

# Teknik och forskningsöversikt över fjärde generationens fjärrvärmeteknik

*Patrick Lauenburg*

*Institutionen för Energivetenskaper, LTH*



**LUNDS**  
UNIVERSITET

## Inledning

Föreliggande rapport avser att beskriva konceptet fjärde generationens fjärrvärme och att rapportera om aktuellt forskningsläge.

## Bakgrund

Begreppet *Fjärde generationens fjärrvärmeteknik* myntades på ett IEA-seminarium i Reykjavik 2008. Syftet var att tydliggöra att fjärrvärmetekniken måste förnyas för att möta de framtida marknads- och omvärldsvillkoren.

Fjärrvärmesystem har internationellt hittills byggts och drivits i tre olika generationer (Frederiksen & Werner, 2013):

*Första generationen* karakteriseras av att ånga används som värmebärare. Tekniken dominerade i fjärrvärmesystem som byggdes fram till 1930. Idag finns mycket få system kvar – i New York, Paris och delvis i Köpenhamn används ånga.

*Andra generationen* innebar en övergång till att använda trycksatt vatten, oftast med temperaturer över 100 °C. Tekniken dominerade fram till 1970-talet. Komponentvalen karakteriseras exempelvis av förläggning av vattenrör i betongkultvert och användning av rörvärmeväxlare. Generellt användes tunga, materialintensiva komponenter. Det finns en hel del inslag kvar av denna generation, inte minst i våra svenska fjärrvärmesystem.

Tredje generationen introducerades på 1970-talet och har varit dominerande sedan 1980-talet. Karakteristiskt är lägre temperaturer jämfört med andra generationen och mer materialsnåla komponenter. Prefabricerade fjärrvärmeledningar med polyuretanskum och en yttre plastmantel präglar distributions-tekniken.

Var och en dessa generationer har varit bästa teknik under 40-50 år. För att kunna se en introduktion av den *fjärde generationens* fjärrvärmeteknik runt 2020, så krävs att ett internationellt utvecklingsarbete och exempel på det kommer att lyftas fram i denna rapport. Det finns i dagsläget ingen exakt definition av fjärde generationens fjärrvärme, men utvecklingen har historiskt gått mot lägre temperaturer och mer materialsnåla och prefabricerade komponenter. En fortsatt utveckling i denna riktning är nödvändig för att stärka fjärrvärmeteknikens konkurrenskraft, i synnerhet i ett europeiskt perspektiv. Utmaningarna består av lägre framtida specifika och absoluta värmebehov och konkurrens från värmepumpar och i ett internationellt perspektiv även naturgas.

## Syfte

Syftet med arbetet är att beskriva konceptet fjärde generationens fjärrvärme och dess relevans samt att ge en översikt över aktiviteter runt om i världen som kan kategoriseras som fjärde generationens fjärrvärme.

## Metod

Detta arbete är en litteraturstudie. Information har inhämtats via en rad olika kanaler såsom vetenskapliga databaser, internetökningar och inte minst via de forskarnätverk som finns inom fjärrvärmebranschen.

## Avgränsningar

Läsaren uppmanas att ha i åtanke att denna rapport inte har ambitionen att vara en forskningsöversikt över *all* forskning som bedrivs på fjärrvärmeområdet utan avsikten är att begränsa studien till den fjärde generationens fjärrvärme. Med det avses en utveckling mot lägre temperaturer, modulbaserade komponenter och mer flexibla material. Ett särskilt fokus ligger också på internationella referenser eftersom dessa har svårare att hitta fram till fjärrvärmebranschen i Sverige. I synnerhet uppmärksammas de projekt som uttalat handlar om fjärde generationens fjärrvärme. I dagsläget finns begränsat med forskning kring övergången från tredje till fjärde generationens fjärrvärme, vilket berörs i den

avslutande diskussionen. De rapporterade projekten har ett fokus på områden med småhus och låg linjetäthet. Många av resultaten har dock relevans även för större byggnader som ju står för den största delen av fjärrvärmeleveranserna i Sverige.

## Fjärde generationens fjärrvärme

I detta avsnitt ges en något vidare beskrivning av vad som kännetecknar fjärde generationens fjärrvärme.

Den utveckling som tydligast har hamnat i fokus är sänkta nättemperaturer. Fram-/returledningstemperaturer ner mot 50/20°C har föreslagits som målsättning (Werner, 2012). Ett danskt forskningsprojekt är sannolikt det fall som har kommit närmast dessa nivåer (Energistyrelsen - EUDP2008-II, 2011). Denna utveckling är önskvärd av flera anledningar:

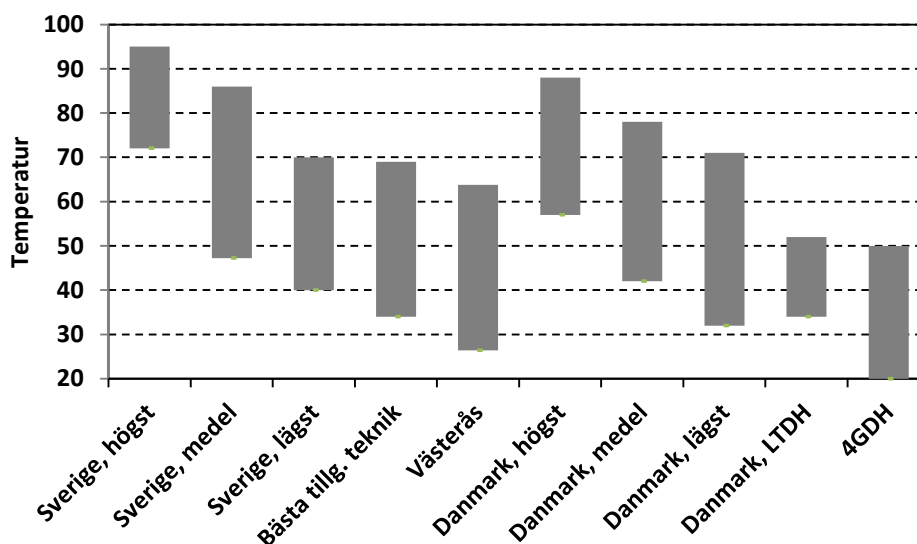
- Ökade möjligheter att integrera förnyelsebart, i synnerhet i form av solenergi och geotermi, och olika former av restvärme med olika temperatur, exempelvis från industriella processer
- Mer effektiv energiomvandling i de flesta produktionsslag, såsom kraftvärmeverk, pannor med rökgaskondensering och värmepumpar, lägre förluster vid värmelagring och distribution
- Möjlighet att använda billigare material

Värdet av sänkta returtemperaturer har uppskattats av FVB för 27 svenska fjärrvärmenät och varierar ganska kraftigt (Frederiksen & Werner, 2013). Ett typvärde hamnar kring 1,50 kr per MWh och grad. Svenska fjärrvärmenät har idag en medelreturtemperatur på 47 °C medan förväntad returtemperatur med känd fjärrvärmecentralteknik är 34 °C (Petersson & Dahlberg Larsson, 2013). En enkel uppskattning (Frederiksen & Werner, 2013) utifrån 1,50 kr/MWh, °C i förväntad besparing ger vid handen att en sänkt returtemperatur med 10 grader i ett medelstort nät med en årlig värmeförsäljning av 500 GWh motsvarar en årlig besparing på 7,5 miljoner kronor. Med rimliga antaganden om kalkylränta och tid motsvarar det ett nuvärde i storleksordningen 75-100 miljoner kronor. Det finns således investeringsutrymme för att sänka nättemperaturerna. Det är även värt att påpeka att dessa siffror rör sänkta returtemperaturer. Det bör rimligen gå att nå ännu större besparingar om framtemperaturerna kan pressas ner signifikant. För hela branschen handlar det om sänkta kostnader i storleksordningen 1 miljard kronor om returtemperaturerna kunde sänkas till den idag tekniskt möjliga nivån.

Förutom fokus på temperaturerna, så anger Werner (2012) även följande karakteristiska egenskaper för fjärde generationens fjärrvärme:

- Lägre installationskostnader genom mer standardiserade komponenter.
- Ökade krav på individuell värmekomfort och högre intelligens i värmeanvändningen.
- Troligen lägenhetscentraler för alla bostäder, vilket ger längre serier med bättre förutsättningar för högre standardiseringsnivå och tillåter att varmvattencirkulation elimineras i flerbostadshus.
- Troligen annan värmelastprofil i lågenergihus då både varmvattenanvändning och påverkan från värmegenerering från apparater, sol och människor får större genomslag när uppvärmningsbehovet minskar.
- Fjärrvärmesystemet kan ta hand om elproduktionsöverskott orsakade av intermittent produktion (främst vindkraft) genom att producera värme med värmepumpar och ackumulera den. Denna punkt handlar inte så mycket om en ny generation teknik utan snarare vilken roll fjärrvärmen kan komma att ha i energisystemet i framtiden.

Figur 1 visar karakteristiska temperaturnivåer i fjärrvärmenät. Även om de bästa systemen har en bit kvar till visionen om fjärde generationens fjärrvärme så har utvecklingen kommit en bit på väg.



Figur 1 Exempel på fram- respektive returtemperaturer i fjärrvärmenät. Baserat på (Werner, 2013a), (Frederiksen & Werner, 2013) och (Andersson, 2014a). 4GDH avser 4th Generation District Heating, alltså fjärde generationens fjärrvärme. Anledningen till att Västerås ligger på en lägre nivå än bästa tillgängliga teknik är att den senare är baserad på Svensk Fjärrvärmes dimensioneringskriterier vilka förutsätter högre nättertemperaturer.

Det ligger kanske nära till hands att anta att det är lättare att nå låga temperaturer i ett mindre system än i ett stort. En sammanställning av många svenska och danska nät (Werner, 2013a) visar att även om det förefaller finnas ett samband så är det svagt och den individuella spridningen mellan olika nät är stor. Det finns en rad olika fel, från kortslutningar i nät till felinställda kundanläggningar och installationer, som leder till att faktiska nättemperaturer generellt är högre än nödvändigt (Frederiksen & Werner, 2013). Det är därför av största vikt att sådana fel kan undvikas men även att systemen bättre måste kunna identifiera uppkomna fel som leder till förhöjda temperaturer.

## Forskningsprojekt

I detta avsnitt redovisas ett antal intressanta projekt inom ramen för vad som kan kallas för fjärde generationens fjärrvärme. Det är inte syftet att detta ska utgöra en fullständig bild av alla liknande aktiviteter, utan här lyfts några exempel fram som har dokumenterats i olika publikationer.

### Low Temperature District Heating (LTDH), Danmark

Då inte annat anges bygger följande avsnitt på referenserna (Brand, 2013; Dalla Rosa, 2012b; Energistyrelsen - EUDP2008-II, 2011; Energistyrelsen, 2010).

Danmark har antagit en offensiv plan (Danish Government, 2011) för energiförsörjningen. Till 2050 ska all energitillförsel (el, värme, industri och transport) täckas av förnybar energi. Men redan 2035 ska all elproduktion och byggnadsuppvärmning täckas av förnybar energi. I vilken grad just dessa mål påverkar omfattningen på den danska fjärrvärmeforskningen låter författaren vara osagt, men helt klart satsar Danmark stora resurser på att utveckla fjärrvärmen.

#### Århus

I området Lystrup i Århus uppfördes 2008-2010 40 radhus och en lokal. Behovet av levererad specifik energi beräknades till 43,1 kWh/m<sup>2</sup>. Byggnaderna har värmesystem bestående av radiatorer och golvvärme i badrum. Området försörjs av fjärrvärme från Århus fjärrvärmenät via en shuntkoppling. 82 % av totalt 723 meter kulvert utgörs av flexibla plaströr (AluPEX) och resten av stålrör. Alla rör är twinrör, det vill säga fram- och returledning ryms i samma kulvert vilket medför att värmeförlusten blir lägre, och rördiametrarna varierar mellan 14-32 mm. Nätet är dimensionerat för maximalt 10 bar och lägsta accepterade differenstryck över fjärrvärmecentralerna är 0,3 bar.

Mätdata från 2012 visar en genomsnittlig kulvertförlust på 17 %. Genomsnittlig fram- och returtemperatur var år 2011 52,7 respektive 34,1 °C. Den totala genomsnittliga specifika fjärrvärmeanvändningen uppgick till 70 kWh/m<sup>2</sup> varav 12 kWh/m<sup>2</sup> var kulvertförluster. Hade konventionella enkelrör och 80 grader framtemperatur använts görs bedömningen att förlusterna hade varit fyra gånger högre. Att den verkliga värmeanvändningen blev större än beräknat förklaras med att de danska byggreglerna förutsätter en inomhustemperatur på 20 °C, medan den i praktiken visar sig ligga kring 22-23 °C.

Det var en uttalad strategi att använda klena rördimensioner och att använda så kallade boosterpumpar (distribuerade pumpar som höjer differenstrycket lokalt i nätet) i området för att kunna upprätthålla erforderligt differenstryck i hela nätet. Syftet med så klene dimensioner som möjligt är självfallet att minimera värmeförlusterna, dock befarades att pumparbetet skulle bli för högt. Så blev dock inte fallet utan andelen pumparbete ligger i linje med befintlig fjärrvärme i Danmark. Resultatet är samtidigt inte helt förvånande, enligt författaren, eftersom boosterpumpar medför mer effektiv tillförsel av pumparbete då mindre pumpenergi måste strypas bort totalt sett.

När byggnader blir mer energieffektiva är det tappvarmvattenförsörjningen som utgör det nedre temperaturkravet för fjärrvärmenätet. Danmark har, i likhet med Sverige, exempelvis krav på minst 50 °C vid tappstället. Tappvarmvattenproduktion med genomströmningsberedare kräver 55 °C börvärde medan förrådsberedning kräver 60 °C. I de danska så kallade LTDH-projekten (Low Temperature District Heating, lågtemperaturfjärrvärme) har man utgått från ett antaget komfortkrav på 45 °C på tappvarmvattenet. För att hantera legionellproblematiken, som normalt kräver minst 50 °C i alla delar av tappvarmvattensystem, så har man lutat sig mot en tysk standard, DVGW 551 (Gerhardy, 2012), som inte anger några krav för lägsta temperatur i tappvarmvattensystem med en total volym (exklusive värmeväxlare) på 3 liter. Kravet att inte överstiga 3 liter klaras normalt om varje lägenhet har en egen värmeväxlare vilket begränsar rörlängderna från varmvattenberedningen. I flerfamiljshus måste alltså lägenhetsfjärrvärmecentraler användas vilket är betydligt vanligare utanför Sverige.

För området i Lystrup utvecklades särskilda fjärrvärmecentraler som klarar att leverera 47 °C tappvarmvattentemperatur vid en framledningstemperatur på 50 °C, och med en returtemperatur på 20 °C. På så sätt skulle det finnas två grader i marginal till komfortkravet. Två typer av fjärrvärmecentraler har använts: en med genomströmningsberedare för tappvarmvatten och en med förrådsberedare på primärsidan. Båda fjärrvärmecentralerna tillämpar direkt anslutning av värmesystemet.

Danmark har en mer utbredd tradition av förrådsberedare än Sverige. Med tanke på legionellproblematiken och de låga temperaturerna testades en lösning med ackumulering på primärsidan. Ambitionen med denna lösning var att minimera dimensionerande flöden för tappvarmvatten och att därmed kunna minimera rördimensioner för att i sin tur få så låga värmeförluster som möjligt. Dock visade sig förrådsberedarna generera värmeförluster vars storlek minskade nyttan med ackumuleringen. Den andra fjärrvärmecentraltypen var av, den i Sverige förhärskande, genomströmningstypen. För att klara att producera tappvarmvatten på 47 °C vid en framledningstemperatur på 50 °C utvecklades för ändamålet en ny värmeväxlare av Danfoss.

Genomströmningsvarianten kräver en bypassventil för varmhållning av servisledningen sommartid. Eftersom denna medför en form av kortslutning av nätet så utvecklades under projektet en lösning där bypassflödet används för att värma en komfortgolvvärmekrets för badrummen. Detta resulterade i en förbättrad avkylning av bypassflödet med 7,5 °C och 13 % sänkt värmeförlust utanför uppvärmningsperioden.

Mycket resurser har lags på att säkerställa en god tappvarmvattenkomfort och enligt rapporteringen ska man ha lyckats med det. Returtemperaturerna har emellertid inte blivit så låga som man hoppats, vilket emellertid verkar bero på enskilda fjärrvärmecentraler med dålig funktion (gäller både genomströmnings- och förrådsberedarvarianterna). De bästa centralerna uppvisar förväntat låga returtemperaturer, vilket enligt författaren återigen understryker vikten av fungerande komponenter.

Kostnaderna för LTDH-projektet i Lystrup sammanfattas i Tabell 1 nedan.

Tabell 1 Kostnader för LTDH-projektet i Lystrup. Modifierad efter (Dalla Rosa, 2012b).

	EUR/m	EUR/st	EUR totalt	EUR/kund
Rör	120		65 000	1 585
Röranslutningar	32		17 000	415
Rörförläggning*	131		100 500	2 451
Fjärrvärmecentral – primärförråd		3 700	41 000	1 000
Fjärrvärmecentral – genomströmning		2 600	78 000	1 902
Fjärrvärmecentral – installation*		1 000	41 000	1 000
Pump inkl. frekvensreglering		4 400	4 400	107
<b>Totalt</b>			<b>346 900</b>	<b>8 461</b>

\* Uppskattning från genomsnittlig kostnad i Danmark.

En förbättrings- och utvecklingsmöjlighet av LTDH-konceptet uppges vara (Dalla Rosa, 2012b) att ytterligare försöka minimera rördimensionerna och närma sig det absolut högsta tryck som medierören kan tåla. För att åstadkomma detta efterlyses bättre kunskap om sammanlagringsfaktorer. Den individuella variationen av värmeanvändningen ökar då uppvärmningsbehovet minskar och värmertilskotten från sol, människor och elektrisk utrustning ökar i energieffektiva byggnader.

I en fortsättning av det danska LTDH-projektet (Energistyrelsen, 2010) studeras möjligheterna för lågtemperaturfjärrvärme för befintlig bebyggelse. Simuleringar (Brand, 2013) för en typisk 1970-talsvilla visar att 50 °C skulle vara tillräcklig framtemperatur en stor del av året. 3 % av tiden skulle temperaturen behöva överstiga 60 °C och 21 % av tiden skulle den behöva överstiga 50 °C. Genom fönsterbyten skulle motsvarande siffror reduceras till 7 respektive 0,2 %. Med tilläggsisolering och större radiatorer skulle 50 °C räcka hela året.

#### *Tåstrup*

En intressant lösning som studeras är nyttiggörande av returflödet i ett befintligt nät vid anslutningen av ett lågtemperaturnät (Christensen & Kaarup Olsen, 2011), (Holm Christiansen, 2013). En sådan lösning testas i Tåstrup i ett område med 75 småhus från 1996-97 med golvvärme. Det befintliga nätet hade en framtemperatur på 70-75 °C och värmeförluster på 43 procent. Nätet byggs om enligt samma princip som i Lystrup. Anslutningen till huvudnätet görs med en trerörs shuntkoppling där huvudnätets retur blir framledning i LTDH-nätet och vid behov spetsas med huvudnätets framledning. 80 procent av LTDH-nätets framledning utgörs av returflöde från huvudnätet. Värmeförlusterna 2012 uppgick till 15 % och framtemperaturen ligger mellan 50-55 °C. Även i Tilst finns en mindre demonstration av LTDH för befintlig bebyggelse, i det fallet i åtta småhus från 1970-talet.

Pågående projekt om LTDH till befintlig bebyggelse ska avslutas under 2014. Detta gäller även ett pågående projekt där värmesystemen sätter nivån för erforderlig framtemperatur och därmed medger en framtemperatur kring 40-45 °C. I varje kundcentral lyfts sen tappvarmvattentemperaturen med hjälp av små värmepumpar (Zvingilaite, Ommen, Elmegaard, & Franck, 2011). Dessa får mycket bra värmefaktor (4,5–4,8) och ska endast kräva en elanvändning motsvarande 7 procent av värmeanvändningen.

#### **Övriga**

IEA-DHC projektet Towards 4th generation District Heating syftar till att kartlägga tidiga försök och beskriva övergången till fjärde generationens fjärrvärme och ska avslutas under 2014. Förutom aktiviteterna i Danmark tas några andra intressanta exempel upp (Wiltshire, 2013).

#### *Kirsehir, Turkiet*

Turkiet har stora geotermiska resurser och många fjärrvärmenät som utnyttjar detta, med varierande nättemperatur (Mertoglu, 2013). I dagsläget finns det 90 000 anslutna hushåll, motsvarande 800 MW. Dessutom värms växthus med drygt 600 MW och badanläggningar med knappt 900 MW. En stark

drivkraft för denna utveckling är det låga priset på geotermisk värme. Priset för kunden ligger på motsvarande mellan en sjundedel och en fjärdedel av priset för uppvärmning med gas. Expansionen av näten finansieras helt och hållet genom anslutningsavgifter. I Kirsehir (Mertoglu, Bakir, & Kaya, 2003) finns tillgång till geotermisk värme mellan 54 och 57 °C. När fjärrvärmenätet byggdes 1994 gjordes bedömningen att radiatorsystemen i de 1 800 byggnader som skulle anslutas var tillräckligt överdimensionerade för att kunna använda den geotermiska värmen direkt. Värt att notera är att den dimensionerande utetemperatur på platsen är -12 °C, samma som i Danmark.

#### *Okotoks, Kanada*

I Okotoks i Kanada finns ett lågtemperaturfjärrvärmenät som till 90 procent försörjs av solvärme (Sibbitt et al., 2012; Wiltshire, 2013). Nätet omfattar ett område med 52 energieffektiva småhus som byggdes 2007. Husen ligger i fyra längor och till varje hus hör ett garage. Garagen är emellertid sammanbyggda och bildar på så sätt fyra längor som är täckta med 2 300 m<sup>2</sup> solfångare. Solfångarna är anslutna till fjärrvärmenätet som även inkluderar en gaseldad spetslastpanna, ett borrhållslager och en ackumulatortank som korttidslager. I husen sker uppvärmningen via ett forcerat ventilationssystem. Tappvarmvattenförsörjningen ingår inte i systemet utan sker via en separat solfångare på respektive hus i kombination med en liten gasbrännare. För utemperaturer varmare än -2,5 °C är framledningstemperaturen 37 °C för att sen öka till maximalt 55 °C vid -40 °C. Genomsnittlig fram- returtemperatur ligger på 40 respektive 32 °C och genomsnittlig utetemperatur är 3,9 °C.

#### *Slough, Storbritannien*

Ett annat lågtemperaturprojekt är området Greenwatt Way i Chalvey, nära staden Slough i Storbritannien. Projektet benämns ”A zero carbon homes newbuild case study” (Energy savings trust, 2011) och innefattar 10 småhus vars energiförsörjning alltså inte ska generera några nettokoldioxidutsläpp över ett år. Husen är mycket välisolerade och är utrustade med en rad speciallösningar såsom återanvändning av gråvatten och återvinning av energi från avloppsvatten. På taken finns solceller (63 kW) som ska tillgodose att husen kan nå nollanvändning. Området försörjs av ett litet fjärrvärmesystem som kan tillföras värme på fyra olika sätt: solfångare, luftvärmepump, bergvärmepump eller biopanna. De tre sistnämnda är dimensionerade för att var och en kunna förse området med värme och samtidigt kunna klara nollenergikravet. Det finns även ett värmelager på 8 m<sup>3</sup> för korttidslagring.

Fjärrvärmesystemet arbetar med en framtemperatur på 50-55 °C. Tappvarmvatten med en temperatur av 43 °C produceras i individuella genomströmningsberedare och rumsvärme tillförs dels genom radiatorer och dels genom forcerad ventilation som värms med returen från radiatorerna.

Hela projektet inklusive utformning av nya lösningar, parallella system för fjärrvärmeförsörjning och pågående uppföljning och utvärdering har kostat 3,65 miljoner pund. Hittills uppges systemet som helhet fungera väl även om returtemperaturen är högre än väntat, omkring 35 °C (Wiltshire, 2013).

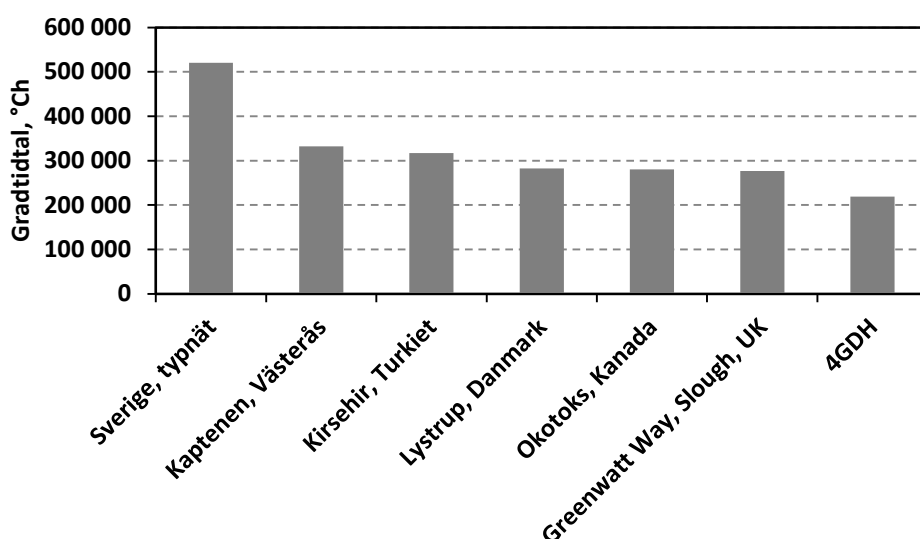
#### *Västerås och Linköping*

I Västerås pågår ett exempel på en målmedveten satsning på att försörja nybyggda bostäder med lågtempererad fjärrvärme. Exemplet är intressant då det förenar en rad innovativa tekniska lösningar och är en gemensam satsning av energibolag och fastighetsägare och det har realiserats i sju olika bostadsområden som innefattar såväl småhus som flerbostadshus med höga energiprestanda, i vissa fall passivhusstandard. Systemen är sekundäranslutna till huvudnätet och dimensionerade för 60/30 °C fram-/returtemperatur. För distributionen har medierör av plast (PEX) och isolering av cellplast (EPS) använts. Dessa har förlagts samtidigt med VA, el och bredband vilket uppges ha minskat den totala tiden för rörförläggning med en tredjedel (Eriksson, Karlsson, & Framås, 2013). Värmesystemen är direktanslutna och värmeväxlare används endast för tappvarmvatten. Vissa av systemen innehåller flerbostadshus och där har man valt att satsa på lägenhetsfjärrvärmecentraler, alltså tappvarmvattenväxlare i varje lägenhet, vilket medför att ingen varmvattencirkulation är nödvändig. En del av de byggnader som anslutits är passivhus och har endast värmeförsörjning via luftbatterier som är fjärrvärmeanslutna. I övriga byggnader används radiatorer. För att öka värmeförsäljningen så mycket som möjligt försörjs

såväl vitvaror som komfortgolvvärme och handduktstorkar med fjärrvärme vilket förväntas bidra med 1 000-2 000 kWh/år per bostad. För att minimera rördragning så har en lösning testats där radiatorer, luftbatteri, komfortgolvvärme och vitvaror är anslutna till en gemensam värmekrets som arbetar med konstant framledningstemperatur. De ekonomiska förhållandena för lågtemperatursystemen varierar självfallet från område till område och det går inte exakt att säga var man hade hamnat om man istället valt konventionell teknik. Ett område med småhus har utvärderats lite närmare och där landade man på 50 000 kronor per hus i anslutningskostnad och gör bedömningen att man ligger 10 procent billigare räknat per meter ledning i distributionskostnad (Andersson, 2014b) tack vare de åtgärder och teknikval som gjorts. En generell bedömning (Andersson, 2014c) av aktiviteterna i Västerås är att investeringskostnaden är i samma storleksordning som om man hade valt konventionell primäranslutning men att värmeförlusterna minskar med upp till 50 procent.

I Linköping pågår också arbete med lågtempererade sekundärnät med ambitionen att vara konkurrenskraftiga vid nybyggnation (Bruce, 2014). Till skillnad från i Västerås satsar man på konventionella stålmedierör med mer isolering, men även här försöker man målmedvetet att minska kostnader genom god planering. Exempelvis förläggs ledningar innan byggnadernas grunder gjuts. Såväl indirekt som direkt anslutning av värmesystem har testats men man anser att direkt anslutning inte medför några fördelar. Framledningstemperaturen ligger på 60 °C eller något högre. Värmeförluster har inte utvärderats än men den ekonomiska bilden ser ljus ut. De anslutna byggnaderna är relativt energieffektiva, en del är passivhus men de flesta är byggda enligt byggnormen. Dock är småhusen generellt stora vilket håller uppe värmeanvändningen.

Figur 2 visar en sammanställning av så kallade gradtidtal för de projekt som rapporterats i detta avsnitt samt för ett typiskt svenskt fjärrvärmenät. Fördelen med att jämföra gradtidtal för värmedistributionen istället för endast fram- och returtemperatur, är att de räknas ut som en integral av distributionens genomsnittliga årliga temperaturdifferens och tar hänsyn till den aktuella ortens temperatur. På så sätt väger man in det faktum att det av klimatologiska skäl exempelvis krävs en högre distributionstemperatur i Sverige än i Danmark. Det bör påpekas att det finns andra skäl som kan förklara att nättertemperaturerna är högre i Sverige än i Danmark, exempelvis att värmeförlusterna har ett lägre värde på grund av låg marginalkostnad för biokraftvärme.

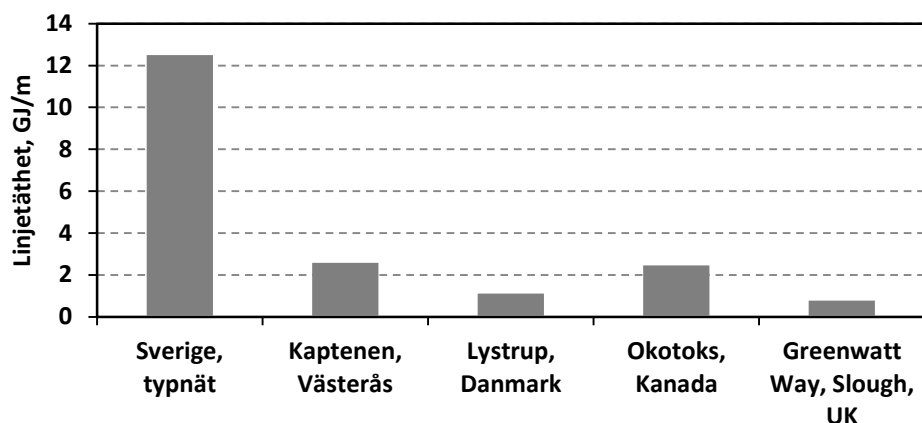


Figur 2 Gradtidtal för värmedistributionen är en integral av distributionens genomsnittliga årliga temperaturdifferens och tar hänsyn till den aktuella ortens temperatur. Data från (Andersson, 2014a; Frederiksen & Werner, 2013; Werner, 2013a, 2013b)

Figuren visar att även om inget projekt ännu realiserat visionen om temperaturnivån för fjärde generationens fjärrvärme så finns flera exempel på ungefär en halvering av rådande typiska temperaturnivå i

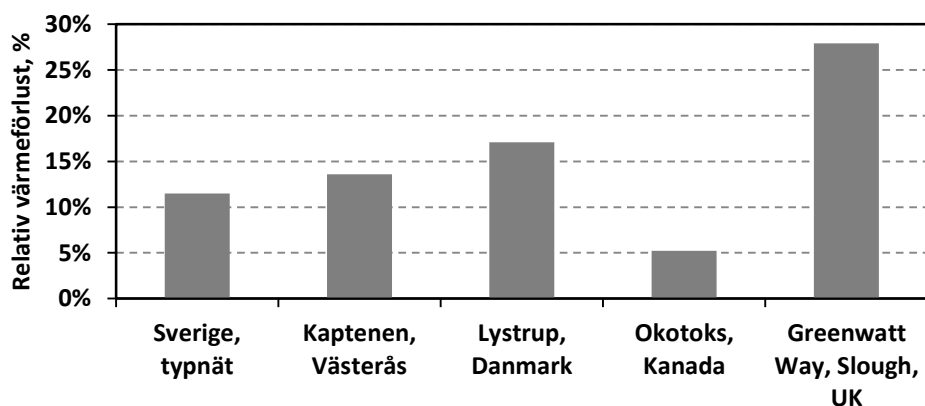


Sverige. Figur 3 visar linjetätheten för ett typiskt svenskt fjärrvärmenät samt för de i detta avsnitt redovisade projekten.



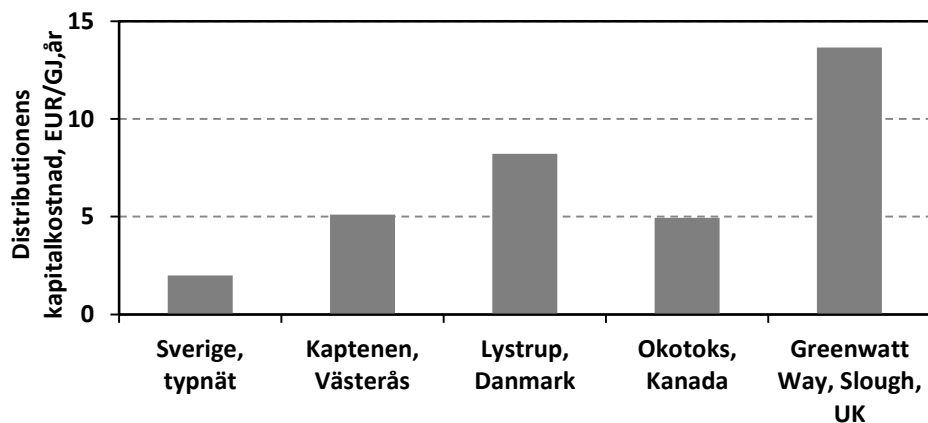
Figur 3 Linjetäthet för typiskt svenskt fjärrvärmenät och några utvalda lågtemperaturnät.

Figur 4 visar den relativa värmeförlusten för ett typiskt svenskt fjärrvärmenät samt för de i detta avsnitt redovisade projekten. Lågtemperaturnäten präglas av å ena sidan låg linjetäthet, vilket ökar förlusterna, och å andra sidan låga temperaturer, vilket sänker förlusterna. Generellt har man även satsat på bättre isolering för att minska förlusterna. Den extremt låga förlusten i Okotoks beror sannolikt på en extremt låg temperaturnivå – fjärrvärmesystemet försörjer som sagt inte tappvarmvattensystemet.



Figur 4 Relativ värmeförlust för typiskt svenskt fjärrvärmenät och några utvalda lågtemperaturnät.

Figur 5 visar kapitalkostnaden för fjärrvärmedistribution för ett typiskt svenskt fjärrvärmenät samt förväntad nivå för de i detta avsnitt redovisade projekten. Distributionskostnaden för fjärrvärme består av kapitalkostnad, värmeförluster, pumpkostnader och underhållskostnader varav den förstnämnda dominerar (Frederiksen & Werner, 2013). Kapitalkostnaden kan uppskattas utifrån typiska investeringskostnader för rörförläggning, annuitet (kalkylränta och ekonomisk livslängd) och linjetätheten (finns utförligt beskrivet i avsnitt 11.4 i (Frederiksen & Werner, 2013)). Notera att det alltså inte är faktiska investeringskostnader som ligger bakom figuren.



Figur 5 Kapitalkostnad för distribution i typiskt svenskt fjärrvärmenät och några utvalda lågtemperaturnät. Antaganden efter (Werner, 2013b) och beräknat enligt (Frederiksen & Werner, 2013): Kostnadsnivå för Sverige 2007 för nybyggnation ( $C_1 = 80,1 \text{ EUR/m}$ ,  $C_2 = 1656 \text{ EUR/m}^2$ ) och annuitet 0,08 (5 % och 20 år).

Figurerna visar vikten av att hålla såväl värmeförluster som investeringskostnad för distribution låga. Åtminstone beträffande värmeförlusterna så har lågtemperaturprojekten visat sig vara lyckosamma. Den samlade ekonomiska bilden är svårare att få grepp om, även om man i alla projekt hävdar att den ser ljus ut.

### Aktuella forskningsprojekt

I detta avsnitt redovisas de aktuella projekt som har ett uttalat fokus mot fjärde generationens fjärrvärme. Det omfattande och fleråriga danska forskningsprojektet om LTDH har beskrivits utförligt i föregående avsnitt. Bakom projektet finns ett flertal aktörer inom både universitet/högskola och industri (Danmarks tekniska universitet, Teknologisk institut, Logstor, COWI, Danfoss och Energitjeningen) med finansiering från den danska energimyndigheten. Två delprojekt pågår fortfarande (2014) och dessa rör demonstration av LTDH i befintlig bebyggelse samt LTDH med ännu lägre framtemperatur där värmepumpar i kundcentraler används till tappvarmvattenberedning.

Med Ålborgs Universitet som huvudaktör och med basfinansiering från Det Strategiske Forskningsråd har ett strategiskt forskningscenter bildats, kallat 4DH, med en total omslutning på omkring 80 MSEK och ett trettiotal samarbetspartners inom akademi och industri. Från svensk sida deltar Högskolan i Halmstad, Chalmers och Linnéuniversitetet. Projektet pågår 2012-2017 och består av tre olika arbetspaket ("Appendix B: Strategic Research Centre 4th Generation District Heating Technologies and Systems (4DH)," 2012): nät och komponenter, produktion och systemintegration samt planering och implementering. Inom ramens för detta har följande 13 doktorandprojekt initierats (författarens översättning, publikationer anges i förekommande fall): lågtemperaturfjärrvärme till befintliga byggnader, tappvarmvattenförsörjning vid komfortnivå utan legionella (reviewartikel, (Yang, 2013)); konvertering av befintlig fjärrvärme till lågtemperatur och utbyggnad i nybyggnadsområden; minimering av distributionsförluster; energiscenarier för Danmark; termiska lager i fjärrvärmenät; optimering av kraftvärmeverk med avseende på fluktuerande elproduktion; lågtempererade värmekällor för fjärrvärme (Connolly et al., 2014); fjärrvärmens roll i det kinesiska energisystemet; strategisk energiplanering i ett kommunalt och juridiskt perspektiv; prisreglering, tariffer och ägarskap som delar av strategisk energiplanering; geografisk representation av värmebehov, verkningsgrad och tillförsel; geografisk representation av förnybara energisystem (Petrovic & Karlsson, 2013).

Det har, utöver doktorandprojekten, utkommit ett antal publikationer inom 4DH-projektet hittills som generellt kan sägas vara av mer systemövergripande karaktär. Den mest framstående torde vara arbetet med Heat Roadmap Europe 2050 (Connolly et al., 2014). Den tar sin utgångspunkt i att EU-kommissionens rapport Energy Roadmap Europe 2050 framför allt ser en framtida elektrifiering av uppvärmningssektorn. I artikeln har potentialen för fjärrvärmeutbyggnad identifierats genom utförlig

kartläggning av såväl efterfrågan som tillgång på värme, och resultatet visar att en kraftig utbyggnad av fjärrvärmens i EU skulle medföra att man klarar primärenergi- och utsläppsmål till en lägre kostnad. Ett antal publikationer (Hvelplund, Möller, & Sperling, 2013; Lund et al., 2013; Lund, Andersen, Østergaard, Mathiesen, & Connolly, 2012; Østergaard, 2013; Sorknæs, Andersen, Tang, & Strøm, 2013) hanterar den ökade volymen intermittent elproduktionen i Danmark genom vindkraftens expansion och hur fjärrvärmesystemet kan bidra till att tackla detta problem. Syftet är att bredda diskussionen om smarta nät från att handla om smart elnät till smarta energinät, där exempelvis värmepumpar kan drivas under perioder med hög elproduktion från vindkraft och lågt elpris och leverera värme som ackumuleras om inte efterfrågan på värme är tillräckligt stor.

Inom ramen för IEA-DHC:s forskningsprogram för fjärrvärme utförs, som nämnts ovan, en uppföljning av tidiga försök med fjärde generationens fjärrvärme – Towards 4th generation District Heating (Wiltshire, 2013). Projektet pågår 2012-2014 med deltagande från Danmark, Sverige (Högskolan i Halmstad), Tyskland och Storbritannien. Opublicerat material från detta projekt har använts i föreliggande rapport (Werner, 2013b).

IEA-DHC har även ett samarbetsprojekt kallat Low Temperature District Heating for Future Energy Systems som koordineras av Fraunhofer-Institute for Building Physics i Kassel. Detta är också relativt nyligen startat (2012) och pågår till och med 2015. Huvudsakligen syftar projektet till att utveckla koncept för renovering av befintliga och nya fjärrvärmesystem för att dessa ska bli den billigaste vägen till fossilfria energisystem.

Som nämndes tidigare är ökad grad av standardisering av komponenter en faktor som anses angelägen för fjärde generationens fjärrvärme, dels för att göra fjärrvärmens mer ekonomiskt konkurrenskraftig men även för att på sikt kunna klara att leverera fjärrvärme med låg fram- och returtemperatur. Det nyligen (hösten 2013) uppstartade projektet EcoEfficientSubstations (Aaltonen, 2013) syftar till att harmonisera tekniska specifikationer för fjärrvärmecentraler. I projektet ingår även miljömärkning och testning av fjärrvärmecentraler, med medverkan av bland andra SP i Sverige.

Här skulle man kunna fortsätta att räkna upp forskningsprojekt med stor relevans för framtidens fjärrvärme, inte minst på temat smarta nät (smarta värmenät eller smarta energinät som integrerar el och värme), men fokus i denna rapport har varit sänkta nättemperaturer.

## Diskussion

I detta avslutande avsnitt ges några sammanfattande reflektioner kring fjärde generationens fjärrvärme med avseende på vilka de största utmaningarna är.

Lagkrav på tappvarmvattentemperaturen sätter gränsen för hur låg framtemperatur som kan användas. I Danmark har man försökt att gå runt krav genom att hänvisa till en tysk DN-norm. Denna väg medger att en framtemperatur ner kring 50 °C kan klaras, alltså i linje med visionen för fjärde generationens fjärrvärme. För svenskt vidkommande är frågan hur detta skulle kunna appliceras med avseende på Boverkets regler. Om inte legionellasäkerhet kan garanteras på annat sätt (Yang, 2013) så återstår alternativet att tillgodose tappvarmvattenförsörjningen på något annat sätt. Så görs exempelvis i systemet i Okotoks som beskrevs ovan, men även i det Nederländska systemet i Heerlen (*Mine water as a Renewable Energy Source - An information guide based on the Minewater Project and the experiences at pilot locations in Midlothian and Heerlen*, n.d.). I det ovan nämnda danska forskningsprojekt där värmepumpar används för att lyfta tappvarmtemperaturen är tanken att kunna driva ett fjärrvärmenät med mycket låga temperaturer om endast uppvärmningsbehovet i energieffektiv bebyggelse ska tillgodoses. Distributionsförlusterna kan på så sätt bli mycket små men å andra sidan är det knappast önskvärt att tappa (hela eller delar av) tappvarmvattenlasten i redan värmeglesa områden. De svenska exemplen i Västerås och Linköping visar att mycket kan vinnas genom att fokusera på att sänka investeringskostnaderna genom planering, korta tider för kulvertförläggning och billigare komponenter.

Reidhav och Werner (2008) har listat sju faktorer som ökar lönsamheten i värmegles fjärrvärme: marknadssituation som medger konkurrenskraftigt pris, hög användning per hus, låg marginalkostnad för produktion, låga relativa värmeförluster, låg drift och underhållskostnader, låga krav på kalkylränta från fjärrvärmeföretagets ägare och låga investeringskostnader per hus. Av dessa är värmeanvändningen, värmeförlusterna och investeringskostnaderna de mest kritiska i värmeglesa områden. Nu är inte värmeglesa områden nödvändigtvis synonymt med fjärde generationens fjärrvärme, men det är sannolikt i denna typ av områden som det är mest angeläget att få nästa generations teknik på plats för att fjärrvärmens ska kunna förbli konkurrenskraftig. Det avspeglas också i de projekt som redovisats i denna rapport, som alla har låg linjetäthet och valt att, mer eller mindre, sikta in sig på de tre nämnda kritiska faktorerna. Försöken i Danmark, som beskrivits mest utförligt här, men även de i Västerås, visar också att man har varit lyckosam.

I (Dalla Rosa, 2012b), som väl sammanfattar LTDH-aktiviteterna och problematiserar kring ekonomiska och organisatoriska utmaningar hävdas att för att kunna ansluta energieffektiv bebyggelse till fjärrvärme är det nödvändigt med närhet till befintligt fjärrvärmenät och att det finns kapacitet tillgänglig för att hålla nyinvesteringar i produktion till ett minimum. Vidare görs en sammanställning av projektet i Lystrup i form av en SWOT-analys. Bland svagheter anges sådant som att prototyper har använts och att fel påträffades i funktionen hos en del komponenter. Två faktorer anges som hot: Att den danska zonindelningen för uppvärmning inte gäller vid nybyggnation samt att tillgången på investeringar är begränsad. Det är värt att notera att inga faktorer rörande tekniska möjligheter eller lönsamhet i driften av LTDH tas upp i SWOT-analysen.

Det främsta hot som brukar lyftas fram mot fjärrvärmens framtida konkurrenskraft i Sverige är värmepumpar. I ett europeiskt perspektiv är sannolikt även naturgas en tuff konkurrent. Utvecklingen mot lägre temperaturbehov i energieffektiva byggnader gynnar inte bara fjärrvärme utan i kanske ännu högre grad värmepumpar som får en högre värmefaktor. Byggreglerna har självfallet stor betydelse för denna utveckling men diskuteras inte i denna rapport.

Även värmepumpsbranschen måste hantera utvecklingen mot mer energieffektiva byggnader. I (Haglund Stignor et al., 2009) konstateras att värmepumpssystem har svårt att konkurrera med direktel och fjärrvärme i energieffektiva småhus och att det krävs en utveckling för att få fram en ny generation kostnadseffektiva små värmepumpar. Detta belyses också av ett nytt forskningsprojekt med syfte att utveckla värmepumpslösningar för nära nollenergihus då dagens värmepumpar är för stora och för dyra för lågenergihus, i synnerhet småhus med höga energiprestanda (Granmar, 2013). Samtidigt är det inom ett annat område, där värmepumpar historiskt haft svårt att utmana fjärrvärmens, som värmepumpar har blivit allt mer konkurrenskraftiga gentemot fjärrvärme och det är i större byggnader (flerbostadshus) och i synnerhet byggnader som även har kylbehov (lokaler). Fler och fler kontorsbyggnader och liknande satsar på så kallade geoenergianläggningar där värmepumpar i kombination med ett borrhåls- eller akviferlager producerar både värme och kyla. Detta för tankarna till fjärrvärmesystemet i Nederländska Heerlen, som egentligen kan beskrivas som ett stort geoenergisystem med fjärrvärmedistribution. En nedlagd kolgruva utnyttjas som värmelager. Energi för uppvärmning hämtas vid 28 °C och lyfts med värmepump till maximalt 45 °C framtemperatur (tappvarmvatten produceras med naturgaspanna). På sommaren hämtas frikyla vid 18 °C. I (Op't Veld, 2010) visas exempel på hur man, som i fallet Heerlen, använder en central stor värmepump eller hur man alternativt skulle kunna distribuera värmen direkt och lyfta den med värmepumpar hos respektive kund.

Diskussioner kring fjärde generationens fjärrvärme tenderar att rikta fokus på Danmark, dels eftersom de flesta forskningsprojekten och publikationerna kring fjärde generationens fjärrvärme härstammar från i Danmark, dels eftersom Danmark liknar Sverige genom att det är ett ”moget” fjärrvärmeland med hög marknadspenetration. Samtidigt blir det tydligt utifrån alla publikationer om fjärrvärmens framtid i Danmark att det finns många betydande skillnader, både avseende själva fjärrvärmetekniken och avseende yttre faktorer såsom energipolitik och konkurrens. Genomgående lyfts i Danmark energieffektivisering (genom minskad specifik energianvändning för uppvärmning) fram som en absolut

nödvändighet, både i anknytning till diskussioner om hur det danska energisystemet ska kunna omvandlas till 100 procent förnybart, såväl som när det gäller de tekniska möjligheterna att försörja befintlig bebyggelse med lågtemperaturfjärrvärme. Det ses endast som realistiskt att fjärrvärmen ska kunna öka sin marknadsandel från dagens ungefär 50 procent till så småningom 70 procent om värmeanvändningen samtidigt minskar kraftigt. I ett sådant fall kan temperaturerna minskas och geotermi, solenergi och stora värmepumpar kombinerat med säsongslager kan ersätta användningen av fossila bränslen. Faktum är att man i Danmark räknar med ökad användning av bioenergi i fjärrvärmesektorn fram till 2025 och därefter att användningen av bioenergi flyttas till andra sektorer (Dalla Rosa, 2012a). Mathiesen et al. (2012) argumenterar för att en ökad utbyggnad av fjärrvärmen i Danmark kommer att resultera i minskad biobränsleanvändning jämfört med individuell uppvärmning och därmed frigöra biobränsle för andra användarsektorer. Att det är angeläget att flytta bioenergianvändningen till andra sektorer beror dels på bedömningar om större klimat- och miljönytta men inte minst på det faktum att Danmark importerar det mesta biobränslet. Istället är det avfallsförbränning, geotermi, solenergi och värmepumpar kombinerat med säsongslagring av värme som gäller. Minskad energianvändning för byggnadsuppvärmning minskar även investeringsbehovet i nya produktionsanläggningar. Tabell 2 visar en sammanställning över skillnader som är värt att ta i beaktande för Sveriges vidkommande vid jämförelser med Danmark och möjligheter att överföra forskningsresultat.

Tabell 2 Sammanställning över viktiga skillnader mellan Sverige och Danmark med avseende på fjärrvärmens utveckling.

Danmark	Sverige
Tydlig politisk riktning om fossilfri uppvärmning 2035 (och 2050 även hela energisektorn)	Mycket små koldioxidutsläpp i byggnadssektorn idag. Sverige och Danmark är delar av ett gemensamt elnät, men Sveriges elproduktionsanläggningar har mycket liten andel fossil energi
Stor intermittent elproduktion – incitament att integrera fjärrvärmesystemen i smarta nät	Stor reglerkapacitet genom vattenkraft
Förväntad utbyggnad av sol och värmepumpar i fjärrvärmesektorn i kombination med värmelager, minskad användning av kraftvärmeanläggningar	Kraftig utbyggnad av biokraftvärme
50 % högre elpris i Danmark jämfört med Sverige	för hushållskund, jämförbara fjärrvärmepriser
Kortsiktigt konvertering från fossila bränslen till biobränslen i kraftvärmeverk, långsiktigt utfasning av biobränsle pga stort importbehov	Stort beroende av biobränslen, delvis importerat
Generella tekniska skillnader: mindre nät, mindre höjdskillnader, vanligt med direktanslutna värmesystem och förrådsberedare	Generella tekniska skillnader: större nät, större höjdskillnader, indirekt anslutna värmesystem och genomströmningsberedare dominerar

Danmark kan tveklöst tjäna som förebild för Sverige vid en satsning på fjärde generationens fjärrvärme samtidigt som utmaningen måste angripas med dessa skillnader som utgångspunkt.

Det är viktigt att lågtemperaturfjärrvärme förstås som en utveckling som går hand i hand med framväxten av lågenergibygnader (nya eller gamla renoverade byggnader) och kommer att samexistera i kombination med befintliga ”3G-nät”. I takt med att tillräckligt många byggnader i ett nät når bättre energiprestanda kan hela nätet successivt övergå till ”4G-standard”. Frederiksen och Werner (2013) föreslår att expansionen av fjärde generationens nät lämpligen sker genom anslutning till huvudnätens returledning, alltså i linje med den danska lösning som tidigare nämnts. På så sätt undviker man även investeringar i ny distributionskapacitet. En central fråga är dock hur nyttan av sänkta framtemperaturer ska kunna komma produktionsanläggningarna till gagn i en situation där delar av ett nät alltså kräver dagens framtemperatur. Det finns inget givet, enkelt svar på denna fråga, utan det krävs ett kontinuerligt och långsiktigt arbete för att successivt sänka framtemperaturen. Generellt är det överfö-

ringsbegränsningar i nätet, alltså kravet på att upprätthålla tillgängligt differenstryck i alla delar av nätet, som tvingar upp framtemperaturen snarare än de enskilda fjärrvärmecentralernas krav på en specifik temperatur. Det finns en rad åtgärder som kan tillämpas för att kontinuerligt sänka temperaturnivån.

Det första måste vara att åtgärda fel i nätet och därefter att realisera de sänkningar som redan idag är möjliga. Som visades ovan så medför sänkta temperaturer stora besparingar. Svensk fjärrvärmes LAVA-kalkyl kan bistå med underlag för det specifika nätet. Enligt (Pettersson & Dahlberg Larsson, 2013) tillämpar 55 procent av fjärrvärmeföretagen någon form av flödesprissättning och dessa företag har i medel 2,6 °C lägre framtemperatur respektive 1,6 °C lägre returtemperatur. Krafttringen och Lunds tekniska högskola har under hösten 2013 genomfört ett examensarbete (Falkvall & Nilsson, 2014) med syfte att undersöka möjligheter att sänka framtemperaturen i fjärrvärm nätet i Lund. Det noterades att det finns en diskrepans på ungefär 8 °C mellan den genomsnittliga returtemperaturen från kunderna och den returtemperatur som når produktionsanläggningarna. Det finns alltså omfattande rundgångar i nätet och det visade sig också att returtemperaturen generellt följde en ändring i framtemperaturen vilket stärker testen om rundgångar. Trots detta visade sig en sänkning av framtemperaturen på runt 5 °C vara möjlig, framför allt genom en bättre så kallad laststyrning av framtemperaturen som reglerar med avseende på både utetemperatur och tid på dygnet, och värdet uppskattades till 3 miljoner per år.

För det fortsatta arbetet med temperaturoptimering måste energieffektiviseringar som görs hos kunderna beaktas. I synnerhet om renoveringarna av miljonprogramsområdena kommer igång så kommer, ofta perifera, områden att efterfråga mindre energi och kräva lägre temperatur. Om man samtidigt behåller befintliga värmesystem i renoverade byggnader och tillämpar generös dimensionering av värmeöverförande ytor vid nyinstallation så erhålls en bättre avkylning.

Syntesen av det senaste Fjärrsynprogrammet (Wahlström, Göransson, & Wennerhag, 2013) listar flera forskningsresultat som kan bidra till fortsatt sänkning av nättemperaturerna. Fläktkonvektorer kan kraftigt höja avkylningen över befintlig radiatorer, adaptiv reglering av radiatorsystem innebär att radiatorsystemets framledning anpassas för att ge högsta möjliga avkylning utifrån aktuell framledningstemperatur i nätet och framför allt laststyrning av byggnader, en teknik som redan finns kommersiellt tillgängligt, bidrar till jämnare last och sänkt returtemperatur. Framöver skulle mer forskning behövas kring samspelet mellan styrningen av fjärrvärm nätet och design och drift av kraftvärmearläggningar. Bättre anpassning till sänkta temperaturer kan höja prestandan i kraftvärmeverken i högre grad än idag (Genrup, 2014).

Mycket fokus i de projekt som beskrivits i denna rapport är inriktade på att minimera värmeförluster. Man kan invända att det framgent möjligen bör läggas större fokus på de övriga aspekter av fjärde generationens fjärrvärme, som listades tidigare, främst att sänka installationskostnader genom ökad standardisering. I ett framtida perspektiv med större andelar värmeförsörjning från sol, geotermi och spillvärme kan den rörliga produktionskostnaden bli lägre och värmeförlusternas betydelse mindre. Samtidigt kräver konkurrensen från värmepumpar att kostnaden för att ansluta en byggnad till fjärrvärme kan hållas så låg som möjligt.

## Referenser

- Aaltonen, T. (2013, November 5). *EcoEfficientSubstations*. Presentation från DHC+ 2nd International Research Conference, Bryssel.
- Andersson, K. (2014a). Internt material, uppföljning Kaptinen i Västerås.
- Andersson, K. (2014b, 19 februari). Mälarenergi.
- Andersson, K. (2014c, 24 februari). Mälarenergi. E-postkorrespondans.
- Appendix B: Strategic Research Centre 4th Generation District Heating Technologies and Systems (4DH). (n.d.). 4DH. Hämtad från <http://4dh.dk/images/about/Projectdescription4DH.pdf>

- Brand, M. (2013). *Heating and Domestic Hot Water Systems in Buildings Supplied by Low-Temperature District Heating* (Doktorsavhandling). Technical University of Denmark.
- Bruce, S. (2014, 18 februari). Linköping tekniska verken.
- Christensen, S. K., & Kaarup Olsen, P. (2011). New District Heating Concept: Use the Return Water for Supply in New Areas / Networks. *Hot Cool*, 2011(4).
- Connolly, D., Lund, H., Mathiesen, B. V., Werner, S., Möller, B., Persson, U., ... Nielsen, S. (2014). Heat Roadmap Europe: Combining district heating with heat savings to decarbonise the EU energy system. *Energy Policy*, 65, 475–489. doi:10.1016/j.enpol.2013.10.035
- Dalla Rosa, A. (2012a, oktober). *Low-Temperature District Heating for Energy-Efficient Communities*. Presentation från Energy Efficient Communities, Salzburg.
- Dalla Rosa, A. (2012b). *The Development of a new District Heating Concept - Network Design and Optimization for Integrating Energy Conservation and Renewable Energy Use* (Doktorsavhandling). DTU, Danmark.
- Danish Government, T. (2011). *Our Future Energy*. Hämtad från <http://www.ens.dk/en/policy/danish-climate-energy-policy>.
- Energistyrelsen. (2010). EUDP 2010 Lavetemperatur fjernvarme i eksisterende bebyggelser.
- Energistyrelsen - EUDP2008-II. (2011). *CO<sub>2</sub>-reductions in low energy buildings and communities by implementation of low temperature district heating systems. Demonstration cases in Boligforeningen Ringgården and EnergyFlexHouse*. (No. 63011-0152). Danmark: Energistyrelsen.
- Energy savings trust. (2011). *Greenwatt Way - A zero carbon homes newbuild case study* (No. CE335). Hämtad från <http://www.energysavingtrust.org.uk/Publications2/Housing-professionals/New-build/Greenwatt-Way-a-newbuild-case-study>
- Eriksson, F., Karlsson, M., & Framås, K. I. (2013). Sekundärnät för lågtempererad fjärrvärme. Hämtad från <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:hh:diva-22959>
- Falkvall, M., & Nilsson, V. (2014). *Optimerad framledningstemperatur i Lunds fjärrvärmenät* (Examensarbete). Lunds Universitet, LTH, Lund.
- Frederiksen, S., & Werner, S. (2013). *District Heating and Cooling*. Lund: Studentlitteratur.
- Genrup, M. Docent i kraftverksteknik vid Lunds universitet, LTH. Personlig kommunikation. (2014, 7 februari).
- Gerhardy, K. (2012). Das DVGW-Arbeitsblatt W 551 und die 3-Liter-Regel. DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs. Hämtad från <http://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/wasser/gesundheit/1202gerhardy.pdf>.
- Granmar, M. (2013). Energisnåla hus kräver nya värmepumpar -. *Energi & Miljö*. Retrieved from <http://www.energi-miljo.se/2013/03/energisnala-hus-kraver-nya-varmepumpar/>
- Haglund Stignor, C., Lindahl, M., Alsbjær, M., Nordman, R., Rolfsman, L., & Axell, M. (2009). *Nästa generations värmepumpssystem i bostäder och lokaler* (No. SP Arbetsrapport 2009:12). SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- Holm Christiansen, C. (2013, November 5). *Low temperature networks: Concept, demonstration and guideline*. Presentation från DHC+ 2nd International Research Conference, Bryssel.
- Hvelplund, F., Möller, B., & Sperling, K. (2013). Local ownership, smart energy systems and better wind power economy. *Energy Strategy Reviews*, 1(3), 164–170. doi:10.1016/j.esr.2013.02.001
- Lund, H., Andersen, A. N., Østergaard, P. A., Mathiesen, B. V., & Connolly, D. (2012). From electricity smart grids to smart energy systems – A market operation based approach and understanding. *8th World Energy System Conference, WESC 2010*, 42(1), 96–102. doi:10.1016/j.energy.2012.04.003
- Lund, H., Hvelplund, F., Østergaard, P. A., Möller, B., Mathiesen, B. V., Karnøe, P., ... Wenzel, H. (2013). System and market integration of wind power in Denmark. *Energy Strategy Reviews*, 1(3), 143–156. doi:10.1016/j.esr.2012.12.003
- Mathiesen, B. V., Lund, H., & Connolly, D. (2012). Limiting biomass consumption for heating in 100% renewable energy systems. *Energy*, 48(1), 160–168. doi:10.1016/j.energy.2012.07.063
- Mertoglu, O. (2013, March 27). *Present Situation and Geothermal Potential of Turkey*. Presentation från IFC-IGA Geothermal Exploration Best Practices Launch Event, Istanbul.
- Mertoglu, O., Bakir, N., & Kaya, T. (2003). Geothermal applications in Turkey. *Geothermics*, 32(4-6), 419–428. doi:10.1016/S0375-6505(03)00055-5

- Mine water as a Renewable Energy Source - An information guide based on the Minewater Project and the experiences at pilot locations in Midlothian and Heerlen.* (n.d.). Hämtad från [https://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CC0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fskronline.net%2Fcontent%2Fimages%2Fstories%2Fdocuments%2Fmine\\_water\\_renewable\\_energy\\_guide.pdf&ei=KgTqUo-jG8nSsgaT1oCADw&usg=AFQjCNGc-aOH3kW5RXs9BjqzUqVeykR0-g&sig2=D7XF0M76BR1yx8ZKctyZGQ&bvm=bv.60444564,d.Yms](https://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CC0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fskronline.net%2Fcontent%2Fimages%2Fstories%2Fdocuments%2Fmine_water_renewable_energy_guide.pdf&ei=KgTqUo-jG8nSsgaT1oCADw&usg=AFQjCNGc-aOH3kW5RXs9BjqzUqVeykR0-g&sig2=D7XF0M76BR1yx8ZKctyZGQ&bvm=bv.60444564,d.Yms).
- Op't Veld, P. (2010, October 20). *Exergy based energy stations - Minewater project*. Presentation från The Future for Sustainable Built Environments with High Performance Systems, München.
- Østergaard, P. A. (2013). Wind power integration in Aalborg Municipality using compression heat pumps and geothermal absorption heat pumps. *Energy*, 49, 502–508. doi:10.1016/j.energy.2012.11.030
- Petersson, S., & Dahlberg Larsson, C. (2013). *Samband mellan flödespremie och returtemperatur* (Fjärrsynrapport 2013:25). Svensk Fjärrvärme.
- Petrovic, S., & Karlsson, K. (2013). Use of Danish Heat Atlas and energy system models for exploring renewable energy scenarios. Presentation från SDEWES conference, Dubrovnik.
- Reidhav, C., & Werner, S. (2008). Profitability of sparse district heating. *Applied Energy*, 85(9), 867–877. doi:10.1016/j.apenergy.2008.01.006
- 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. doi:10.1016/j.egypro.2012.11.097
- Sorknæs, P., Andersen, A. N., Tang, J., & Strøm, S. (2013). Market integration of wind power in electricity system balancing. *Energy Strategy Reviews*, 1(3), 174–180. doi:10.1016/j.esr.2013.01.006
- Wahlström, Å., Göransson, A., & Wennerhag, P. (2013). *Fjärrvärmens roll i energiomställningen - 12 steg i rätt riktning. En syntes av 49 rapporter från forskningsprogrammet fjärrsyn 2006-2013.* (Fjärrsynrapport 2013:30). Svensk Fjärrvärme.
- Werner, S. (2012). *Fjärde generationens fjärrvärme i ett Europaperspektiv*. Presentation från Fjärrvärmedagarna 2012, Skövde.
- Werner, S. (2013a). *Current and future temperature levels in district heating systems*. Presentation från 4DH, First PhD student seminar.
- Werner, S. (2013b). Internt material, uppföljning 4GDH-projekt.
- Wiltshire, R. (2013, March 26). *International Energy Agency (IEA) research on district heating*. Presentation från UK Energy Research Centre - Low Carbon Heat: Research Gaps & Opportunities, Oxford.
- Yang, X. (2013). Review of various solutions for avoiding critical levels of legionella bacteria in domestic hot water system. Presentation från 8th Conference on Sustainable Energy Systems, Dubrovnik.
- Zvingilaite, E., Ommen, T., Elmegaard, B., & Franck, M. L. (n.d.). *Low temperature district heating consumer unit with micro heat pump for domestic hot water preparation*. Hämtad från [https://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CC8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.fvu-center.dk%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2F8\\_low\\_temperature\\_district\\_heating\\_consumer\\_unit\\_with\\_micro\\_heat\\_pump\\_for\\_domestic\\_hot\\_water\\_preparation\\_.pdf&ei=IEbqUp-RJITMsbGvYCWdg&usg=AFQjCNFQ6mGtZnWxtvX0miQu0tAfq0onPQ&sig2=ogi64Od056vjPhu0iT-HPA&bvm=bv.60444564,d.Yms](https://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CC8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.fvu-center.dk%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2F8_low_temperature_district_heating_consumer_unit_with_micro_heat_pump_for_domestic_hot_water_preparation_.pdf&ei=IEbqUp-RJITMsbGvYCWdg&usg=AFQjCNFQ6mGtZnWxtvX0miQu0tAfq0onPQ&sig2=ogi64Od056vjPhu0iT-HPA&bvm=bv.60444564,d.Yms).