.
- EHP-REDAKTION 2020. iHast-Projekt: Intelligente Hausanschlussstationen können Fernwärme noch effizienter machen. *Euro Heat&Power*. Available from: <https://www.energie.de/euroheatpower/news-detailansicht/nsctrl/detail/News/iHast-projekt-intelligente-hausanschlussstationen-koennen-fernwaerme-noch-effizienter-machen>.
- EMILSSON, E. & DAHLLÖF, L. 2019. Lithium-Ion Vehicle Battery Production - Status 2019 on Energy Use, CO2 Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint, and Recycling. *C-rapport*. IVL Svenska Miljöinstitutet. Available from: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ivl:diva-132>.
- ENERCITY 2023. Wärmeliefervertrag für Geothermieprojekt in Hannover. *Euroheat & Power*, 52(11-12), 7. Available from: Not available.
- ENERGIFÖRETAGEN 2022. Så när vi negativa utsläpp från fjärrvärmesektorn. Available from: <https://www.energiforetagen.se/globalassets/dokument/bioenergi/strategi-bio-ccs.pdf>.
- ENERGIMYNDIGHETEN 2022. Från små steg till stora kliv – En syntes av Industriklivets projekt inom bio-CCS. Energimyndigheten. Available from: <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=206974>.
- ENERGISTYRELSEN 2022. Fossilfri spidslast i fjernvarmesystemet. Energistyrelsen. Available from: [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Varme/drejobog\\_2022\\_endelig\\_v1.1.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Varme/drejobog_2022_endelig_v1.1.pdf).
- EPD INTERNATIONAL 2021. General Programme Instructions for the International EPD System. Version 4.0. Stockholm. Available from: <https://www.datocms-assets.com/37502/1617181375-general-programme-instructions-v-4.pdf>.
- ERHORN, H., GÖRRES, J., ILLNER, M., BRUHN, J.-P. & BERGMANN, A. "neckarPark Stuttgart»: District heat from wastewater. In: GASTALDI, M., ROSSI, R. & WEIDLICH, I., eds. International Symposium on District Heating and Cooling (DHC) 2018, 2018 Hamburg. Elsevier Ltd, 465-472. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.211>.
- EUROHEAT & POWER 2022. Large Heat Pumps in District Heating and Cooling. Brussels. Available from: <https://www.euroheat.org/static/c254bdc8-5b3b-4765-9a552f6f27af2253/V18-Technology-Report-Large-heat-pumps-in-District-Heating-and-Cooling-systems.pdf>.
- EUROHEAT & POWER 2023a. DHC Market Outlook 2023. Brussels. Available from: <https://www.euroheat.org/resource/dhc-market-outlook-2023.html>.
- EUROHEAT & POWER 2023b. Digitalisation in District Heating and Cooling Systems - A Tangible Perspective to Upgrade Performance. Brussels. Available from: <https://www.euroheat.org/static/b1707824-47b5-46c1-8accef5d236c04b2/DHC-Report-on-Digitalisation-in-DHC-systems.pdf>.
- EUROPEAN UNION 2023. Regulation (EU) 2023/839 of the European Parliament and of the Council of 19 April 2023. Brussels. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/839/oj>.
- FAESSLER, J. Valorisation de la géothermie: Le rôle clé des réseaux de chaleur (Valorization of geothermal energy: The key role of district heating). 25. Fachtagung von GEOTHERMIE.CH., 2015 Berne. Available from: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:76522>.
- FAESSLER, J. 2016. Valorisation de la géothermie: Le rôle clé des réseaux de chaleur (Valorization of geothermal energy: The key role of district heating). *Exemple d'un réseau multi-ressources avec majoritairement de la géothermie : 30 ans d'expérience à Chevilly-Larue, L'Hajj-les-Roses et Villejuif (Paris) (Example of a multi-resource network with mainly geothermal energy: 30 years of experience in Chevilly-Larue, L'Hajj-les-Roses and Villejuif (Paris))*. Available from:

- [https://www.unige.ch/sysener/files/6114/7858/6085/UNIGE\\_coursGeoDH1\\_6\\_PARI\\_S\\_FAESSLER\\_PDF.pdf](https://www.unige.ch/sysener/files/6114/7858/6085/UNIGE_coursGeoDH1_6_PARI_S_FAESSLER_PDF.pdf).
- FAESSLER, J. & LACHAL, B. M. 2017. Géothermie moyenne enthalpie avec valorisation dans les réseaux thermiques: Retours d'expérience sur trois installations et Proposition d'une grille d'analyse (Mean enthalpy geothermal energy with recovery in thermal networks: Feedback on three installations and Proposal for an analysis grid). Genève. Available from: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:93171>.
- FAGERSTRÖM, A., GRAHN, D., LUNDBERG, S., POULIKIDOU, S., RYDBERG, T., LEWRÉN, A., MARTIN, M., ANDERSON, S., HANSSON, J. & HJORT, A. 2021. Large scale bio electro jet fuel production integration at CHP-plant in Östersund, Sweden. IVL Svenska Miljöinstitutet. Available from: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ivl:diva-2772>.
- FANG, H., XIA, J., ZHU, K., SU, Y. & JIANG, Y. 2013. Industrial waste heat utilization for low temperature district heating. *Energy Policy*, 62, 236-246. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.104>.
- FARQUHARSSON, N., SCHUBERT, A. & STEINER, U. 2016. Geothermal Energy in Munich (and Beyond) - A Geothermal City Case Study. *GRC Transactions*. Available from: <https://publications.mygeoenergynow.org/grc/1032324.pdf>.
- FEIKE, F., OLTMANN, J., DAMMEL, F. & STEPHAN, P. 2021. Evaluation of the waste heat utilization from a hot-water-cooled high performance computer via a heat pump. *Energy Reports*, 7, 70-78. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.09.038>.
- FJERNVARME, D. 2023. Sådan sikrer vi en ambitiøs udbygning af CO2-fangst i Danmark. Available from: <https://danskfjernvarme.dk/media/t50bpf0q/ccus-publikation-2023.pdf>.
- FJERNVERMEN. 2023. Overblik: Den politiske aftale om CCS. *Fjernvermen*. Available from: <https://www.ca-eed.eu/content/download/3956/file/DistrictHeatingVision2040-StadtwerkeMuenchenSWM.pdf/attachment>.
- FRONING, S. 2012. Study challenges traditional energy modelling: Heat roadmap Europe 2050-first pre-study for EU27. *Euroheat and Power (English Edition)*, 9(3), 16-18. Available from: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84866908906&partnerID=40&md5=aac84d2072741c16387c4b248383d0fe>.
- GABRIELLI, P., ACQUILINO, A., SIRI, S., BRACCO, S., SANSAVINI, G. & MAZZOTTI, M. 2020. Optimization of low-carbon multi-energy systems with seasonal geothermal energy storage: The Anergy Grid of ETH Zurich. *Energy Conversion and Management: X*, 8, 100052. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2020.100052>.
- GADD, H. 2012. *To measure is to know!* Licentiate Degree Licentiate thesis, comprehensive summary, Lunds Tekniska Högskolan. Available from: [https://www.energy.lth.se/fileadmin/energivetenskaper/Avhandlingar/Henrik\\_Gadd\\_final\\_lic.pdf](https://www.energy.lth.se/fileadmin/energivetenskaper/Avhandlingar/Henrik_Gadd_final_lic.pdf).
- GADD, H. & WERNER, S. 2021. 21 - Thermal energy storage systems for district heating and cooling. In: CABEZA, L. F. (ed.) *Advances in Thermal Energy Storage Systems (Second Edition)*. Woodhead Publishing. Available from: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819885-8.00021-8>.
- GALINDO FERNÁNDEZ, M., BACQUET, A., BENSADI, S., MORISOT, P. & OGER, A. 2021. Integrating renewable and waste heat and cold sources into district heating and cooling systems: Case studies analysis, replicable key success factors and potential policy implications. Luxembourg: Joint Research Centre. Available from: <https://doi.org/10.2760/111509>.
- GARABETIAN, T., DUMAS, P., SERRANO, C., MAZZAGATTI, V., KUMAR, S., DIMITRISINA, R., ERBANOVA, H. & KATECHI, S. 2021. EGEN Geothermal Market Report. Bruxelles, Belgium: European Geothermal Energy Council.



- Available from: <https://www.egec.org/media-publications/egec-geothermal-market-report-2021/>.
- GAUDARD, A., WÜEST, A. & SCHMID, M. 2019. Using lakes and rivers for extraction and disposal of heat: Estimate of regional potentials. *Renewable Energy*, 134, 330-342. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.095>.
- GEHLIN, S. 2016. 11 - Borehole thermal energy storage. In: REES, S. J. (ed.) *Advances in Ground-Source Heat Pump Systems*. Woodhead Publishing. Available from: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100311-4.00011-X>.
- GEORGAKAKI, A., LETOUT, S., KUOKKANEN, A., MOUNTRAKI, A., INCE, E., SHITJEFNI, D., TAYLOR, N., SCHMITZ, A., DÍAZ VAZQUEZ, A., CHRISTOU, M., PENNINGTON, D. & MATHIEUX, F. 2022. Clean Energy Technology Observatory: Overall Strategic Analysis of Clean Energy Technology in the European Union – 2022 Status Report. *Clean Energy Technology Observatory (CETO)*. Luxembourg: Joint Research Centre. Available from: <https://doi.org/10.2760/12921>.
- GEYER, R., KRAIL, J., LEITNER, B., SCHMIDT, R.-R. & LEONI, P. 2021. Energy-economic assessment of reduced district heating system temperatures. *Smart Energy*, 2, 100011. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.segy.2021.100011>.
- GOODSTEIN, J. & HAUKURSSON, G. 2021. Nyt låg på damvarmelager sänker varmprisen i Marstal. *Fjernvarmen*, 59(2), 26-29. Available from: <https://fjernvarmen.danskfjernvarme.dk/p/magasinet-fjernvarmen/2021-03-29/r/7/12-13/3045/396539>.
- GRUNDFOS 2019. Temperaturoptimering i Gentofte Fjernvarme med Grundfos iGRID (Temperature optimization in Gentofte District Heating with Grundfos iGRID). Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=lW1Sj8I0q6E>.
- GRUNDFOS 2022. Albertslund enjoys ease of iGRID to control low-temp district heating. YouTube. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=8RIP-DcXBa4>.
- GRUNDFOS. 2023a. *Danish district heating company reduce heat loss by 25% with a low temperature zone* [Online]. Available from: <https://www.grundfos.com/about-us/cases/gentofte-case>. [Accessed 11/08/2023].
- GRUNDFOS. 2023b. *Danish utility enjoys ease of Grundfos iGRID to control low-temperature district heating* [Online]. Available from: <https://www.grundfos.com/about-us/cases/danish-utility-enjoys-ease-of-grundfos-igrid-to-control-low-temperature-district-heating>. [Accessed 11/08/2023].
- GRUNDFOS. 2023c. *iGRID* [Online]. Available from: <https://product-selection.grundfos.com/products/igrid?tab=products>. [Accessed 11/08/2023].
- GUDMUNDSSON, O., SCHMIDT, R.-R., DYRELUND, A. & THORSEN, J. E. 2022. Economic comparison of 4GDH and 5GDH systems – Using a case study. *Energy*, 238, 121613. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121613>.
- GUELPA, E. & VERDA, V. 2020. Automatic fouling detection in district heating substations: Methodology and tests. *Applied Energy*, 258, 114059. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114059>.
- GURKLIENĚ, R., HOGLAND, W., KNUTSSON, H., LUKOŠEVIČIUS, V., LUNDSTRÖM, J., OHLSSON, M., ROGALA, A., RYBARCZYK, P. & ZAJACZKOWSKI, K. 2023. *BSAM Data-Driven Proactive Maintenance Handbook : Smart maintenance of district heating networks*. Kalmar. Available from: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:lnu:diva-122812>.
- GYNTHER, L., KIURU, T. & MEETTERI, J. 2022. Energy Efficiency of Data Centers in Finland– Indicators, Policies and Good Practices. Available from: [https://www.motiva.fi/files/20768/Energy\\_Efficiency\\_of\\_Data\\_Centers\\_in\\_Finland\\_-\\_November\\_2022.pdf](https://www.motiva.fi/files/20768/Energy_Efficiency_of_Data_Centers_in_Finland_-_November_2022.pdf).
- HAHN, F., JAGERT, F., BUSSMANN, G., NARDINI, I., BRACKE, R., SEIDEL, T. & KÖNIG, T. 2019. The reuse of the former Markgraf II colliery as a mine thermal energy storage. *European Geothermal Congress 2019*. Den Haag, The Netherlands. Available from: <https://europeangeothermalcongress.eu/wp-content/uploads/2019/07/64.pdf>.

- HANSEN, K., CONNOLLY, D., LUND, H., DRYSDALE, D. & THELLUFSEN, J. Z. 2016. Heat Roadmap Europe: Identifying the balance between saving heat and supplying heat. *Energy*, 115, 1663-1671. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.06.033>.
- HANSEN, N. 2023. Lavtemperatur: Gode erfaringer i Albertslund. *Fjernvarmen*, 62(4), 44-47. Available from: <https://fjernvarmen.danskfjernvarme.dk/p/magasinet-fjernvarmen/2023-08-18/a/lavtemperatur-gode-erfaringer-i-albertslund/3045/1052833/42143019>.
- HAY, S., HEILER, D., KALLERT, A. M., LOTTIS, D., ZIEGLER, R., WEIDLICH, I. & DOLLHOPF, S. 2022. Fernwärme im Kontext nationaler Klimaziele: Potenziale für 'UrbanTurn'. Frankfurt am Main: AGFW. Available from: <https://www.agfw.de/forschung/urbanturn>.
- HAY, S., LEUTERITZ, A. & MORGENTHUM, M. 2021. Remaining service life of preinsulated bonded pipes—A key element of transformation strategies and future district heating systems in Germany. *Energy Reports*, 7, 440-448. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.08.084>.
- HEERUP, C. 2019. Operation costs for heat recovery from supermarkets to district heating. Proceedings of the 25th IIR International Congress of Refrigeration: Montréal, Canada, August 24-30, 2019. Available from: <http://dx.doi.org/10.18462/iir.icr.2019.0548>.
- HELDEN, W. V., LEUSBROCK, I., O'DONOVAN, K., REISENBICHLER, M., RIEGLER, T., KNABL, S., WALLNER, G. M., PEHAM, L., PUGSTALLER, R., MUSER, C., DRUCKER, P., MOSER, M., OCHS, F., TOSATTO, A., DAHASH, A. & BIANCHI-JANETTI, M. 2021. Giga-scale thermal energy storage for renewable districts. Gleisdorf, Austrian: Austrian Research Promotion Agency (FFG). Available from: [https://www.gigates.at/images/Appendix16\\_publishable\\_report\\_graphically\\_designed\\_EN.pdf](https://www.gigates.at/images/Appendix16_publishable_report_graphically_designed_EN.pdf).
- HELEN 2011. New Energy-Efficient Data Center for SuviLahti in Helsinki. *Euroheat & Power (eng ed.)*, 8(1), 26. Available from: Not available.
- HENKE, KRÖPER, SPANNIG, ZEISBERGER, ZIEGLER, BRAUNMILLER, DAVID, JENSCH & PIOTROWSKI 2015. EnEff:Wärme | LowEx-Systeme: Breitenanwendung von Niedertemperatur-Systemen für eine nachhaltige Wärmeversorgung. *AGFW Forschung und Entwicklung*. Available from: <https://www.tib.eu/en/search/id/TIBKAT%3A856917435/>.
- HERS, S., AFMAN, M., CHERIF, S. & ROOIJERS, F. 2015. Potential for Power-to-Heat in the Netherlands. Available from: [https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/04/CE\\_Delft\\_3E04\\_Potential\\_for\\_P2H\\_in\\_Netherlands\\_DEF.pdf](https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/04/CE_Delft_3E04_Potential_for_P2H_in_Netherlands_DEF.pdf).
- HUETTL, C. 2022. Making the Most of Waste Heat. *Euroheat & Power (English edition)*, 19(2), 25-27. Available from: Not available.
- HUMMEL, M., MÜLLER, A., FORTHUBER, S., KRANZL, L., MAYR, B. & HAAS, R. 2023. How cost-efficient is energy efficiency in buildings? A comparison of building shell efficiency and heating system change in the European building stock. *Energy Efficiency*, 16(5), 32. Available from: <https://doi.org/10.1007/s12053-023-10097-6>.
- IEA-HPT 2019. Heat Pumps in District Heating and Cooling Systems. IEA technology collaboration programme on heat pump technologies, annex 47. Borås. Available from: <https://heatpumpingtechnologies.org/publications/heat-pumps-in-district-heating-and-cooling-systems-final-report/>.
- IEA-HYDROGEN 2022. Global Hydrogen Review 2022. International Energy Agency. Available from: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022>.
- IEA 2005. Energy Statistics Manual. International Energy Agency, Paris. Available from: <https://www.iea.org/reports/energy-statistics-manual-2>.
- IEA 2022a. The Future of Heat Pumps. International Energy Agency. Paris. Available from: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps>.



- IEA 2022b. Global Hydrogen Review 2022. International Energy Agency. Available from: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022>.
- IEA 2022c. Hydrogen Projects Database. International Energy Agency. Available from: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-projects-database>.
- IEA 2023. Database documentation, World Energy Balances, 2023 edition, International Energy Agency. Paris. Available from: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-balances>.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). 2022. *Annex XIII Project 07* [Online]. Available from: <https://www.iea-dhc.org/the-research/annexes/annex-xiii/annex-xiii-project-07>. [Accessed 11/08/2023].
- IPCC 2006a. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Intergovernmental Panel on Climate Change. Available from: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
- IPCC 2006b. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2: Energy, Intergovernmental Panel on Climate Change. Available from: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>.
- IPCC 2022. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Cambridge, UK and New York, NY, USA. Available from: <https://doi.org/10.1017/9781009157926>.
- IRENA 2022. Powering agri-food value chains with geothermal heat: A guidebook for policy makers, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Available from: <https://www.irena.org/publications/2022/Jun/Powering-Agri-food-Value-Chains-with-Geothermal-Heat>.
- JANGSTEN, M., KENSBY, J., DALENBÄCK, J. O. & TRÜSCHEL, A. 2017. Survey of radiator temperatures in buildings supplied by district heating. *Energy*, 137, 292-301. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.017>.
- JESWANI, H., KRÜGER, C., RUSS, M., HORLACHER, M., ANTONY, F., HANN, S. & AZAPAGIC, A. 2021. Life cycle environmental impacts of chemical recycling via pyrolysis of mixed plastic waste in comparison with mechanical recycling and energy recovery. *Science of the Total Environment*, 769, 144483. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144483>.
- JODEIRI, A. M., GOLDSWORTHY, M. J., BUFFA, S. & COZZINI, M. 2022. Role of sustainable heat sources in transition towards fourth generation district heating—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, 112156. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112156>.
- JOHANSSON, C. 2014. *On Intelligent District Heating*. Doctoral thesis, comprehensive summary, Blekinge Institute of Technology. Available from: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:bth-00587>.
- JOHANSSON, C. 2015. Intelligent fjärrvärme - Karlshamnsmodellen. Utveckling av utvärderingsprocess samt ökad medvetenhet om modellens fördelar. Länsstyrelsen i Blekinge, rapport 2015:15. Available from: <https://www.lansstyrelsen.se/blekinge/om-oss/vara-tjanster/publikationer/2015/intelligent-fjarrvarmenat--karlshamnsmodellen.html>.
- JORSAL, P. COOL DH development of new PE-RT multilayer PE-RT & Low temperature district heating systems: What is the right choice? The COOL DH Conference: Towards Next Generation of District Heating, 2022a Malmö and Høje-Taastrup. COOL DH. Available from: <http://www.cooldh.eu/wp-content/uploads/2022/05/6-Peter-Jorsal-COOL-DH-development-of-new-multilayer-PE-RT-pipes-Hoje-Tastrup-19.05.2022.pdf>.
- JORSAL, P. 2022b. COOL DH development of new PE-RT multilayer PE-RT & Low temperature district heating systems: What is the right choice? YouTube: Euroheat & Power. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=3I7vTSQx2fQ&t=7240s>.
- JUHLIN, C., ERLSTRÖM, M., LUND, B. & ROSBERG, J.-E. 2022. Seismic reflectivity, fracturing and stress field data from the FFC-1 exploratory geothermal project in

- SW Skåne, Sweden. *Geothermics*, 105, 102521. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2022.102521>.
- KAARUP OLSEN, P., HOLM CHRISTIANSEN, C., HOFMEISTER, M., SVENDSEN, S., DALLA ROSA, A., THORSEN, J.-E., GUÐMUNDSSON, O. & BRAND, M. 2014. Guidelines for Low-Temperature District Heating. Available from: [https://energiforskning.dk/sites/energiforskning.dk/files/slutrapporter/guidelines\\_for\\_ltdh-final\\_rev1\\_0.pdf](https://energiforskning.dk/sites/energiforskning.dk/files/slutrapporter/guidelines_for_ltdh-final_rev1_0.pdf).
- KALLESØE, A. J., VANGKILDE-PEDERSEN, T., NIELSEN, J. E., SØRENSEN, P. A., BAKEMA, G., DRIJVER, B., PITTENS, B., BUIK, N., EGERMANN, P., REY, C., MARAGNA, C., HAMM, V., GUGLIEMETTI, L., HAHN, F., NARDINI, I., KOORNNEEF, J. & DIDERIKSEN, K. 2019. Underground Thermal Energy Storage (UTES) – state-of-the-art, example cases and lessons learned. *HEATSTORE project report*. GEOTHERMICA – ERA NET Cofund Geothermal. Available from: [https://heatstore.eu/documents/HEATSTORE\\_UTES%20State%20of%20the%20Art\\_WP1\\_D1.1\\_Final\\_2019.04.26.pdf](https://heatstore.eu/documents/HEATSTORE_UTES%20State%20of%20the%20Art_WP1_D1.1_Final_2019.04.26.pdf).
- KAMSTRUP. 2023. *Heat Intelligence* [Online]. Available from: <https://www.kamstrup.com/en-en/heat-solutions/heat-analytics/heat-intelligence>. [Accessed 11/08/2023].
- KARLSSON, H. K., MAKHOOL, H., KARLSSON, M. & SVENSSON, H. 2021. Chemical absorption of carbon dioxide in non-aqueous systems using the amine 2-amino-2-methyl-1-propanol in dimethyl sulfoxide and N-methyl-2-pyrrolidone. *Separation and Purification Technology*, 256, 117789. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117789>.
- KAYS, W. M. & LONDON, A. L. 1955. *Compact Heat Exchangers: A Summary of Basic Heat Transfer and Flow Friction Design Data. First edition*, National Press. Available from: <https://books.google.se/books?id=5wQqAQAIAAJ>.
- KENSBY, J., TRÜSCHEL, A. & DALENBÄCK, J.-O. 2015. Potential of residential buildings as thermal energy storage in district heating systems – Results from a pilot test. *Applied Energy*, 137, 773-781. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.07.026>.
- KIM, J. & WEIDLICH, I. 2017. Identification of Individual District Heating Network Conditions using Equivalent Full Load Cycles. *Energy Procedia*, 116, 343-350. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.081>.
- KOEPPE, T., HOEFLICH, P. & PUTNAM, T. 2022. Hydrogen? A demonstration project yields some early clues. Available from: [https://www.districtenergy-digital.org/districtenergy/fall\\_2022/MobilePagedArticle.action?articleId=1827967#articleId1827967](https://www.districtenergy-digital.org/districtenergy/fall_2022/MobilePagedArticle.action?articleId=1827967#articleId1827967).
- KOLB, M. 2018. Fallbeispiel: Anergienetz Friesenberg der Familienheim-Genossenschaft Zürich (Case study: Anergy network Friesenberg of the Family Home Cooperative Zurich). *Fallbeispiele "Thermische Netze" (Case Studies "Thermal Networks")*. energi schweiz. Available from: <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/8836>.
- KRETZ, M. 2021. Blomstrände returvärme från fjärrvärme (Flourishing return heat from district heating). *Energi & miljö*, (6-7). Available from.
- KUKKONEN, I. & PENTTI, M. St1 Deep Heat Project: Geothermal energy to the district heating network in Espoo. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021. IOP Publishing, 012035. Available from: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/703/1/012035>.
- LADEFOGED, J. 2021. *Structures of the deep bedrock in Gothenburg. A structural documentation of the GE1 drill core*. Gothenburg University. Available from: <http://hdl.handle.net/2077/69172>.
- LAUFKOTTER, C. 2022. New System Gives Early Warning of Corrosion in a Heat Network. *Euroheat and Power (English Edition)*, (3), 38-41. Available from:

- <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85141239946&partnerID=40&md5=2baea268c47b1027a83d2cfaeaf56142>.
- LENNERMO, G., LAUENBURG, P. & WERNER, S. 2019. Control of decentralised solar district heating. *Solar Energy*, 179, 307-315. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.12.080>.
- LEVIHN, F. 2017. CHP and heat pumps to balance renewable power production: Lessons from the district heating network in Stockholm. *Energy*, 137, 670-678. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.01.118>.
- LI, Y., CHANG, S., FU, L. & ZHANG, S. 2016. A technology review on recovering waste heat from the condensers of large turbine units in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 287-296. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.059>.
- LI, Y., FU, L. & ZHANG, S. 2015. Technology application of district heating system with Co-generation based on absorption heat exchange. *Energy*, 90, 663-670. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.07.090>.
- LI, Y., FU, L., ZHANG, S., JIANG, Y. & XILING, Z. 2011. A new type of district heating method with co-generation based on absorption heat exchange (co-ah cycle). *Energy Conversion and Management*, 52(2), 1200-1207. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.09.015>.
- LIMBERGER, J., BOXEM, T., PLUYMAEKERS, M., BRUHN, D., MANZELLA, A., CALCAGNO, P., BEEKMAN, F., CLOETINGH, S. & VAN WEES, J.-D. 2018. Geothermal energy in deep aquifers: A global assessment of the resource base for direct heat utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 961-975. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.084>.
- LINNEBJERG RASMUSSEN, F. & VOLDGAARD, J. 2021. Nordjysk data center supplies heat directly to the district heating network. *Fjernvarmen*, (4), 14-17. Available from: <https://fjernvarmen.danskfjernvarme.dk/p/magasinet-fjernvarmen/2021-08-19/a/nordjysk-datacenter-leverer-varme-direkte-til-fjernvarmenet/3045/440103/22444341>.
- LIU, Y., YANG, M., DING, Y., WANG, M. & QIAN, F. 2022. Process modelling, optimisation and analysis of heat recovery energy system for petrochemical industry. *Journal of Cleaner Production*, 381, 135133. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135133>.
- LOREDO, C., ROQUENÍ, N. & ORDÓÑEZ, A. 2016. Modelling flow and heat transfer in flooded mines for geothermal energy use: A review. *International Journal of Coal Geology*, 164, 115-122. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2016.04.013>.
- LUND, H., WERNER, S., WILTSHIRE, R., SVENDSEN, S., THORSEN, J. E., HVELPLUND, F. & MATHIESEN, B. V. 2014. 4th Generation District Heating (4GDH). Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy*, 68, 1-11. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089>.
- LUND, J. W., HUTTRER, G. W. & TOTH, A. N. 2022. Characteristics and trends in geothermal development and use, 1995 to 2020. *Geothermics*, 105, 102522. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2022.102522>.
- LUND, J. W. & TOTH, A. N. 2021. Direct utilization of geothermal energy 2020 worldwide review. *Geothermics*, 90, 101915. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2020.101915>.
- LUND, R. & PERSSON, U. 2016. Mapping of potential heat sources for heat pumps for district heating in Denmark. *Energy*, 110, 129-138. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.127>.
- LUNDQVIST, P. 2009. Fjärrvärme för utökad biogasproduktion. Available from: <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/17978/fjaerrvaerme-foer-utoekad-biogasproduktion-vaermeforskrappport-1122.pdf>.
- LYONS, L., GEORGAKAKI, A., KUOKKANEN, A., LETOUT, S., MOUNTRAKI, A., INCE, E., SHTJEFNI, D., JOANNY ORDÓÑEZ, G., EULAERTS, O. & GRABOWSKA, M.

2022. Clean Energy Technology Observatory: Heat Pumps in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets. *Clean Energy Technology Observatory (CETO)*. Luxembourg: Joint Research Centre. Available from: <https://doi.org/10.2760/372872>.
- MALMBERG, M. 2017. *Transient modeling of a high temperature borehole thermal energy storage coupled with a combined heat and power plant*. Master, Royal Institute of Technology. Available from: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1197590/FULLTEXT01.pdf>.
- MANGOLD, D. & SCHMIDT, T. J. 2007. The next Generations of Seasonal Thermal Energy Storage in Germany. *3rd European Solar Thermal Energy Conference*. Freiburg, Germany. Available from: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=a44a62bc860787cc1e135085cfcfd79d101df231>.
- MARKANIC, J. 2022. Optimum Water Properties in the District Heating Network Thanks to Vacuum Technology. *Euroheat & Power (eng ed.)*, 19(2), 48-49. Available from: Not available.
- MARKSTRÖM, E. & TORGNYSO, E. 2014. *Resurseffektiv livsmedelsproduktion : Tillämpning av industriell symbios för ökad resurseffektivitet inom den svenska tomatodlingsbranschen (Resource efficient food production : Applying industrial symbiosis for increased resource efficiency in the Swedish tomato industry)*. Independent thesis Advanced level (degree of Master (Two Years)) Student thesis. Available from: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:liu:diva-113681>.
- MIRL, N., SCHMID, F. & SPINDLER, K. 2018. Reduction of the return temperature in district heating systems with an ammonia-water absorption heat pump. *Case Studies in Thermal Engineering*, 12, 817-822. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.10.010>.
- MOALLEMI, A., GADD, H. & SERNHED, K. 2023a. COOL DH, Deliverable no: D 5.2 Monitoring report for Lund incl. KPI's. *Cool ways of using low grade Heat Sources from Cooling and Surplus Heat for heating of Energy Efficient Buildings with new Low Temperature District Heating (LTDH) Solutions*. Available from: <http://www.cooldh.eu/wp-content/uploads/2023/03/D5.2-Monitoring-report-for-Lund-inkl-KPIs.pdf>.
- MOALLEMI, A., GADD, H. & SERNHED, K. 2023b. COOL DH, Deliverable no: D 5.3 Monitoring report for Høje Taastrup incl. KPI's. *Cool ways of using low grade Heat Sources from Cooling and Surplus Heat for heating of Energy Efficient Buildings with new Low Temperature District Heating (LTDH) Solutions*. Available from: <http://www.cooldh.eu/wp-content/uploads/2023/03/D5.3-Monitoring-report-for-HT-inkl-KPIs.pdf>.
- MORCK, O., ALMEIDA, M., FERREIRA, M., BRITO, N., THOMSEN, K. E. & ØSTERGAARD, I. 2015. Shining Examples Analysed within the EBC Annex 56 Project. *Energy Procedia*, 78, 2334-2339. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.393>.
- MOSER, S., PUSCHNIGG, S., JAUSCHNIK, G., LINHART, M., VOLKOVA, A., SIIRDE, A., KAUKO, H., SCHMIDT, R.-R., REUTER, S. & LEITNER, B. 2022. CASCADE–A Comprehensive Toolbox for Integrating Low-temperature Sub-networks in Existing District Heating Networks. *IEA DHC/CHP Report*. International Energy Agency. Available from: <https://www.iea-dhc.org/the-research/annexes/annex-xiii/annex-xiii-project-07>.
- MÅNSSON, S. 2021. *Spot the difference!* PhD thesis, Lund University. Available from: [https://portal.research.lu.se/files/98293188/Sara\\_M\\_nsson\\_final\\_210517.pdf](https://portal.research.lu.se/files/98293188/Sara_M_nsson_final_210517.pdf).
- MÅNSSON, S., KALLIONIEMI, P.-O. J., SERNHED, K. & THERN, M. 2018. A machine learning approach to fault detection in district heating substations. In: GASTALDI, M. & ROSSI, R. (eds.) *16th International Symposium on District Heating and Cooling*,

- DHC 2018. Hamburg: Elsevier. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.187>.
- MÅNSSON, S., KALLIONIEMI, P.-O. J., THERN, M., VAN OEVELEN, T. & SERNHED, K. 2019. Faults in district heating customer installations and ways to approach them: Experiences from Swedish utilities. *Energy*, 180, 163-174. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.220>.
- MÅRTENSSON, F. 2020. Här samlas fjärrvärme under berget. *Tidningen Energi*. Available from: <https://www.energi.se/artiklar/har-samlas-fjarrvarme-under-berget/>.
- MÖLLER, B., WIECHERS, E., PERSSON, U., GRUNDAHL, L. & CONNOLLY, D. 2018. Heat Roadmap Europe: Identifying local heat demand and supply areas with a European thermal atlas. *Energy*, 158, 281-292. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.025>.
- MÖLLER, B., WIECHERS, E., PERSSON, U., GRUNDAHL, L., LUND, R. S. & MATHIESEN, B. V. 2019. Heat Roadmap Europe: Towards EU-Wide, local heat supply strategies. *Energy*, 177, 554-564. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.098>.
- NILSSON, U. & NIMMERMARK, S. 2013. Restvärme för växthusproduktion (Excess heat for greenhouses). Department of Rural Buildings and Animal Husbandry, Swedish University of Agricultural Sciences. Report 2013:2. Available from: <https://res.slu.se/id/publ/53061>.
- NOHRSTEDT, L. 2022. Kraftvärmern – den dolda räddaren i elsystemet. *Ny Teknik*. Available from: <https://www.nyteknik.se/nyheter/kraftvarmen-den-dolda-raddaren-i-elsystemet/1421322>.
- NORDELL, B., SCORPO, A. L., OLLE ANDERSSON, L. R. & CARLSSON, B. 2016. Long Term Evaluation of Operation and Design of the Emmaboda BTES: Operation and Experiences 2010-2015. Luleå, Sweden. Available from: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ltu:diva-22591>.
- NORRSTRÖM, H., STÅLNE, K., AVERFALK, H. & WERNER, S. 2022. Ranagård med 4GDH-teknik: Slutrapport mars 2022. Eskilstuna. Available from: <https://hh.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1701563&dsid=1035>.
- OLOFSSON, P. 2021. Största värmeenergilagringen byggs i Finland. *Energi & Miljö*. Available from: <https://www.energi-miljo.se/storsta-varmeenergilagringen-byggs-i-finland/#:~:text=Den%20s%C3%A4songsbundna%20termiska%20energilagringen%20kommer,%20en%20medelstor%20finsk%20stad>.
- OLTMANN, J., SAUERWEIN, D., DAMMEL, F., STEPHAN, P. & KUHN, C. 2020. Potential for waste heat utilization of hot-water-cooled data centers: A case study. *Energy Science & Engineering*, 8(5), 1793-1810. Available from: <https://doi.org/10.1002/ese3.633>.
- PAARDEKOOPEL, S., LUND, H., THELLUFSEN, J. Z., BERTELSEN, N. & MATHIESEN, B. V. 2022. Heat Roadmap Europe: strategic heating transition typology as a basis for policy recommendations. *Energy Efficiency*, 15(5). Available from: <https://doi.org/10.1007/s12053-022-10030-3>.
- PALLUA, I. 2021. The materiality of space heating: heat pumps and heating transitions in Twentieth-century Switzerland. *History and Technology*, 37(4), 505-526. Available from: <https://doi.org/10.1080/07341512.2022.2033385>.
- PARIS SACLAY 2019. Le réseau d'échange de chaleur et de froid de Paris-Saclay: Premier réseau énergétique 5e génération de France (The Paris-Saclay heat and cold exchange network: First 5th generation energy network in France). Available from: [https://epa-paris-saclay.fr/wp-content/uploads/2021/12/Mission-Ame%CC%81nager-durable-DOC-1-20190624\\_DP\\_Re%CC%81seau-de%CC%81change-de-chaleur-et-de-froid-Paris-Saclay\\_VDEF.pdf](https://epa-paris-saclay.fr/wp-content/uploads/2021/12/Mission-Ame%CC%81nager-durable-DOC-1-20190624_DP_Re%CC%81seau-de%CC%81change-de-chaleur-et-de-froid-Paris-Saclay_VDEF.pdf).
- PATRONEN, J., KAURA, E. & TORVESTAD, C. 2017. *Nordic heating and cooling: Nordic approach to EU's Heating and Cooling Strategy*, Copenhagen, Nordisk Ministerråd. Available from: <https://doi.org/10.6027/TN2017-532>.



- PATTIJN, P. & BAUMANS, A. 2017. Fifth-generation thermal grids and heat pumps: A pilot project in Leuven, Belgium. *IEA-HPT Magazine*, 35(2), 53-57. Available from: <https://etkhp.corderapi.extweb.sp.se/api/file/1888>.
- PAUSCHINGER, T. 2016. 5 - Solar thermal energy for district heating. In: WILTSHIRE, R. (ed.) *Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems*. Oxford: Woodhead Publishing. Available from: <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-374-4.00005-7>.
- PERSSON, T., KARLSSON, M. & BJURMAN, M. 2020a. Förutsättningar för användning av restvärme för växthusodling i Borlänge. *Energikompetenscentrum Rapport*. Borlänge: Högskolan Dalarna. Available from: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:du-34928>.
- PERSSON, U., ATABAKI, M. S., NIELSEN, S. & MORENO, D. 2022. D1.9: Report on the amounts of urban waste heat accessible in the EU28. Update of deliverable 1.4. *ReUseHeat*. Available from: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:hh:diva-48179>.
- PERSSON, U., AVERFALK, H., NIELSEN, S. & MORENO, D. 2020b. Accessible urban waste heat (Revised version) - Reuseheat deliverable D1.4. Available from: [https://www.reuseheat.eu/wp-content/uploads/2021/02/D1.4-Accessible-urban-waste-heat\\_revised-compressed.pdf](https://www.reuseheat.eu/wp-content/uploads/2021/02/D1.4-Accessible-urban-waste-heat_revised-compressed.pdf).
- PERSSON, U., MÖLLER, B. & WERNER, S. 2014. Heat Roadmap Europe: Identifying strategic heat synergy regions. *Energy Policy*, 74, 663-681. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.07.015>.
- PERSSON, U., WIECHERS, E., MÖLLER, B. & WERNER, S. 2019. Heat Roadmap Europe: Heat distribution costs. *Energy*, 176, 604-622. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.03.189>.
- PLANENERGI 2013. Summary technical description of the SUNSTORE 4 plant in Marstal. Available from: <https://www.solarmarstal.dk/english/facts-about-marstal-district-heating/>.
- RAGNARSSON, Á., STEINGRÍMSSON, B. & THORHALLSSON, S. 2020. Geothermal development in Iceland 2015-2019. *World Geothermal Congress 2020+1*. Available from: <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2020/01063.pdf>.
- RAMSTAD, R. K., JUSTO ALONSO, M., ACUÑA, J., ANDERSSON, O., STOKUCA, M., HÅKANSSON, N., MIDTTØMME, K. & RYDELL, L. 2023. The borehole thermal energy storage at Emmaboda, Sweden: First distributed temperature measurements. *Science and Technology for the Built Environment*, 29(2), 146-162. Available from: <https://doi.org/10.1080/23744731.2022.2127621>.
- REHBINDER, G. 1985. Thermal interactions between water and rock in an underground hot-water store. *Applied Energy*, 20(2), 103-116. Available from: [https://doi.org/10.1016/0306-2619\(85\)90027-3](https://doi.org/10.1016/0306-2619(85)90027-3).
- REITER, P., POIER, H. & HOLTER, C. 2016. BIG Solar Graz: Solar District Heating in Graz – 500,000 m<sup>2</sup> for 20% Solar Fraction. *Energy Procedia*, 91, 578-584. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.06.204>.
- RESUS 2023. Resus Application guideline 2.1. Antwerp. Available from: [https://www.resus.eu/sites/default/files/inline-files/Resus\\_Application%20guideline%202.1\\_0.pdf](https://www.resus.eu/sites/default/files/inline-files/Resus_Application%20guideline%202.1_0.pdf).
- REUMERT, K. 2023. *The European Commission approves Danish state aid promoting carbon capture and storage technologies* [Online]. Available from: <https://kromannreumert.com/en/news/the-european-commission-approves-danish-state-aid-promoting-carbon-capture-and-storage>. [Accessed 29/6 2023].
- ROLFSMAN, L., LARSSON, K. & BJÖRKMAN, J. Heating of a supermarket with the refrigeration system. *Refrigeration Science and Technology*, 2014. 377-384. Available from: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84908072721&partnerID=40&md5=14c078e1e32859fd454b2eb2f9d898c3>.
- RUESCH, F., ROMMEL, M. & SCHERER, J. 2015. Pumping power prediction in low temperature district heating networks. CISBAT 2015, EPFL, Lausanne, September 9-11th. Available from: <https://doi.org/10.5075/epfl-cisbat2015-753-758>.

- RYBACH, L. 1995. Thermal waters in deep Alpine tunnels. *Geothermics*, 24(5), 631-637. Available from: [https://doi.org/10.1016/0375-6505\(95\)00029-1](https://doi.org/10.1016/0375-6505(95)00029-1).
- RYBACH, L. & WILHELM, J. 1995. Potential and use of warm water from deep Alpine tunnels. *World Geothermal Congress 1995*. Florence. Available from: <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGASTandard/WGC/1995/3-rybach2.pdf>.
- RYBACH, L., WILHELM, J. & GORHAN, H. 2003. Geothermal use of tunnel waters - a Swiss speciality. *International Geothermal Conference*. Reykjavik. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/237285547\\_Geothermal\\_use\\_of\\_tunnel\\_waters\\_-\\_a\\_Swiss\\_speciality](https://www.researchgate.net/publication/237285547_Geothermal_use_of_tunnel_waters_-_a_Swiss_speciality).
- SANDROCK, M. & PAUSCHINGER, T. 2019. Versorger und Stadtwerke entdecken die Solarthermie. *Euroheat & Power*, 48(10), 20-23. Available from: Not available.
- SCHMIDT, D. 2023. Guidebook for the Digitalisation of District Heating: Transforming Heat Networks for a Sustainable Future. Final Report from the IEA-DHC Annex TS4 about digitalisation. Available from: [https://www.iea-dhc.org/fileadmin/documents/Annex\\_TS4/IEA\\_DHC\\_Annex\\_TS4\\_Guidebook\\_2023.pdf](https://www.iea-dhc.org/fileadmin/documents/Annex_TS4/IEA_DHC_Annex_TS4_Guidebook_2023.pdf).
- SEMHACH. 2023. *Un réseau multitubes en cascade (A network with multiple pipes in cascade)* [Online]. Available from: <https://www.semhach.fr/pg.cfm?r=Notre-r%C3%A9seau-de-chaleur-Un-r%C3%A9seau-multitubes-en-cascade&u=3A7A4668-D469-4D54-15F04C208548C903>. [Accessed 2023-06-19 2023].
- SIBBITT, B., MCCLENAHAN, D., DJEBBAR, R., THORNTON, J., WONG, B., CARRIERE, J. & KOKKO, J. 2012. The Performance of a High Solar Fraction Seasonal Storage District Heating System – Five Years of Operation. *Energy Procedia*, 30, 856-865. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.11.097>.
- SIFNAIOS, I., GAUTHIER, G., TRIER, D., FAN, J. & JENSEN, A. R. 2023. Dronninglund water pit thermal energy storage dataset. *Solar Energy*, 251, 68-76. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.12.046>.
- SIGFÚSSON, B. & UIHLEIN, A. 2015. *JRC geothermal energy status report 2014 – Technology, market and economic aspects of geothermal energy in Europe*. Joint Research Centre of the European Commission. Report EUR 26985, Publications Office. Available from: <https://doi.org/doi/10.2790/959587>.
- SINGH, P., DÉPARROIS, N., BURRA, K. R. G., BHATTACHARYA, S. & GUPTA, A. K. 2019. Energy recovery from cross-linked polyethylene wastes using pyrolysis and CO<sub>2</sub> assisted gasification. *Applied Energy*, 254. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113722>.
- SJÖQVIST, A. & TILLBERG, M. 2023. Geological and geothermal characterisation of drillhole GE-2 in Gothenburg. Analysis performed for Göteborg Energi. Available from: <https://termoinnovation.se/wp-content/uploads/2023/08/slutrapport-provborrning-for-kunskapsinsamling-om-djupeotermi.pdf>.
- SKANSKA SVERIGE AB 2018. SKANSKA TES – THERMAL ENERGY STORAGE. *Heat pumps in district heating and cooling systems*. IEA Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies. Available from: <https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2018/12/skanska-tes.pdf>.
- SPRINGER, F., FREY, H., HUMMEL, K., SCHUBERT, J., MEYER, A., BLESL, M. & RAPP, H. 2020. Koordinierter Schlussbericht – zusammenfassung für das Projekt „Digitalisierung von energieeffizienten Quartierslösungen in der Stadtentwicklung mit intelligenten Fernwärme-Hausanschlussstationen – iHAST (Phasen 1 – 2)“. Frankfurt, Dresden, Cottbus. Stuttgart: AGFW, TU Dresden, BTU Cottbus, IER Stuttgart. Available from: [https://www.fernwaerme-digital.de/fileadmin/Redakteure/fernwaerme-digital/Wissensportal/AGFW/2020\\_iHAST\\_Schlussbericht\\_Zusammenfassung.pdf](https://www.fernwaerme-digital.de/fileadmin/Redakteure/fernwaerme-digital/Wissensportal/AGFW/2020_iHAST_Schlussbericht_Zusammenfassung.pdf).



- STADTWERKE MÜNCHEN 2012. Fernwärmeversorgung bis 2040 zu 100 % aus erneuerbaren Energien. *Euroheat & Power*, 41(4), 32-34. Available from: Not available.
- STAGNER, J. C. 2016. Stanford University's "fourth-generation" district energy system. *District Energy*. Available from: [https://sustainable.stanford.edu/sites/default/files/IDEA\\_Stagner\\_Stanford\\_fourth\\_Gen\\_DistrictEnergy.pdf](https://sustainable.stanford.edu/sites/default/files/IDEA_Stagner_Stanford_fourth_Gen_DistrictEnergy.pdf).
- STANFORD NEWS 2020. Major expansion planned for Stanford's renewable energy system, October 6. Available from: <https://news.stanford.edu/2020/10/06/major-sesi-expansion-planned/>.
- STANFORD UNIVERSITY 2014. Stanford Energy System Innovations - General Information. Available from: <https://sustainable.stanford.edu/sites/default/files/Stanford%20SESI%20General%20Information%20Brochure%20%28rev%20%29.pdf>.
- STOCKHOLM EXERGI 2021. Års- och hållbarhetsredovisning - Stockholm Exergi 2020. Stockholm, Sweden: Stockholm Exergi. Available from: <https://www.stockholmexergi.se/om-stockholm-exergi/arsredovisning-2020/>.
- SUN, F., FU, L., ZHANG, S. & SUN, J. 2012. New waste heat district heating system with combined heat and power based on absorption heat exchange cycle in China. *Applied Thermal Engineering*, 37, 136-144. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.11.007>.
- TEPPER, P., GIMÉNEZ, I., SKRELJA, D., VIDORRETA, I., BENITO, B., SCHLÖSSER, A., CHMEL, P., FANINGER, T. & ROSCETTI, A. 2012. Case Studies: Public Procurement of Energy Efficient Data Centres. Available from: [https://sustainable-procurement.org/fileadmin/templates/sp\\_platform/lib/sp\\_platform\\_resources/tools/push\\_resource\\_file.php?uid=6296a08c](https://sustainable-procurement.org/fileadmin/templates/sp_platform/lib/sp_platform_resources/tools/push_resource_file.php?uid=6296a08c).
- TIAN, Z., ZHANG, S., DENG, J., FAN, J., HUANG, J., KONG, W., PERERS, B. & FURBO, S. 2019. Large-scale solar district heating plants in Danish smart thermal grid: Developments and recent trends. *Energy Conversion and Management*, 189, 67-80. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.03.071>.
- TSUNG-TE LAI, T., CHEN, W.-J., HSIEH, Y.-H., LI, K.-H., SU, Y.-Y., HUANG, P. & CHU, H.-H. 2010. Why Blow Away Heat? Harvest Server's Heat Using Ther-moelectric Generators. *Network*, 42, 50. Available from: [https://www.academia.edu/2865278/Why\\_Blow\\_Away\\_Heat\\_Harvest\\_Server\\_s\\_Heat\\_Using\\_Ther-moelectric\\_Generators](https://www.academia.edu/2865278/Why_Blow_Away_Heat_Harvest_Server_s_Heat_Using_Ther-moelectric_Generators).
- TVEIT, T.-M., JOHANSSON, M. & ZEVENHOVEN, C. A. P. 2021. Environmentally friendly steam generation using VHTHPs at a pharmaceutical research facility. *The 13th International Energy Agency Heat Pump Conference: Mission for the Green World*. Jeju, Korea: Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies by International Energy Agency. Available from: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202201148554>.
- UNITED NATIONS 2017. International Recommendations for Energy Statistics. Available from: <https://unstats.un.org/unsd/energystats/methodology/ires/>.
- VALESTRAND, M. 2023. Norge blir først med storskalig avfalls-CCS. *Tidningen Energi*. Available from: <https://www.energi.se/artiklar/2023/april-2023/norge-blir-forst-med-storskalig-avfalls-ccs/>.
- VANTAAN ENERGIA 2021. The VECTES seasonal heat storage facility. Available from: [https://vantaanenergia.s3.eu-west-1.amazonaws.com/uploads/20211124101426/VantaanEnergi\\_Whitepaper\\_VECTES\\_EN\\_191121.pdf](https://vantaanenergia.s3.eu-west-1.amazonaws.com/uploads/20211124101426/VantaanEnergi_Whitepaper_VECTES_EN_191121.pdf).
- VERHOEVEN, R., WILLEMS, E., HARCOUËT-MENOU, V., DE BOEVER, E., HIDDÉS, L., VELD, P. O. T. & DEMOLLIN, E. 2014. Minewater 2.0 Project in Heerlen the Netherlands: Transformation of a Geothermal Mine Water Pilot Project into a Full

- Scale Hybrid Sustainable Energy Infrastructure for Heating and Cooling. *Energy Procedia*, 46, 58-67. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.158>.
- VOLKOVA, A., REUTER, S., PUSCHNIGG, S., KAUKO, H., SCHMIDT, R. R., LEITNER, B. & MOSER, S. 2022. Cascade sub-low temperature district heating networks in existing district heating systems. *Smart Energy*, 5. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.segy.2022.100064>.
- VOLT, S., ROCA REINA, J., CARLSSON, J., GEORGAKAKI, A., LETOUT, S., KUOKKANEN, A., MOUNTRAKI, A., INCE, E., SHTJEFNI, D., JOANNY ORDÓÑEZ, G., EULAERTS, O., GRABOWSKA, M. & TOLEIKYTE, A. 2022. Clean Energy Technology Observatory: District Heat and Cold Management in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets. *Clean Energy Technology Observatory (CETO)*. Luxembourg: Joint Research Centre. Available from: <https://doi.org/10.2760/168004>.
- WERNER, S. 1992. Experiences from flow restrictions in substations (Erfarenheter av flödesbegränsare i abonentcentraler). *Värmeverksföreningens tekniska möte*. Sundsvall. Available from: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn%3Anbn%3Ase%3Ahh%3Adiva-51577>.
- WERNER, S. 2017. International review of district heating and cooling. *Energy*, 137, 617-631. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.045>.
- WERNER, S. 2022. Network configurations for implemented low-temperature district heating. *Energy*, 254, 124091. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124091>.
- WETZEL, H. & BRUSS, F. 2023. Pit Thermal Energy Storage in Greater Copenhagen. *Euroheat & Power (eng ed.)*, 20(3), 19-22. Available from: Not available.
- WICKSTRÖM, J. 2021. Här sorteras 18 000 ton plast ut ur avfallet. *Tidningen Energi*. Available from: <https://www.energi.se/artiklar/2021/april-2021/har-sorteras-18-000-ton-plast-ut-ur-avfallet/>.
- WIKSTRÖM, U. & ADRUP, P. 2022. Bio-CCS-anläggning, Stockholm Exergi. Underlag för samråd enligt 6 kap. miljöbalken. Available from: [https://www.stockholmsexergi.se/content/uploads/2022/08/Samradsunderlag-bio-CCS\\_2022-08-19\\_inkl-bilaga.pdf](https://www.stockholmsexergi.se/content/uploads/2022/08/Samradsunderlag-bio-CCS_2022-08-19_inkl-bilaga.pdf).
- WSP 2022. Lägre utsläpp från fjärrvärmens topplast och reserv - En studie om hinder, incitament och styrmedel. WSP Sverige AB. Available from: <https://www.wsp.com/sv-se/insikter/sveriges-energisystem#rapport3>.
- WÄSTBERG, F., HANSSON, M. & EDLAND, R. 2022. Branschsamarbete för avancerad analys av värmedistribution och uppvärmningsbehov. Energiforsk / FUTUREHEAT. Available from: <https://energiforsk.se/media/31029/branschsamarbete-for-avancerad-analys-energiforskrapport-2022-850.pdf>.
- ZEVENHOVEN, C. A. P., KHAN, U., HAIKARAINEN, C., SAEED, L., TVEIT, T.-M. & SAXÉN, H. 2020. Performance improvement of an industrial Stirling engine heat pump. *The 33rd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems – ECOS 2020*. Osaka, Japan: ECOS2020 Local organising committee, Japan. Available from: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202201147978>.
- ZHANG, L., LI, Y., ZHANG, H., XU, X., YANG, Z. & XU, W. 2021. A review of the potential of district heating system in Northern China. *Applied Thermal Engineering*, 188, 116605. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.116605>.
- ŽIVKOVIĆ, M. & IVEZIĆ, D. 2022. Utilizing sewage wastewater heat in district heating systems in Serbia: effects on sustainability. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 1-15. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02063-6>.
- ZÜHLSDORF, B., CHRISTIANSEN, A. R., HOLM, F. M., FUNDER-KRISTENSEN, T. & ELMEGAARD, B. 2018. Analysis of possibilities to utilize excess heat of

supermarkets as heat source for district heating. *Energy Procedia*, 149, 276-285.

Available from: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.192>.

ÅSBERG, C. 2011. *Solar heat with seasonal storage in Lyckebo (Solvärme med säsongslager i Lyckebo - Utredning av värmeförluster och dimensionering av solfält)*. Bachelor, Uppsala University. Available from: <http://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:469957/FULLTEXT01.pdf>.

ØSTERGAARD, P. A., WERNER, S., DYRELUND, A., LUND, H., ARABKOOHSAR, A., SORKNÆS, P., GUÐMUNDSSON, O., THORSEN, J. E. & MATHIESEN, B. V. 2022. The four generations of district cooling-A categorization of the development in district cooling from origin to future prospect. *Energy*, 253, 124098. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124098>.

## 13 Platsindex

I detta platsindex listas alla orter som har identifierade fall i denna rapport med information om vilken sida/sidor där dessa fall återfinns.

- Aars, Danmark, 61  
 Amsterdam, Nederländerna, 120  
 Assens, Danmark, 60  
 Avesta, Sverige, 75  
 Bergen, Norge, 79  
 Berlin, Tyskland, 119, 146  
 Bern, Schweiz, 68  
 Bjerringbro, Danmark, 53  
 Bochum, Tyskland, 71  
 Borgå, Finland, 90  
 Borlänge, Sverige, 38, 155  
 Borås, Sverige, 43, 45, 165  
 Brædstrup, Danmark, 70  
 Braunschweig, Tyskland, 152  
 Cadaujac, Frankrike, 114  
 Chevilly-Larue, Frankrike, 52, 94  
 Chifeng, Kina, 42  
 Clemson, USA, 136  
 Crailsheim, Tyskland, 70  
 Darmstadt, Tyskland, 154  
 Denver, USA, 159  
 Drammen, Norge, 121  
 Dronninglund, Danmark, 74, 111  
 Dublin, Irland, 152  
 Emmaboda, Sverige, 70  
 Esbjerg, Danmark, 81, 120, 121, 134  
 Esbo, Finland, 101, 103, 152  
 Europa, 192  
 Falkenberg, Sverige, 143, 151  
 Falun, Sverige, 51  
 Finspång, Sverige, 136  
 Frankfurt, Tyskland, 41, 44  
 Frederica, Danmark, 156  
 Frövi, Sverige, 31  
 Gardanne, Frankrike, 106  
 Gateshead, Storbritannien, 106  
 Geretsried, Tyskland, 100  
 Gleisdorf, Österrike, 73  
 Glostrup, Danmark, 88  
 Gram, Danmark, 74, 111  
 Graz, Österrike, 63, 116  
 Greifswald, Tyskland, 115  
 Groningen, Nederländerna, 115  
 Gustavsberg, Sverige, 143  
 Gällivare, Sverige, 32, 143  
 Gävle, Sverige, 127  
 Göteborg, Sverige, 35, 36, 37, 79, 104, 127, 128, 130, 139, 154, 162  
 Halmstad, Sverige, 52  
 Hamburg, Tyskland, 118, 132  
 Hannover, Tyskland, 101  
 Hebburn, Storbritannien, 107  
 Heerlen, Nederländerna, 71, 105  
 Helsingborg, Sverige, 30, 51, 64, 88  
 Helsingborg-Ängelholm, Sverige, 29  
 Helsingfors, Finland, 57, 77, 78, 102, 122, 134, 146, 150  
 Hofors, Sverige, 132  
 Holbæk, Danmark, 98  
 Holsterbro, Danmark, 133  
 Horsens, Danmark, 142  
 Hudiksvall, Sverige, 76, 163  
 Härnösand, Sverige, 113  
 Høje Taastrup, Danmark, 59, 75  
 Italien, 194  
 Kalmar, Sverige, 64  
 Kalundborg och Köpenhamn, Danmark, 85  
 Kalundborg, Danmark, 157  
 Kankaanpää, Finland, 80  
 Karamay, Kina, 119  
 Karlshamn, Sverige, 165  
 Karlstad, Sverige, 134  
 Kiel, Tyskland, 99, 118  
 Köln, Tyskland, 122  
 Köpenhamn, Danmark, 86, 87, 97, 122, 147  
 Larderello, Italien, 93  
 Lerum, Sverige, 60, 112  
 Leuven, Belgien, 55  
 Linköping, Sverige, 81, 90  
 Luleå, Sverige, 31, 144  
 Lund, Sverige, 34, 41, 50, 56, 58, 149  
 Lystrup, Danmark, 50  
 Malmö, Sverige, 103, 157  
 Mariestad, Sverige, 155

Marstal, Danmark, 62, 73, 110  
 Merksem, Belgien, 65  
 Meudon, Frankrike, 96  
 Milano, Italien, 141  
 Monster, Nederländerna, 68  
 Motala, Sverige, 89  
 München, Tyskland, 95  
 Mäntsälä, Finland, 150  
 Märsta, Sverige, 89  
 Mölndal, Sverige, 33, 148  
 Mörrum, Sverige, 31  
 Narbonne, Frankrike, 114  
 Neckarsulm, Tyskland, 69  
 Neubrandenburg, Tyskland, 67  
 Nice, Frankrike, 158  
 Nordsjö, Finland, 142  
 Norrköping, Sverige, 162  
 Nürnberg, Tyskland, 109  
 Oberwald, Schweiz, 54  
 Odense, Danmark, 119, 151, 159  
 Offenburg, Tyskland, 64  
 Okotoks, Kanada, 69, 110  
 Oslo, Norge, 88  
 Overath, Tyskland, 33  
 Oxelösund, Sverige, 76  
 Paris, Frankrike, 56, 148  
 Piteå, Sverige, 127  
 Poznan, Polen, 98  
 Pristina, Kosovo, 63, 116  
 Reykjavik, Island, 93  
 Rotterdam, Nederländerna, 133  
 Sæby, Danmark, 153  
 Saillat sur Vienne, Frankrike, 137  
 Salapils, Latvia, 113  
 Salzburg, Österrike, 116  
 Sandvika, Norge, 57, 145  
 Senftenberg, Tyskland, 113  
 Sigtuna, Sverige, 108  
 Silkeborg, Danmark, 112, 123  
 Skanderborg, Danmark, 97  
 Skara, Sverige, 104  
 Skellefteå, Sverige, 155  
 Skoghall, Sverige, 61  
 Sluiskil, Nederländerna, 144  
 Sollefteå, Sverige, 129  
 St Paul, USA, 138  
 Stanford, USA, 58, 146  
 Stenungsund, Sverige, 89, 139, 140  
 Stockholm, Sverige, 43, 44, 45, 57, 67,  
 78, 85, 86, 141, 145, 150, 166  
 Storvreta, Sverige, 76, 163  
 Stuttgart, Tyskland, 42, 53  
 Sundsvall, Sverige, 128  
 Svendborg, Danmark, 123  
 Sverige, 194  
 Södertälje, Sverige, 86  
 Sønderborg, Danmark, 80, 95, 156  
 Tammerfors, Finland, 102  
 Teterow, Tyskland, 135  
 Thisted, Danmark, 87  
 Toftlund, Danmark, 75  
 Trollhättan, Sverige, 152  
 Turin, Italien, 46  
 Ulricehamn, Sverige, 46  
 Umeå, Sverige, 130  
 Utrecht, Nederländerna, 159  
 Vallentuna, Sverige, 151  
 Vanda, Finland, 78  
 Vasa, Finland, 77, 138  
 Vojens, Danmark, 74, 111  
 Västerås, Sverige, 77, 86, 164  
 Växjö, Sverige, 85, 129  
 Wien, Österrike, 99, 137  
 Wüstenrot, Tyskland, 54, 108  
 Ystad, Sverige, 60, 113  
 Zwickau, Tyskland, 72  
 Zürich, Schweiz, 55, 148  
 Åbo, Finland, 158  
 Ålborg, Danmark, 72, 130, 153  
 Åre, Sverige, 166  
 Århus, Danmark, 96, 118  
 Örebro, Sverige, 163  
 Örnsköldsvik, Sverige, 86, 128  
 Östersund, Sverige, 32, 129

# 70 NYA MÖJLIGHETER FÖR FJÄRRVÄRME

Denna rapport innehåller resultaten från en inventering som gjordes under 2022 och 2023 av tidiga initiativ till koldioxidfria fjärrvärmesystem. Den är strukturerad genom identifiering av 70 möjligheter som stöds av 284 genomförda, planerade eller föreslagna fall från Europa, Nordamerika och Kina. De tre huvudsakliga slutsatserna är (1) möjligheterna till fossilfri fjärrvärme kan delas in i ersättande och stödjande aktiviteter, (2) tillgången på fossilfria möjligheter beror på lokala förhållanden, och (3) de gemensamma nämnarna för dessa möjligheter är både fler och färre frihetsgrader, handlingsplaner för att få lägre nättemperaturer, olika sätt att använda värmepumpar för att uppgradera låga framtemperaturer för att tillgodose högre temperaturbehov, möjliga smarta digitaliseringsalternativ, tydliga leveransansvar, mer gynnsamma institutionella ramverk samt digitala planeringsmodeller.

## Ett nytt steg i energiforskningen

Forskningsföretaget Energiforsk initierar, samordnar och bedriver forskning och analys inom energiområdet samt sprider kunskap för att bidra till ett robust och hållbart energisystem. Energiforsk är ett politiskt neutralt och icke vinstutdelande aktiebolag som ägs av branschorganisationerna Energiföretagen Sverige och Energigas Sverige, det statliga affärsverket Svenska kraftnät, samt gas- och energiföretaget Nordion Energi. Läs mer på [energiforsk.se](https://energiforsk.se).