

PM INOM VÄRMEMARKNAD SVERIGE, JUNI 2022

Lågtempererad fjärrvärme - några nedslag

KRISTINA LYGNERUD, INSTITUTIONEN FÖR ENERGIVETENSKAPER,
LUNDS UNIVERSITET



Sammanfattning

Många länder i Europa behöver fasa ut fossila bränslen såsom naturgas och kol. Utbyggnation av fjärrvärme och fjärrkyla, bland annat baserad på lågtempererade restvärmekällor, har identifierats som viktiga pusselbitar i arbetet med att fasa ut fossila värmekällor i EU.

I Sverige är fjärrvärmenätet väl utbyggt och tillvaratagande av högtempererad restvärme från olika industriprocesser har skett i fjärrvärmenät sedan 1970 talet. Lågtempererade värmekällor, såsom spillvärme från livsmedelsbutiker, avloppsreningsverk och datahallar, tillvaratas i betydligt mindre omfattning idag, men det förväntas bli allt mer intressant.

Detta arbete, som tagits fram inom ramen för Värmemarknad Sverige, syftar till att öka förståelsen för lågtempererad fjärrvärme i en svensk kontext. Arbetet tar sin utgångspunkt i den pågående omställningen av uppvärmningssektorn i Europa, där lågtempererad fjärrvärme är en komponent, och visar på möjligheter, förutsättningar och begränsningar för motsvarande utveckling i Sverige.

Lågtempererade värmekällor, som kan tillvaratas i fjärrvärmenät, kan härröra från infrastruktur i städer, t.ex. avloppsvatten eller transportsystem, från kylande processer, t.ex. datahallar eller matvarubutiker eller från industrier av olika slag. Det kan leda till flera olika effektivitetsvinster, men förändrar även affärslogiken. Genom att inkludera ett flertal värmekällor från olika restvärmeleverantörer i ett nät så blir viktigare att distribuera och lagerhålla värme än att generera och distribuera värme. Detta skifte från central produktion och distribution av värme till att styra värmeflödet från olika källor, lagerhålla och leverera värmen när den efterfrågas, påverkar flera delar av affärsmodellen, såsom kundvärde och hantering av resurser, aktiviteter och partnerskap.

I PM:et konstateras att mycket talar för att lågtempererad fjärrvärme kommer att ha en plats på en svenska värme- och kylamarknaden i Sverige framöver, antingen som ett komplement till befintliga nät eller som fristående lösningar.

Detta PM har tagits fram av Kristina Lygnerud, Institutionen för Energivetenskaper vid Lunds Universitet och vi tackar för ett fint samarbete.

Innehåll

Sammanfattning.....	1
Innehåll.....	2
1 Inledning	3
1 Bakgrund	3
2 Vad menas med lågtempererad fjärrvärme?	4
3 Lågtempererade värmekällors karaktär	5
4 Nyttjandet av lågtempererade värmekällor	7
5 Kan lågtemperaturfjärrvärme integreras med konventionell fjärrvärme?	8
6 Effektiviseringspotential och kostnadsbesparingar	9
7 Den lågtempererade affärsmodellens karaktärsdrag.....	11
8 Reflektioner kring lågtempererad fjärrvärme.....	15
9 Referenser.....	16

1 Inledning

Detta arbete, som tagits fram inom ramen för Värmemarknad Sverige, syftar till att öka förståelsen för lågtempererad fjärrvärme i en svensk kontext. Arbetet tar sin utgångspunkt i den pågående omställningen av uppvärmningssektorn i Europa, där lågtempererad fjärrvärme är en viktig komponent, och visar på möjligheter, förutsättningar och begränsningar för motsvarande utveckling i Sverige.

I Sverige har tillvaratagande av högtempererad restvärme från olika industriprocesser förekommit i fjärrvärmenät sedan 1970 talet. Sverige är världsledande med avseende på volymen industriell restvärme som återvinns i fjärrvärmenät med cirka 9% av den tillförda värmen [1]. Sverige har också sedan länge återvunnit restvärme från vissa, lägre tempererade värmekällor, såsom avloppsvatten. En av de största anläggningarna för sådan restvärmeåtervinning finns i Göteborg hos GRYAAB. Ofta kräver återvinning av restvärme med lägre temperatur en kombination med värmepump vilket var vanligt förekommande, just i kontexten avloppsvatten i Sverige, under 1980 talet då elektricitet var ett kostnadseffektivt alternativ [2].

Klimatkrisen och arbete med ökad cirkuläret är globalt. Som ett resultat av detta kan framtiden komma att innehålla färre inslag av förbränning för värmeproduktion (av fossila bränslen men även av restmaterial från skogsbruk och avfall). I en sådan kontext blir andra värmekällor en allt viktigare resurs, även de med lägre temperatur. Ett internationellt forskarteam som studerat implementering av lågtempererade uppvärmningssystem har identifierat över 160 installationer globalt vilket indikerar att lägre temperaturer i fjärrvärmesystem är mer än en enstaka företeelse [3].

1 Bakgrund

Många europeiska länder behöver fasa ut fossila bränslen såsom naturgas och kol. Fjärrvärme och fjärrkyla har identifierats som viktiga pusselbitar i arbetet med att fasa ut fossila värmekällor i EU [4]. Potentialen att skala upp andelen fjärrvärme är stor (i Europa står fjärrvärmen för cirka 10% av värmemarknaden). Fjärrvärme gynnas även av behovet att fasa ut andelen fossilt bränsle (13- 20% av värmeförbrukningen i Europa är förnybar beroende på hur stor andel av elen som beräknas vara förnybar [5]). Denna kontext har resulterat i ett stort intresse kring att använda lokalt tillgänglig restvärme såsom exempelvis restvärme från avloppsvatten, olika processer för att generera kyla (datahallar, fastigheter och matvarubutiker) men även från transportinfrastruktur (tunnelbanor) och värme från omgivningen (från luft men även vatten). I Sverige är marknadsandelen för fjärrvärme för uppvärmning hög (cirka 50%) och den fossila andelen bränsle i fjärrvärmeproduktionen låg (ungefär 4 %). Sverige är en så kallad mogen marknad där befintliga system har hög marknadsandel och är optimerade utefter befintliga temperaturnivåer. Till följd av god tillgång på restmaterial från skogsbruk och avfall har de svenska fjärrvärmeföretagens intresse för att använda restvärme av lägre temperatur varit begränsad till ovan nämnda insatser kring exempelvis värme från avloppsvatten.

Det förefaller troligt att framtida fjärrvärmesystem kommer att ha marknadsmässiga förutsättningar som skiljer sig från nuvarande system. Till följd av energieffektivisering av befintliga fastighetsbestånd samt energieffektiv nybyggnation och ett varmare klimat kan värmebehovet från kunderna minska. I Sverige är det även så att konkurrensen från värmepumpar är ökande [6]. I framtidens fjärrvärmesystem kommer det inte att förekomma förbränning av fossila bränslen. Kanske blir det till och med en framtid där förbränning begränsas till de reducerade avfallsvolymer som finns kvar i en cirkulär ekonomi. I en sådan kontext är det viktigt med en värmeförsörjning som använder tillgängliga resurser såsom t.ex. solvärme eller restvärme från infrastruktur i staden. En sådan framtid innebär att temperaturerna i fjärrvärmenätet behöver vara lägre än vad som är gängse idag.

I ett europeiskt perspektiv är omställning av befintliga uppvärmningssystem pågående. I en studie från 2021 [3], analyserades omställning i städer av olika storlek i Danmark (Viborg), Tyskland (München), Schweiz (Genève) och Österrike (Gleisdorf). Minsta gemensamma nämnare i dessa städers omställning var sänkta systemtemperaturer och en tanke om att framtidens värmekällor inte är sådana som förbränns. I tre av de fyra städerna befann sig näten i en expansionsfas och fjärrvärme var en integrerad del för att uppnå mål för staden. I två av fyra städer arbetade man med ökad flexibilitet i systemet genom ökad andel värmelager. I både Danmark och Tyskland är det en uttalad ambition på nationell nivå att modernisera fjärrvärmesektorn och i det ingår sänkta temperaturer. Omställning av befintliga system är även pågående i Sverige och fokus är ofta ökad driftseffektivitet emedan arbetet med att använda lågtempererade restvärmekällor har varit begränsat till enskilda insatser. Exempel är den handel med restvärme från datahallar som etablerats i Stockholm (Stockholm Exergi) och den återvinning av restvärme som föreligger från forskningsanläggningen MAX IV i det lågtempererade fjärrvärmenätet i Brunnsbrogården. Det begränsade intresset kan delvis förklaras av att kostnadsbesparingen från sänkta systemtemperaturer är liten då man har en viss produktionsmix baserad på t.ex. kraftvärmeproduktion.

2 Vad menas med lågtempererad fjärrvärme?

Man brukar tala om att det föreligger fyra generationers fjärrvärmeteknik där varje generation varit dominant under en längre period. Varje generation av fjärrvärmesystem, alltså produktionsanläggning med tillhörande distributionssystem, har vissa karaktäristika där temperaturnivån i värmedistributionen är en. Den första generationen fjärrvärmeteknik baserades på distribution av ånga, den andra generationen ersatte ångan med mycket hett vatten (över 100°C), den tredje generationen sänkte temperaturen på vattnet vilket fortsatt var mycket hett. Denna teknik är dominerande i världen idag och i Sverige är medeltemperaturen i framledningen i ett tredje generationens nät cirka 86°C. Begreppet fjärde generationens fjärrvärme etablerades 2008 vid en workshop som hölls i ett projekt (Annex 49) inom samarbetsprogrammet IEA-ECBCS. Syftet var att adressera utvecklingen av fjärrvärmelösningar med lägre temperaturer. Tidiga exempel på sådana nät var solbaserade (Marstal i Danmark är ett exempel). I ett internationellt forskningsprojekt kring lågtempererad fjärrvärmeimplementering (Annex TS2, IEA-DHC) fastslogs att lågtempererad fjärrvärme är de bästa tillgängliga teknikerna som använts efter 2020 och har ett årligt medelvärde om 70°C eller lägre i tillförseltemperaturen. Ingen distinktion görs mellan det som kallas 4e och 5e generationen utan definitionen omfattar såväl varma som kalla lågtempererade nät. I varma

lågtemperaturnät räcker värmen som tillförs centralt till att värma de fastigheter som finns i nätet samt försörja dem med tappvarmvatten. I de kalla näten är det inte så och energi måste tillföras lokalt (ofta med värmepump) för att säkra kundens efterfrågan på värme [3]. Tidiga installationer (före 2010) av kalla nät återfinns framför allt i Schweiz, Tyskland, Italien, Norge och Nederländerna [7].

3 Lågtempererade värmekällors karaktär

Lågtempererade värmekällor kan härröra från infrastruktur i städer (exempelvis avloppsvatten eller transportsystem), från kylande processer (exempelvis datahallar, fastigheter eller matvarubutiker) eller från industrier av olika slag. Källorna varierar både avseende sin storlek och temperaturnivå. Den temperatur som restvärmekällor håller beror på från vilken sorts process de genererats. Högtempererad restvärme kan användas på samma sätt som värme genererad genom en förbränningsanläggning. I denna kontext bör nämnas att Sverige är världsledande med avseende på restvärmeåtervinning från varma industriprocesser. Ungefär 9% av värmeförsörjningen kommer från industriella processer [1]. Exempel på industrier som avger högtempererad restvärme är tillverkning av papper och massa, kemikalier, stål, glas och cement. I en studie av 107 svenska samarbeten mellan industri och fjärrvärmebolag under tidsperioden 1974-2014 var de flesta av en högtempererad natur, enbart 19 samarbeten där värmepump ingick identifierades [1]. Undantaget var, som nämnts inledningsvis, 1980 talets installation av större värmepumpar för återvinning av lågtempererad restvärme (främst renat avloppsvatten men även frikyla från vatten och industriell restvärme). Detta brukar benämnas "power to heat" och de svenska installationerna är unika internationellt sett. 1.527 MW installerades av vilken 80% ännu var i drift år 2017. Pumparnas kapacitetsutnyttjande var i princip konstant mellan åren 1986 - 2001 men har sedan vikit då högre elpriser och energiskatter gjort värmepumparna mindre kostnadseffektiva. Det har påvisats att då stora variationer av elpriset föreligger så är kombinationen av större värmepump och kraftvärmeverk en effektiv lösning [2]. I takt med att industrin i landet elektrifieras är det troligt att mängden högtempererad restvärme från industriella processer sjunker vilket kan påverka möjligheten att nyttja restvärme som resurs i framtiden. Kommande industriomställning i Sverige omfattar dock även insatser vilka kommer att generera större mängder restvärme än vad vi tidigare sett (t.ex. genom fossilfri stålproduktion) på vissa orter i landet. En framtida utmaning kan därför bli att identifiera var och hur restvärmeåtervinning kan ske i Sverige och vad restvärmen skall användas till då den kommer att räcka till mer än uppvärmning genom fjärrvärmesystem.

Bortanför industriella processer finns restvärmekällor av låg temperatur vilka troligtvis inte påverkas nämnvärt av ökad elektrifiering av samhällsprocesser. Sådana restvärmekällor kommer exempelvis från avloppsvatten, transportsystem, kylning av byggnader, matvarubutiker och datahallar. Inom ramen för ett EU finansierat projekt (www.reuseheat.eu) med fokus på återvinning av så kallad urban restvärme (restvärme från urban infrastruktur såsom avloppsvatten och tunnelbana samt från kylprocesser såsom datahall och sjukhus) har den urbana restvärmepotentialen identifierats. I Europa åtgår cirka 2800 TWh per år för uppvärmning och kylning av byggnader. En tiondel av denna efterfrågan skulle kunna mötas genom urban restvärmeåtervinning (344 TWh kan återvinnas årligen i EU 28) [8]. Den största andelen värme (44%) kommer ifrån avloppsvatten, 21% från kommersiellt nyttjade byggnader

och 13% från datahallar. De värmekällor som varit i fokus genom demonstrationsprojekt i ReUseHeat har haft en temperaturnivå i spannet 5-40°C och samtliga demonstrationsprojekt har utgjorts av en systemlösning som omfattat en värmepumpslösning.

Med avseende på tillgänglighet så är avloppsvatten en värmekälla utan större säsongsvariation vilket också gäller för datahallar. En stor skillnad mellan restvärme från avloppsvatten och datahall är att infrastrukturen för avloppsrening har en lång livslängd och är integrerad i den urbana miljön emedan datahallar i en urban kontext tenderar att flytta efter 5-10 år då platsen som de ligger på har blivit en tätare befolkad del av staden och därmed eftertraktad för t.ex. annan bebyggelse [9]. Avseende kylning av fastigheter så är det vanligt förekommande med fastighetsnära kylanläggningar i Europa (detta är mindre vanligt i Sverige) och därigenom finns det restvärme att hämta ur dem, emedan restvärme från tunnelbanan är begränsad till 3% av den identifierade potentialen [8]. Erfarenheter från projektet påvisar att även fast restvärmekällan finns att tillgå under hela året så är det svårt att penetrera de säkerhetsinstruktioner som finns i en tunnelbanekontext för själva installationen av restvärmeanläggningen. En viktig lärdom och en minsta gemensam nämnare för de studerade värmekällorna i projektet är att avståndet mellan värmekälla och kund inte kan vara alltför långt, i fallet med återvinning från tunnelbanan visade sig en ledning om 100 meter vara en alltför lång sträcka för att värmeåtervinning ska vara kostnadseffektivt [9]. I tabellen nedan illustreras urbana restvärmekällors temperaturnivåer, säsongsberoende och vilken sorts värmepump som appliceras för återvinning av dem.

Tabell 1 Karaktärsdrag för olika urbana restvärmekällor (Källa www.reuseheat.eu, leverabel 1.4)

Restvärmekälla	Återvinningsmetod	Temperaturintervall °C	Säsongsberoende	Typ av värmepump
Datahall	Serverrum, kylsystem	25-35	Konstant	Luft till vatten
Metrostationer	Plattformsventilation	5-35	Varierar	Luft till vatten
Livsmedelstillverkning	Värme från kylande processer	20-40	Konstant	Vätska till vatten
Matvarubutiker	Värme från kylande processer	40-70	Konstant	
Byggnader i servicesektorn	Central kylning	30-40	Varierar	Vätska till vatten
Bostadsbyggnader	Central kylning	30-40	Varierar	Vätska till vatten

Avloppsreningsverk, vatten	Vatten efter reningssteget	8-15	Konstant	Vatten till vatten
-----------------------------------	-----------------------------------	-------------	-----------------	---------------------------

Ett karaktärsdrag som är mer uttalat hos lågtempererade värmekällor än hos värmekällor som kommer från förbränning eller processer som renderar hög temperatur är att mängden värme att återvinna kan vara begränsad. Exempelvis har en geotermisk källa en viss storlek, värme från solen kan fångas in med det antal solfångare som tillgänglig yta tillåter och värmevolymen som går att återvinna från en datahall eller en matvarubutik är begränsad. Som en konsekvens av de lågtempererade värmekällornas begränsade volym är det inte ovanligt att kombinera flera i ett system. Utifrån ett optimerings och driftsperspektiv av ett fjärrvärmenät utgör det en utmaning att integrera flera värmekällor av olika temperatur i ett nät men det är möjligt. Därtill behöver affärslogiken skifta från att optimera produktion och system utifrån ett centraliserat perspektiv. Genom inkludering av lokala värmekällor i systemet så krävs uppgradering av såväl tekniska (exempelvis installation av värmepumpar i anslutning till lokala värmekällor), driftsmässiga (exempelvis uppgradering av styrsystem) och ekonomiska (komplettera rådande affärslogik baserad på storskalig värmeförsörjning med nyttan som den lokala värmekällan bidrar med) aspekter av fjärrvärmeaffären.

Den svenska fjärrvärmemixen är unik globalt sett med en stor andel biomassa och ytterst små mängder fossila bränslen. Därtill har branschen en ambitiös målsättning om att fungera som kolsänka år 2045. De restvärmeflöden som används är framför allt kopplade till industriella processer och avloppsvatten men ett nytt och ökande intresse för restvärme från t.ex. datahallar och matvarubutiker identifieras. Den europeiska fjärrvärmemixen står inför utmaningen att fasa ut fossila bränslen och det är inte alltid så att förbränning av biobränsle ses som det givna nästa steget att ta. Bakgrunden är en diskussion om att biobränslen är en ändlig resurs vilken flera olika aktörer framöver kommer att efterfråga. Om allt fler aktörer efterfrågar restprodukter från skogsbruket kommer priset på dem att stiga samtidigt som tillgången på dem sjunker. Just denna diskussion var bakgrunden till att staden Helsingfors i Finland i sin "Energy Challenge" år 2020 uppmanade tävlande att lämna in förslag på hur stadens fjärrvärmesystem kunde ställas om till total utfasning av kol år 2029 utan att nyttja fraktionen biomassa. Diskussionen föreligger även inom ramen för EUs Taxonomi, ett ramverk som skall främja gröna investeringar i olika sektorer även energi, där det inte är utrett om biomassa skall ses som en hållbar teknik eller inte.

Avslutningsvis konstateras att restvärmeåtervinning från industrier men även lågtempererade källor ses som en möjlighet och diskuteras i flera europeiska länder.

4 Nyttjandet av lågtempererade värmekällor

Nyttjandet av lågtempererad värme är låg både i Europa och Sverige. I Europa så förklaras det av att fjärrvärme i sig är nytt i många länder samt av att kombinationen restvärmeåtervinning och värmepump är något som få installatörer arbetar med. I Sverige så förklaras det av att efterfrågan på värme möts av befintlig, högtempererad fjärrvärme. Mot bakgrund av rådande klimatkris och en framtid där restprodukter från skogsbruk kan efterfrågas av fler och mängden avfall att förbränna minskar till följd av ökad cirkularitet så torde intresset för den lågtempererade värmekällan vara på uppgång såväl internationellt som i Sverige. I Europa är

intresset framför allt stort i länder som behöver fasa ut användningen av naturgas eller kol vilket ger tydliga incitament att bygga en långsiktigt hållbar energilösning. Det har genomförts test i Sverige med att sänka temperaturen i fjärrvärmenät (exempelvis i Västerås), installera solvärmebaserat lågtemperaturnät (exempelvis i Vallda) och byggnation av lågtempererat nät baserat på storskalig restvärmeåtervinning (exempelvis i Brunshög där restvärmen kommer från två närliggande forskningsverksamheter).

Det har påvisats att det finns mer än 160 lågtemperaturfjärrvärmeinstallationer globalt sett. Det är således mer än en enstaka företeelse och man kan dra slutsatsen att det är en trend [3]. Det förefaller troligt att lågtempererat fjärrvärme kommer att växa och utgöra en del av framtidens fjärrvärmelösning både innanför och utanför Sveriges gränser framöver.

5 Kan lågtemperaturfjärrvärme integreras med konventionell fjärrvärme?

Befintliga, högttempererade nät har begränsad förmåga att göras om till lågtempererade nät på grund av de tillgångar som finns och sättet man driver anläggningar på. En lösning som framförts är att inkludera ett lågtempererat sekundärnät på retursidan (till exempel kan ett nybyggt område försörjas genom ett sekundärnät vilket värms av returen från det högttempererade nätet) vilket ytterligare reducerar temperaturen i det högttempererade nätet. På sådant sätt används överskottsvärme från det befintliga fjärrvärmenätet samtidigt som det högttempererade nätet fungerar som en buffert och hanterar risken att inte kunna försörja det lågtempererade nätet med värme. Genom en litteraturgenomgång identifierades i en studie 29 lågtempererade nät vilka studerats [10]. Genom analys identifierades att de barriärer som finns förknippade med den sortens system kan vara kopplade till reglering rörande prissättning eller till normen för prismodeller. Om returtemperatur inte ingår som en komponent i taxan kan det vara svårt att få byggherrar, kunder och reglerare att se värdet av implementering av system som leder till just detta. Avseende mognad och erfarenhet av att installera lågtempererade sekundärnät så framkom i studien att den är låg vilket utgör ytterligare en barriär. Tekniska aspekter som behöver hanteras är exempelvis mer komplicerad systemkontroll och optimering, behovet av en backup för värmeförsörjningen, påverkan på flödets riktning, tillkommande tryckfall och slutligen liten skillnad mellan tillförsel och returtemperatur i sekundärnätet [10].

Litteraturgenomgången inom Värmemarknad Sveriges fallstudie om sänkta temperaturer i befintligt fjärrvärmenät, visade på flera nyttor med lägre temperaturer såsom att ökad produktion av el i kraftvärmeverk, förbättrad verkningsgrad av värmepumpar, ökad värmeåtervinning från rökgaskondensering, förbättrad verkningsgrad solvärme, ökat värmeuttag restvärme och geotermi, minskade distributionsförluster och enklare och billigare material i nätet [11]. Därtill är det en vinst att lågtempererade värmekällor kan införas i fjärrvärmenät istället för att expandera befintlig produktionsanläggning eller bygga nya sådana. Det kan tex. vara effektivt att bygga ett lågtempererat sekundärnät för att försörja nya, energieffektiva byggnadsområden.

Det är inte nödvändigt att ansluta ett lågtempererat nät till ett högttempererat, det går också att etablera ett lågtempererat nät enkom för att värma upp byggnader. Så har exempelvis

gjorts i staden Braunschweig i Tyskland, inom ramen för ovan nämnda projekt ReUseHeat. Källan som återvinns där är restvärme från datahall och den räcker till att värma upp blandad bebyggelse om 400 nybyggda fastigheter (boende samt shoppingcenter). I detta fall valde bolaget att ha en anslutning till det högtempererade nätet som värmer upp övriga delar av staden för att hantera risken att restvärmeåtervinningen inte fungerar fullständigt. Denna installation vann pris i kategorin ny systemlösning 2019, Global District Energy Award [12]. I Brunnsnäs i Skåne finns ett lågtemperaturnät sedan 2019, där värmen kommer från två forskningsanläggningar (European Spallation Source och MAX IV). På lång sikt är det tänkt att 40 000 människor på orten ska kunna värmas av nätet. Denna installation ingår i ett EU projekt, COOLDH och vann pris i kategorin ny systemlösning 2021, Global District Energy Award [13]. Även i Halmstad är ett pilotprojekt med lägre temperaturer pågående, där testas 2- och 3-rörsteknik med syfte att reducera värmeförlusterna i nätet. Detta projekt ingår i ett EU projekt, LOWTemp [14].

Ett annat exempel på hur arbete pågår med att sänka temperaturer i befintlig nätstruktur är staden Albertslund i Danmark. Staden har fattat ett beslut om att temperaturerna i fjärrvärmenätet skall sänkas till 2026. För att nå dit arbetar man med att sektionera upp nätet och att genom shuntar sänka temperaturen i vissa sektioner [15].

Att kombinera befintliga nät med lågtempererade sekundärnät har även diskuterats i andra kontexter. Team CarbonHelSinki, en av finalisterna i tävlingen Helsinki Energy Challenge (nämnd ovan), föreslog i sitt tävlingsbidrag att behålla befintligt nät som en ryggrad för framtida värmeförsörjning. Temperaturen skulle sänkas så långt som möjligt i nätet vilket därefter skulle fungera som ett värmelager. Värme från ett flertal sekundärvärmenät skulle användas för att ladda upp och ladda ur det huvudsakliga nätet. En sådan utveckling skulle resultera i ett decentraliserat nät där huvudfokus för fjärrvärmeaktörerna skulle vara att lagrhålla värme och leverera sådan när efterfrågan föreligger (just in time) [16].

6 Effektiviseringspotential och kostnadsbesparingar

Lägre systemtemperaturer innebär att det blir kostnadseffektivt för fjärrvärmebolag att använda källor såsom geotermi, sol och restvärme. Det har påvisats att effektivitetsvinster föreligger i hela kedjan från värmeförselns till kund. Beroende på den sammansättning ett företag har i värmeförselns så kan en eller flera effektivitetsvinster realiseras. I Sverige är det inte ovanligt att bara ett fåtal av effektivitetsvinsterna adresseras såsom lägre distributionsförlust eller ökad effektivitet i kraftvärmeverket. Dessa är två av flera möjliga effektivitetsvinster som påvisats av ett internationellt forskarteam [3]. Vinsterna till följd av lägre systemtemperatur som teamet anför, adresseras nedan. Forskarteamet har gjort en bedömning av kostnadsbesparing för olika värmekällor. Kostnadsreduktionsgradienten är en indikator som visar hur stor besparing lägre systemtemperaturer kan generera. Den uttrycks som kostnadsreduktion per sänkt grad Celsius för en referensvolym värme och anges i Euro/MWh C°.

Nedan listas effektivitetsvinster till följd av lägre systemtemperatur i fjärrvärmenät, på tillförselsidan. I tabellen sammanfattas kostnadsreduktionsgradienten per effektivitetsvinst [3].

- (i) Med lägre systemtemperaturer kan mer värme från geotermiska källor nyttjas.
- (ii) En värmepumps effektivitet stiger när temperaturen i fjärrvärmenätet sjunker. Då krävs mindre el för samma värmeeffekt vilket innebär att för en konstant mängd el kan mer värme genereras.
- (iii) Med lägre systemtemperaturer kan mer restvärme användas vilket reducerar mängden använd primärenergi.
- (iv) Sol-värmefångares effektivitet ökar när temperaturen i distributionsnätet sjunker eftersom värmeförlusterna minskar
- (v) Lägre systemtemperaturer påverkar effektiviteten i kraftvärmeverk. Effektiviteten ökar genom ett lägre ångtryck i turbinernas kondensatorer (leder till högre el-värme förhållande). Beroende på anläggning så varierar el-värme förhållandet.
- (vi) Med lägre systemtemperaturer blir distributionsförlusterna lägre. Hur stor distributionsförlusten blir beror på systemtemperaturer (tillförsel och retur), rörens isolering (hur tjock och i vilket skick) och den omgivande temperaturen. Det är önskvärt att förlusten i näten är lägre än 10%. Ju mindre skillnaden är på temperaturen i fjärrvärmenätets värmebärare och omgivningen ju lägre blir förlusterna
- (vii) I fjärrvärmenät med låg temperatur kan man använda plaströr istället för stålrör. Flexibla plaströr är intressanta då de tillåter snabb installation och lång livstid (50-100 år) Besparingen i plaströr är inte knuten till att temperaturen i befintliga nät sänks med ett visst antal grader och ingen kostnadsreduktionsgradient har beräknats.

Tabell 2 Kostnadsgradienten för olika värmekällor (från internationell studie Lygnerud & Werner, 2021, Projekt Annex TS2 IEA-DHC, Guidebook on low temperature district heating implementation)

Värmekälla	Fall som beräkning gjorts på	Kostnadsgradient i Euro
Geotermi	Beräknad för två befintliga installationer	0,67-0,68
Värmepump	För oförändrad värmeeffekt respektive större värmeeffekt (befintliga installationer)	0,67 respektive 0,63
Industriell restvärme	Ett befintligt exempel på restvärmeåtervinning, där restvärmen håller 80°C	0,51
Solvärme	Platta solvärmefångare med oförändrad värmeeffekt (uppskattade siffror inför installation)	0,35-0,75

Kraftvärmeverk	Mottrycksturbin med biomassa	0,1 -0,16
	Avfallsförbränning	0,07
Distributionsförluster		0-0,13

Utifrån informationen ovan så kan man fastställa att kostnadsreduktionsgradienten varierar betydligt för de olika effektiviseringspotentialerna listade ovan. När man står inför beslutet att investera i att sänka temperaturerna i nätet är det viktigt att kalkylen omfattar samtliga, möjliga effektiviseringspotentialer och inte bara någon enstaka såsom distributionsförlust.

En slutsats man kan dra utifrån de varierande kostnadsreduktionsgradienterna är att lägre temperaturer i näten ger störst besparing i kombination med förnybara värmekällor såsom geotermi, solvärme och restvärme. En annan slutsats är att i Sverige har vi en betydande tillförsel genom kraftvärmeproduktion och i en sådan kontext ger lägre systemtemperaturer en liten besparing. Ett arbete pågår med att ställa om till fler förnybara värmekällor- vilka ju är kostnadseffektiva vid låga temperaturer- så då infinner sig frågan hur skall man göra för att maximera nyttan av låga temperaturer? Ska man sänka temperaturen och öka andelen förnybara energikällor samtidigt eller ska man göra först det ena och sedan det andra för att dra ekonomisk nytta av de lägre temperaturerna? Hur snabbt man kommer ur "moment 22" och bestämmer sig för att skifta över till lägre temperaturer beror troligtvis på den situation man befinner sig i som fjärrvärmeföretag. Har man en väl fungerande infrastruktur och god tillgång till värmekällor så är det troligt att anläggningen får vara kvar och användas till dess tekniska livslängd är till ända. Om man däremot befinner sig mitt i en större industriell omvandling där den egna verksamheten behöver anpassas till verksamhetsförändring i det omgivande samhället så är det troligt att omställningen till något nytt, lågtempererad fjärrvärme eller annat, går snabbare.

7 Den lågtempererade affärsmodellens karaktärsdrag

Utöver de faktorer för ökad effektivitet som nämnts ovan så är det viktigt att känna till att den lågtempererade affärsmodellen har vissa karaktärsdrag. Genom att inkludera ett flertal värmekällor från olika restvärmeleverantörer i ett nät så blir det viktigare att distribuera och lagerhålla värme än att generera och distribuera värme. Det blir ett skifte från central produktion och distribution av värme till att styra en värmeförsel från olika källor, lagerhålla och leverera värmen när den efterfrågas. Utifrån affärsmodellsperspektivet innebär det att affärslogiken förändras.

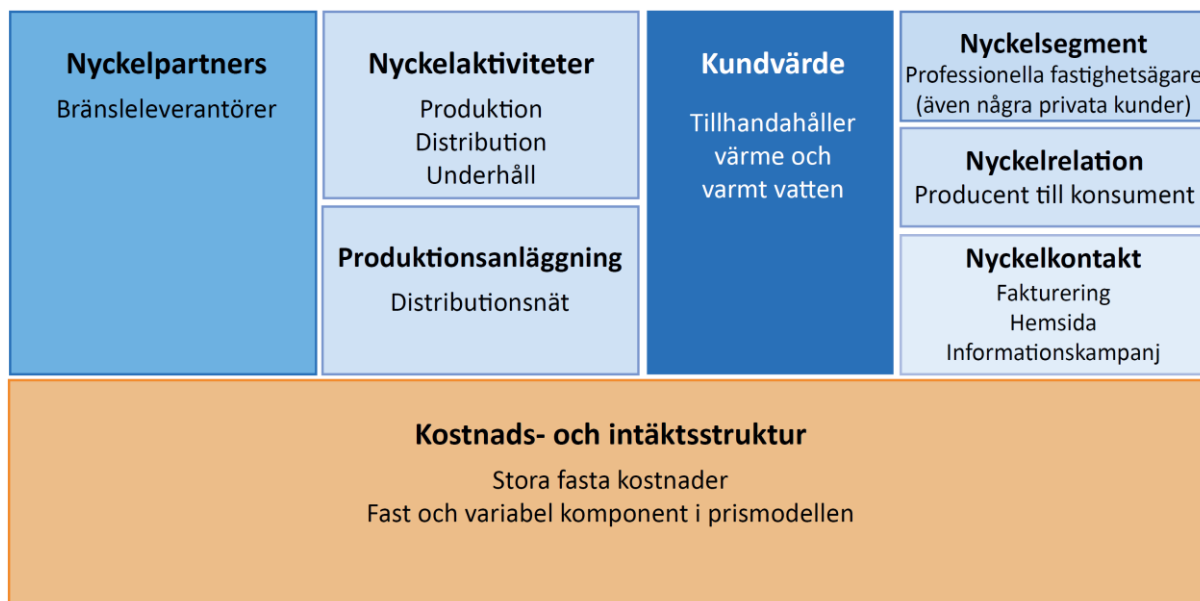
En affärsmodell består av olika delar, ett ramverk som ofta används för att beskriva dessa kallas "Business Model Canvas" [22]. Detta ramverk belyser det värde ett företag levererar till kund samt relationen till kund liksom vilka resurser, aktiviteter och partnerskap som är viktiga för att leverera värdet. Utifrån bedriven aktivitet och använda resurser genereras en kostnadsstruktur vilken matchas av en intäktsstruktur. Ramverkets olika delar brukar illustreras enligt nedan och rutorna brukar fyllas genom att man svarar på frågor kopplade till varje ruta.



Figur 1 Business Model Canvas: en generell beskrivning av en affärsmodell [22]

I en studie av svenska fjärrvärmeföretags utmaningar att förändra sina affärsmodeller [6] togs en generisk bild fram av hur fjärrvärmens affärsmodell ser ut i Sverige idag. Den stämmer inte överens med utformningen av all fjärrvärmeverksamhet men ger en övergripande förståelse av hur affärsmodellen är uppbyggd och dess logik.

Affärsmodellens karaktärsdrag illustreras nedan. Kortfattat så utgörs kundvärdet av att erhålla värme och varmt vatten. Det konventionella kundsegmentet är professionella fastighetsägare. Relationen till dessa sker med en viss distans där det producerande företaget levererar det kunden vill ha. En standardiserad produkt kräver inte någon tätare kundrelation. Kundkontakten är begränsad till fakturering samt digital information på hemsidor och ibland även genom informationskampanj. För att tillhandahålla kundvärdet krävs produktionsanläggning, distributionsnät och att man kan genomföra tillhörande aktiviteter. En viktig partner är bränsleleverantören. Företagens affärslogik är sådan att marginalkostnaden skall reduceras vilket innebär att storskalig produktion och distribution är önskvärt.



Figur 2 Business Model Canvas för att illustrera den konventionella affärsmodellen bland svenska fjärrvärmeföretag [6]

De största skillnaderna i en lågtempererad affärsmodell, jämfört med en konventionell affärsmodell för högtempererad fjärrvärme, finner man i kundvärdet liksom bland nödvändiga resurser, aktiviteter och partnerskap. Kundvärdet består fortsatt i uppvärmning och varmvattenförsörjning men med tillägget att värmekällan reducerar det negativa koldioxidavtrycket. Detta värde är viktigt i den europeiska kontexten där man aktivt vill arbeta sig bort från kol och gas. I Sverige har det gröna värdet setts som uppnått genom att man förbränt rester från skogsbruk. Om den synen behöver ses över till följd av EU Taxonomin eller inte kvarstår att se. Utöver ett grönt värde kräver den lågtempererade affären ökat samarbete med lokala aktörer. Det etableras prosumenter med vilka en långsiktig och värdeskapande relation byggs. Därtill blir värmeförseln mer resilient mot extern påverkan genom att man både kombinerar flera olika värmekällor och genom att dessa är lokala. Dessa värden är värden som även är tillämpliga i en svensk fjärrvärmekontext och utgör en möjlighet för etablerade fjärrvärmeföretag att bredda sitt fjärrvärmeerbjudande.

Avseende resurser, aktiviteter och partnerskap (delar av affärsmodellen vilket nämnts ovan) så innebär den lågtempererade affären ofta att ett system behöver etableras vilket omfattar värmekälla och värmepump eller värmeväxlare. En viktig resurs i det lågtempererade systemet blir således värmepump/ar. Därtill är det viktigt att styra systemet och på ett effektivt sätt inkludera ett flertal värmekällor av varierande storlek och temperatur. Styrning och drift av systemet inklusive lagerhållning är viktiga aktiviteter. För att säkra tillgång till värmekällan krävs en dialog med den aktör som äger den. Det är, precis som i kontexten högtempererad restvärme, viktigt att ingå i effektiva kontrakt med ägaren av restvärmen. I vissa fall är ägaren av restvärmen också en konsument av värme alternativt av kyla (det blir ju t. ex. fallet vid restvärmeåtervinning från datahallar) en relation som brukar benämnas "prosument". Detta arbete, att förstå restvärmekällans kvalitet och tillgänglighet samt de behov som restvärmekällans ägare har kräver en nära dialog. Den sortens personella resurs, som kan föra kunddialog kring en skräddarsydd lösning, krävs också för den lågtempererade

affären. Genom att tillhandahålla sådan resurs kan energibolaget ingå i långa, ömsesidigt gynnsamma, kontrakt där restvärmeproducent blir en viktig partner.

De utslag som man ser på kostnadssidan reflekterar de ovan nämnda resurstillskotten. Kunderbjudandet kan utgöra grunden för en strategi där energibolaget prisdifferentierar. De kunder som erhåller värme från en lokal restvärmekälla skulle kunna betala ett premiumpris för detta (skulle vara tillämpligt såväl i Sverige som i Europa). En pågående studie kring fjärrvärmens framtida affärsmodell har genom intervjuer med professionella fastighetsägare, slutkonsumenter och restvärmeleverantörer, i Frankrike, Tyskland, Danmark och Sverige identifierat att det finns en vilja hos kunder att betala mer för en klimatvänlig restvärmekälla. Detta att det också finns en möjlighet att ta betalt för minskad klimatpåverkan verkar enligt studien vara tillämpligt såväl i Sverige som i Europa [23].

Det har identifierats att vid implementering av lågtempererad restvärmeåtervinning idag så tenderar energibolagen att säkerställa teknisk funktionalitet och att inte förändra den affärsmodell som tillämpas. Detta resulterar i att värden som energiföretagen kunnat hämta hem, genom prisdifferentiering, lämnas därhän. Troligtvis beror denna ansats på att det finns en tradition bland energiföretagen att utgå från teknik och säkerställa att den fungerar. Därför tar man inte tillfället i akt att samtidigt etablera en lösning som är både tekniskt och ekonomiskt hållbar för den lågtempererade restvärmeåtervinningen fastän det är möjligt att göra så. Ett erbjudande som är en kombination av det högtempererade erbjudandet och ett lågtempererat erbjudande kan stärka fjärrvärmens attraktivitet och därigenom konkurrenskraft.

I samband med diskussioner kring affärsmodeller är det viktigt att adressera faktorn risk. Avseende operativ risk så innebär ett decentraliserat energisystem att beroendet av den centrala värmekällan minskar vilket skapar ett resilient system. Det decentraliserade systemet kräver effektiv styrning och således ökar den påverkan som ineffektiv styrning har. Således måste man aktivt arbeta med att avhjälpa risken för ineffektiv styrning av systemet. Avseende värmekällan är det viktigt att noga utreda denna innan restvärmeåtervinningen initieras. Det är viktigt att dess storlek och kvalitet (temperaturnivå) är känd samt att det kontrakt som etableras med restvärmeägaren är av sådan karaktär att det kan uppdateras för att hantera förändringar och att det omfattar klausuler för att hantera avvikelser. Att ingå partnerskap med en restvärmekälla innebär att man etablerar beroende till en annan organisations processer vilket ställer krav på god dialog med restvärmeleverantörens och den egna organisationens personal: ytterligare en faktor att beakta vid skrivande av kontrakt [24]. En risk som adresseras i samband med högtempererad restvärmeåtervinning är att värmekällan försvinner genom att t.ex. industriell aktivitet upphör [1]. Denna risk föreligger även för lågtempererade restvärmekällor. Det har dock påvisats att vissa lågtempererade källor är mer stabila och långsiktiga än andra. Som exempel på var sin sida om spektrumet kan tas restvärme från städers infrastruktur såsom värme från avloppsvatten eller värme från tunnelbanesystem jämfört med restvärme från datahallar eller matvarubutiker. Stadens infrastruktur är i sig långsiktig och den restvärme som genereras från den är stabil. Datahallar i en urban miljö tenderar att flyttas då den del av staden där de ligger skall nyttjas till ny byggnation av t.ex. bostadsfastigheter. På liknande sätt kan matvarubutiker flyttas. I detta sammanhang bör dock nämnas att när man inkluderar ett flertal lågtempererade restvärmekällor i samma system så diversifierar man sin värmeförsörjningsportfölj. Sådant

förfarande minskar risken för att förlusten av en värmekälla skall påverka hela systemets värmeförsörjning.

Avslutningsvis är det relevant att notera att restvärmeåtervinning från lågtempererade källor är en ny företeelse i fjärrvärmesektorn (med vissa undantag såsom värme från avloppsvatten). Nyheten består i att etablera system vilka omfattar en eller flera lågtempererade restvärmekällor och en eller flera värmepumpar. Det är inte restvärmeåtervinning eller den teknik som används i värmepumparna som är nytt utan kombinationen av de båda. I Europa finns det idag inte något ramverk som fastställer vad restvärme är. Är det att likställa med förnybara energilag? Denna ovisshet kring vad det är man investerar i och om det bedöms vara ett långsiktigt hållbart system eller inte gör att restvärmeinvesteringar väljs bort över alternativ som investeraren kan klassa som förnybara. Därtill är det inte ovanligt att det finns stöd att tillgå på regional, nationell eller EU nivå för att investera i förnybar energi: något som skapar en uppförsbacke för den lågtempererade, osubventionerade, affären.

8 Reflektioner kring lågtempererad fjärrvärme

I europeiska fjärrvärmenät är en utfasning av fossila bränslen en prioritet. Inom ramen för detta sker modernisering av befintliga fjärrvärmenät (t.ex. digitalisering, nya tekniska lösningar för värmeförsörjning), förtätning av befintliga nät och byggnation av nya nät. Det byggs även pilotanläggningar för att skapa kunskap om hur ny fjärrvärmeteknik kan implementeras – ofta med hjälp av EU medel. I en sådan miljö är det möjligt att testa olika lösningar och att hoppa över steg i utvecklingstrappan som tidiga länder, såsom Sverige tagit. Ett exempel på ambitionen att hoppa över steg i riktning mot hållbara framtida system är tidigare nämnda Helsinki Energy Challenge där staden uttalade en ambition att ställa om utan att gå över steget biomassa. Mot bakgrund av befintliga pilotanläggningar så har det identifierats att det saknas ett ramverk på EU nivå kring restvärme. Det saknas en definition av vad det är och hur det står sig i jämförelse med andra, förnybara källor såsom sol och vind. Därtill saknas stöd för lågtempererad restvärmeåtervinning i de flesta länderna vilket resulterar i att investeringar i lågtempererad restvärmeåtervinning tävlar med subventionerade investeringsprojekt baserade på förnybara energikällor. Tittar man vidare på de direktiv i EU som har stor påverkan på fjärrvärmesektorn såsom Energieffektiviseringsdirektivet och Förnybarhetsdirektivet finns det ytterst begränsat explicit stöd för restvärmeåtervinning överlag. Trots att EU har en strategi kring värme och kyla sedan 2016 så saknas stora delar av nödvändigt ramverk för en uppskalad implementering av restvärmeåtervinning. I Sverige finns inget explicit nationellt mål kopplat till fjärrvärme och inte heller några riktade stödsatser. Därtill finns en infrastruktur etablerad på en mogen marknad. Avsaknad av mål, stöd och utarbetad infrastruktur leder till att man inte på samma sätt som i Europa testat och implementerar ny teknik.

Lågtempererad fjärrvärme har potentialen att stärka värme/kyla -erbjudandet gentemot kund. Att erbjuda en portfölj av fjärrvärmelösningar skapar en valfrihet samtidigt som ett sådant upplägg bjuder in till etablerandet av långsiktiga relationer med de aktörer som äger restvärme. Ofta är restvärmeaktören också en konsument av värme/kyla, en prosument, en aktör som i framtiden blir viktig för fjärrvärme/kyla företagets konkurrenskraft. Här är utmaningen att identifiera hur stor insyn och påverkan fjärrvärme/kyla bolaget respektive

restvärmeproducenten skall ha i varandras processer. Därtill finns ett antal systemnyttor med lägre temperaturer vilka nämnts ovan. Nackdelarna med systemet är att värmepumpsbaserade lösningar kräver elektricitet vilket då skapar ett beroende gentemot elmarknaden och elpriset. Runtom i Europa diskuteras inom ramen för pilotanläggningar att den lågtempererade lösningen kan behöva kombineras med solceller för att på så sätt skapa resilianta system både med avseende på driftsekonomi och energitillförsel (läs mer om detta i ReUseHeat projektets handbok), på dess hemsida www.reusehea.eu). Därtill kräver decentraliserade system med ett flertal värmekällor att de är smarta nog att löpande använda den mest kostnadseffektiva värmekällan och lagerlösningen som föreligger.

Avslutningsvis identifieras att lågtempererad fjärrvärme förefaller ha en plats i värme/kylproduktion framöver. Antingen som ett komplement till befintliga nät eller som fristående lösningar, båda alternativen torde vara relevanta även i Sverige. Det finns också etablerade, lokala handelsplatser för restvärme som etablerats av Vattenfall (SamEnergi) verksamt runt Haninge, Tyresö, Uppsala och Gustavsberg samt Stockholm Exergi (Öppen fjärrvärme) verksam runt Stockholm där lågtempererad restvärme från t.ex. datahallar och matvarubutiker ingår.

9 Referenser

- [1] Lygnerud.K och Werner.S, "Risk assessment of industrial excess heat recovery in district heating," *Energy*, vol. 151, pp. 430-441, 2018.
- [2] Averfalk.H och et.al, "Large heat pumps in Swedish district heating systems," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 79, pp. 1275-1284, 2017.
- [3] Lygnerud.K och Werner.S, *Low temperature district heating implementation guidebook*, Frankfurt: Fraunhofer Verlag, 2021.
- [4] EU Commission, "An EU strategy on heating and cooling," EU Commission, vol. 51, 2016.
- [5] Bioenergy International, "Fossil fuels still dominate the European heat and cooling sector", <https://bioenergyinternational.com/fossil-fuels-still-dominate-the-european-heat-and-cooling-sector> [Använd 29 juni, 2022]
- [6] Lygnerud.K, "Challenges for business change in district heating," *Energy, Sustainability and Society*, vol. 20, 2018.
- [7] Buffa.S och et.al, "5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 104, pp. 504-522, 2019.
- [8] Persson.U, "Accessible Urban Waste Heat, D1.9 ReUseHeat," ReUseHeat Project, EU Funded Project Grant Agreement 767429, 2018.
- [9] Lygnerud.K et.al, *Handbook for increased recovery of urban excess heat- ReUseHeat, ReUseHeat project, EU Funded Project 767429*, 2022.

- [10] Puschnigg, S e. al., "A review of low-temperature sub-networks in existing district heating networks: examples, conditions, replicability," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 18-26, 2021.
- [11] A. Rensfeldt, "Sänkt framledningstemperatur i nätet- Del 1: Fjärrvärmecentralen, Värmemarknad Sverige, www.varmemarknad.se," Profu. [Online]. [Använd 13 May 2022].
- [12] ReUseHeat, "www.reuseheat.eu," 2017. [Online]. [Använd 13 May 2022].
- [13] CoolDH "www.cooldh.eu," 2017. [Online]. [Använd 13 May 2022].
- [14] LowtempEU, "www.lowtemp.eu," [Online]. [Använd 13 May 2022].
- [15] Rewardheat, "www.rewardheat.eu," 2019. [Online]. [Använd 13 May 2022].
- [16] City of Helsinki, "www.energychallenge.hel.fi," April 2020. [Online]. [Använd 13 May 2022].
- [17] Muller.et.al, "How much to invest? Balancing investment costs and economic benefits of reducing the temperature levels in existing district heating networks," i Smart Energy Systems Conference, 2020.
- [18] David.et.al, "Heat Roadmap Europe- Large Scale Electric Heat Pumps in District Heating Systems," *Energies*, vol. 10, pp. 578-596, 2017.
- [19] Geyer.R, "Reduzierte Systemtemperaturen in Wärmenetzen: Eine energie-ökonomische Bewertung der Effekte," Pinkafeld: FH Burgenland, 2020.
- [20] Averbalk.H och Werner.S, "Economic benefits of fourth generation district heating," *Energy*, vol. 193, pp. 116-127, 2020.
- [21] Castro-Flores.J.et.al, "Assessing the techno-economic impact of low-temperature subnets in conventional district heating networks," *Energy Procedia*, vol. 116, pp. 206-272, 2017.
- [22] Ostwalder.A:Pigneur.Y, *Business Model Generation*, New York: Wiley, 2010.
- [23] Lygnerud.K:etal, "Ongoing study in project for the IEA-DHC platform to estimate business models of DH 2050, forthcoming," 2022.
- [24] Lygnerud.K:etal, "Contracts, Business Models and Barriers to Investing in Low Temperature District Heating Projects," *Applied Sciences*, vol. 9, nr 3142, p. doi:10.3390/app9153142, 2019.
- [25] Lygnerud.K, "The Potential of District Energy and Waste Heat Recovery in Asia Pacific," *APUEA Magazine*, pp. 26-28, March 2020.