

# Hovedrapport

## Energistyrelsen – EUDP 2010-II

*Journalnr. 64010-0479*

# Fuldskalademonstration af lavtemperatur- fjernvarme i eksisterende bebyggelser

*Juni 2014*

---

**COWI**



DANISH  
TECHNOLOGICAL  
INSTITUTE

**DANSK  
FJERNVARME**

**DTU Civil Engineering**  
Department of Civil Engineering

**Danfoss**

**LOGSTOR**

**Kamstrup**  
- metering solutions



Høje Taastrup Fjernvarme a.m.b.a.



**Boligforeningen  
Ringgården**



**AFFALDVARME AARHUS**  
Teknik og Miljø  
Aarhus Kommune

## Forord

Projektet "Fuldskala demonstration af lavtemperaturfjernvarme i eksisterende bebyggelser " er støttet af Energistyrelsen gennem energiforskningsprogrammet EUDP 2010-II og gennemført af følgende projektkonsortium:

- COWI A/S; Peter Kaarup Olsen
- Teknologisk Institut; Christian H. Christiansen
- Dansk Fjernvarme; Morten Hofmeister
- Høje Taastrup Fjernvarme a.m.b.a.; Rudi Bjerregaard & Uffe Schleiss
- AffaldVarme Aarhus; Thomas Lund, Minh Huynh & Mette Rude
- Boligforeningen Ringgården; Holger Jørgensen
- Danfoss A/S / Danfoss Redan; Jan Eric Thorsen, Jan Bennetsen & Oddgeir Gudmundsson
- Kamstrup A/S; Michael Ingemann
- Logstor A/S; Bjarne K. Jepsen & Christian Ting Larsen
- Danmarks Tekniske Universitet, DTU-Byg; Svend Svendsen, Alessandro Dalla Rosa & Marek Brand
- Ribe Jernindustri A/S; Filip Rosenberg

Denne rapport er en sammenfatning af de overordnede resultater fra bilagsrapporterne samt den udarbejdede guideline for lavtemperaturfjernvarme. Bilagsrapporterne indeholder de samlede beskrivelser og resultater fra projektets tre fuldskala demonstrationssteder:

- Sønderby, Høje Taastrup. (Høje Taastrup Fjernvarme a.m.b.a.).
- Langøvænget, Skjoldhøjparken i Tilst ved Aarhus. (AffaldVarme Aarhus).
- Lærkehaven i Lystrup ved Aarhus. (Boligforeningen Ringgården).

Projektkonsortiet vil benytte lejligheden til at takke alle beboerne i Sønderby, Tilst og Lystrup for deres medvirken i fuldskalademonstrationen. Disse har specielt i byggefasen skulle inddrages i projektet, hvilket har medført visse gener. Beboerne har dog vist velvilje og interesse for projektet samt ikke mindst givet vigtig feedback på driften af det nye fjernvarmesystem, hvilket har været af stor værdi for projektet.

Desuden skal Høje Taastrup Fjernvarme og AffaldVarme Aarhus have en særlig tak for at have givet mulighed for fuldskalademonstrationen af lavenergifjernvarmekonceptet i eksisterende bebyggelser og særlig tak til Boligforeningen Ringgården for at have deltaget som demonstrationsvært til målinger, tests, analyser m.v. Tak til driftspersonalet hos alle tre demonstrationsværter i forbindelse med indkøring m.m. af fjernvarmesystemerne.

Peter Kaarup Olsen (COWI A/S), projektleder, juni 2014.

# Indholdsfortegnelse

Side

<b>Forord</b> .....	<b>2</b>
<b>Indholdsfortegnelse</b> .....	<b>3</b>
<b>Bilagsfortegnelse</b> .....	<b>4</b>
<b>Sammenfatning</b> .....	<b>5</b>
<b>Summary</b> .....	<b>7</b>
<b>1 Indledning</b> .....	<b>9</b>
1.1 Baggrund .....	9
1.2 Formål .....	10
1.3 Hovedaktiviteter i projektet .....	10
1.4 Projektpartnere .....	11
<b>2 Generelt om lavtemperaturfjernvarme fuldskala-demonstrationen</b> .....	<b>14</b>
2.1 LT fjernvarmekonceptet.....	14
2.2 Faglige udfordringer .....	14
2.3 Målgruppe og merværdi for brugerne.....	15
2.4 Konkurrentanalyse.....	15
2.5 Markedspotentiale .....	16
<b>3 Demonstration i Sønderby</b> .....	<b>17</b>
<b>4 Demonstration i Tilst</b> .....	<b>19</b>
<b>5 Demonstration i Lystrup</b> .....	<b>21</b>
<b>6 Resultatoversigt for de tre demonstrationsområder</b> .....	<b>23</b>
<b>7 Guideline for lavtemperaturfjernvarme</b> .....	<b>25</b>
<b>8 Kommercielle resultater</b> .....	<b>26</b>
<b>9 Formidling</b> .....	<b>27</b>
9.1 Guideline .....	27
9.2 Artikler / konference-papers .....	27
9.3 Præsentationer på konferencer.....	28
<b>10 Konklusion</b> .....	<b>29</b>

## **Bilagsfortegnelse**

Bilagsrapport – Demonstration i Sønderby

Bilagsrapport – Demonstration i Tilst

Bilagsrapport – Demonstration i Lystrup

Guideline for Low-Temperature District Heating

## Sammenfatning

Dette projekt "Fuldskalademonstration af lavtemperaturfjernvarme i eksisterende bebyggelser" blev udført med økonomisk støtte fra Energistyrelsens F&U program "EUDP" (Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram). Projektperioden var fra januar 2010 til januar 2014.

Projektets hovedaktiviteter har været:

- Fuldskalademonstration i to eksisterende parcelhuskvarterer, Sønderby og Tilst.
- Fortsættelse af demonstration i lavenergibyggeri - brugeradfærd og optimering, Lystrup.
- Fremstilling af en international guideline.

### Demonstration i Sønderby

Der er gennemført fuldskalademonstration i bydelen Sønderby i Høje Taastrup vest for København. Demonstrationen indeholdt 75 parcelhuse fra 1997-98, der alle har gulvvarme. Det eksisterende ledningsnet var ineffektivt med et højt varmetab. Høje Taastrup Fjernvarme installerede et helt nyt ledningsnet med højeffektive twin-rørsledninger, en blandeshunt med booster-pumpe i en fælles varmecentral og nye fjernvarmeunits med gennemstrømningsveksler i alle 75 huse. Med lavtemperaturkonceptet, hvor der i gennemsnit fremføres 55° C i fjernvarmenettet, er varmetabet i Sønderby blevet reduceret fra ca. 41 % til 13-14 %. Varmetabsbesparelsen i 2012 var reelt omkring 555 MWh svarende til 75 %. Demonstrationen har vist, at den lave fjernvarmetemperatur fint kan dække rumvarmebehov og produktion af varmt brugsvand. Fuldskalademonstrationen har også været innovativ ved, at blandeshunten i varmecentralen er indrettet således, at den udnytter returvand i fra et naboområde. Omkring 80 % af den totale forsyning i lavtemperaturnettet dækkes herved.

### Demonstration i Tilst

Der er udført fuldskalademonstration på en vej med 8 huse fra 1970'erne i Danmarks største parcelhuskvarter Skjoldhøjparken i Tilst ved Aarhus med ca. 1000 huse i alt. Alle 8 huse har radiatorer. For at kunne reducere fremløbstemperaturen i fjernvarmenettet, er der etableret en blandeshunt ved indgangen til vejen og enkelte renoveringstiltag i boligerne er gennemført. Efter at have kørt med sænket fremløbstemperatur i en periode i det gamle ledningsnet (enkeltrør), er det efterfølgende blevet erstattet af et nyt effektivt twinrørsystem. Resultaterne viste, at det var muligt at reducere fremløbstemperaturen i nettet fra 71-78° C ned til 61-66° C, hvilket kunne reducere varmetabet i ledningsnettet med 20 % på årsbasis. Efter også at have renoveret ledningsnettet var varmetabet samlet set reduceret med 63 %. Relativt set er varmetabet gået fra at udgøre ca. 28 % af den tilførte fjernvarme til vejen med de 8 huse til at udgøre ca. 12 %. Det er estimeret, at ca. 380 af husene i Skjoldhøjparken har et lignende ældre ledningsnet og alene ved renovering af dette, kan der spares i omegnen af 840 MWh fjernvarme årligt. En anden konklusion ifm. demonstrationen er, at en kombination af energirenovering af klimaskærmen samt forøget radiator effekt i de hårdest belastede rum i de eksisterende huse kan være den mest effektive vej frem mod at kunne have en endnu lavere fremløbstemperatur.

## **Demonstration i Lystrup**

Der er udført målinger, analyser og driftsoptimering for den første større lavenergibebyggelse med lavtemperaturfjernvarme, hvor fremløbstemperaturen er 50° C hos forbrugerne. Bebyggelsen er Lærkehaven i Boligforeningen Ringgårdens afd. 34 i Lystrup ved Aarhus. Fjernvarmesystemet er opført med støtte fra Energistyrelsens EUDP-program (et tidligere projekt) og benytter et koncept, som indebærer anvendelse af nyudviklede fjernvarmeunits i 40 boliger og et effektivt fjernvarmerørsystem i twin-rør Serie 2. Der er demonstreret to forskellige typer fjernvarmeunits. Den ene type er med akkumuleringsbeholder på fjernvarmesiden, som forsyner en brugsvandsveksler, når der er behov for varmt brugsvand. Den anden type er med gennemstrømningsvandvarmere. Begge typer units har en brugsvandsveksler, som er tilpasset den lave fremløbstemperatur. Driften er demonstreret og dokumenteret med succes over en 2 årig periode ved hjælp af et ambitiøst målesystem.

For at opnå den lave fremløbstemperatur er der etableret en blandekreds, som sænker fjernvarmetemperaturen til området. Det har resulteret i et relativt varmetab for området, der i 2012 udgjorde 17,9 % eller ca. 1,2-1,3 MWh pr. bolig. Det er helt i overensstemmelse med forventningerne og skal sammenholdes med, at varmetabet ville have været ca. 4 gange større, hvis der havde været anvendt et traditionelt fjernvarmesystem med enkeltrør, isoleringsklasse Serie 1 og fremløbs-/returtemperaturer 80/40° C.

## **Guideline til lavtemperaturfjernvarme**

Et output i projektet har også været guidelinen "Guidelines for Low-Temperature District Heating". Denne beskriver designkonceptet for lavtemperaturfjernvarme og dets anvendelsesmuligheder og fordele. Herudover opsummeres resultater og driftserfaringer fra forskellige cases – EUDP-projektets demonstrationsområder. Guidelinen kan benyttes som et planlægningsværktøj for lavtemperaturfjernvarme og beskriver, hvorledes det både er anvendeligt for nye og eksisterende bygninger.

## Summary

This project "Full-scale demonstration of low temperature district heating in existing buildings" was carried out with financial support by the Danish Energy Agency in the R&D program "EUDP". The project period was from January 2010 to January 2014.

The main activities in the project have been:

- Full-scale demonstration in existing single-family house neighbourhoods, Høje Taastrup and Tilst.
- Continuation of demonstration in low-energy buildings – user behaviour and optimization, Lystrup.
- Preparation of an international guideline.

### Demonstration in Sønderby

A full scale demonstration has been implemented in the dwelling area of Sønderby in Høje Taastrup, in Greater Copenhagen. The demonstration contained 75 detached houses from 1997-98, which all have floor heating. The existing district heating pipe network was inefficient with a high heat loss. Høje Taastrup District Heating Company installed a new pipe networks with high-performance twin-pipes, a mixing shunt with booster-pump in a district heating station and new district heating units with instantaneous heat exchanger in all 75 houses. With the low temperature concept, where the average the supply has been 55° C, the heat loss in the district heating network in Sønderby has been reduced from approximately 41 % to 13-14 %. The heat loss saving is actually about 555 MWh per year, which corresponds to 75 %. The demonstration has shown that the low district heating temperature is sufficient space heating and domestic hot water production. Another innovative solution in the full scale demonstration is that the mixing shunt in district heating station is designed in such a way that it exploits return water from a neighbouring supply area. About 80 % of the total supply in the low temperature network is covered hereby.

### Demonstration in Tilst

A full scale demonstration has been implemented on a street with 8 houses from the 1970s in Denmark's largest single-family house neighbourhood Skjoldhøjparken in Tilst in Aarhus with approximately 1000 homes in total. All 8 houses do have radiators.

In order to be able to reduce the supply temperature in the district heating network, a mixing shunt was established at the entrance to the street and a number of refurbishment initiatives have been carried out in the houses. After an initial period with operation with lower supply temperature in the old district heating network (single pipes), the network subsequently was replaced by a new effective twin pipe system. The results showed that, it was possible to reduce the supply temperature in the network from 71-78° C down to 61-66° C, which gave a reduced heat loss in the network by 20 % annually. After also having refurbished the pipe network, the overall heat loss was reduced by 63 %. Relatively, the network heat loss in the street was reduced from 28 % to 12 %. It is estimated that approximately 380 of the houses in Skjoldhøjparken have a similar older pipe network and just by replacement of this (without reducing the supply temperature) about 840 MWh district heating can be saved per year. Another conclusion is that a combination of energy refurbishment of the building envelopes as well as increased radiator capacity in some of the rooms in the existing houses can be the most effective way forward toward being able to have an even lower supply temperature.

### **Demonstration in Lystrup**

Monitoring, analyses and operational optimization has been carried out for the first larger low-energy housing area with low temperature district heating, where the supply temperature is as low as 50° C at the consumers. The housing area settlement is Lærkehaven in Housing Association Ringgården's department 34 in Lystrup near Aarhus. The district heating system was built with support from the Danish Energy Agency EUPD-program (a previous project) and using a concept that involves the use of newly developed district heating units (consumer substations) in 40 homes and an efficient district heating pipe system with twin-pipe in insulation class 2. Two different types of district heating units were demonstrated. The first type is with storage tank for district heating water, which supplies a heat exchanger, when there is a need for domestic hot water. The second type is with instantaneous heat exchangers. Both types of units have a heat exchanger for domestic hot water that is modified to the low supply temperature. The district heating operation is demonstrated and documented with success over a 2 year period by means of an ambitious measurement system.

In order to achieve the low supply temperature there is built a mixing shunt, which lowers the district heating temperature to the area. This has resulted in a relatively heat loss for the area, which in 2012 was measured to 17.9 % or approximately 1.2-1.3 MWh per dwelling. It is fully in line with expectations and it is important to notice, that the pipe network heat loss would have been about 4 times larger if it had been a traditional district heating system with single pipes, insulation class series 1 and supply / return temperature of 80/40° C.

### **The international guideline**

An output in the project has also been the guideline "Guidelines for Low-Temperature District Heating". This describes the design concept for low-temperature district heating and its applications and benefits. In addition, summarizes the results and operational experience from various cases – EUPD-project demonstration areas. The guideline can be used a planning tool for low-temperature district heating and describes how it is both suitable for new and existing buildings.

For further information in English can be referred to the guideline.



# 1 Indledning

## 1.1 Baggrund

Fjernvarmen er grundet sin meget store brændselsfleksibilitet og pålidelighed en oplagt komponent i fremtidens danske energisystem, som skal kunne håndtere langt mere vedvarende energi, særligt fluktuerende vindenergi.

I takt med at den fjernvarmeforsynede eksisterende bygningsmasse energirenoveres, muliggøres en mere effektiv fjernvarmeforsyning med lavere temperaturer samt mindre rørdimensioner.

To tidligere udviklingsprojekter har skabt grundstenen for et brugbart lavtemperaturfjernvarmekoncept:

- Fase 1 og 2: EFP 2007 "Udvikling og demonstration af lavenergifjernvarme til lavenergi-byggeri"
- Fase 3: EUDP 2008 "CO<sub>2</sub>-reductions in low energy buildings and communities by implementation of low temperature district heating systems. Demonstration cases in EnergyFlexHouse and Boligforeningen Ringgården."

I disse projekter blev følgende udviklet og testet:

- Overordnet designkoncept for lavtemperaturfjernvarme.
- Fjernvarmebeholderunit (FVB) med et lager til fjernvarmevand på primærsiden og produktion af varmt brugsvand gennem tilsluttet gennemstrømningsvandvarmer (GVV) med specialudviklet veksler.
- Fjernvarmeunit med GVV efter traditionelt princip, men med specialudviklet veksler.
- Et twin-fjernvarmerør med lille rørdimension og stor isoleringstykkelse (ø14-14 mm / 110 mm).

Beregninger og indledende målinger fra de to tidligere projekter anskueliggjorde, at man med lavere fjernvarmetemperaturer og energieffektivt ledningsnetdesign kan reducere nettabet med op til 40-75 %.

Det er en kendsgerning, at CO<sub>2</sub>-udslippet i forbindelse med fjernvarmeopvarmning i dag er under det halve af, hvad det ville have været, hvis vi i stedet var fortsat med individuel opvarmning på grundlag af olie eller gas. Fjernvarmen er en af hovedårsagerne til, at Danmark har formået at holde energiforbruget konstant gennem en lang årrække trods markant økonomisk vækst i samme periode.

Projektet understøtter den seneste energispare-aftale fra 13. november 2012, der betyder, at der skal spares 10,7 PJ pr. år i perioden 2013-2014 og 12,2 PJ per år i perioden 2015-2020. Så markante mål betyder, at besparelserne skal findes både i nyt og eksisterende byggeri.

Ifølge Varmeplan Danmark er det samlede varmetab i fjernvarmesystemet på 7419 GWh eller 27 PJ, hvilket vil sige, at det overordnet set med de udviklede teknologier/koncepter (lavere fjernvarmetemperaturer og optimalt ledningsnet-design) er muligt at spare ca. 13 PJ/år i selve fjernvarmenettet. I CO<sub>2</sub> svarer dette til 728.000 tons pr. år. Herudover findes et væsentligt besparelspotentiale i de områder, som planlægges udbygget med fjernvarme (områder med naturgas eller individuel forsyning, der vil blive konverteret til fjernvarme). Udbygningspotentialet ligger mellem 20-60 %, jf. Varmeplan Danmark.

Samtidig vil projektet også kunne underbygge målsætningerne for VE-udbygningen, idet et lavtemperatur (LT) fjernvarmenet er optimalt i forhold til integration af både solvarme, varmepumper samt

geotermi. Dette betyder, at CO<sub>2</sub>-reduktionspotentialet ved LT fjernvarmekonceptet rækker udover, hvad der kan realiseres via temperatursænkning i nettet.

## 1.2 Formål

Formålet har været at videreudvikle og markedsmodne koncepter for fremtidens LT fjernvarmesystem. Projektet er tredje trin i et forløb, hvis formål har været at skabe en solid platform for fremtidens danske fjernvarmeteknologi og -branche. To foregående F&U-projekter har vist lovende resultater for LT fjernvarmekonceptet, som samtidig er demonstreret i Danmarks første nybyggede lavenergigiboligområde med LT fjernvarme med en fremløbstemperatur på helt ned til 50° C. Projekterne har vist, at det samlede varmetab i ledningsnettet kan reduceres markant ift. et traditionelt fjernvarmesystem, mens produktkomponenter og systemløsninger prismæssigt ligger på samme niveau som traditionelle løsninger.

Det næste vigtige skridt, som udgøres af dette projekt, var så at udvikle LT løsninger, som er optimeret i forhold til det eksisterende byggeri, da der her vurderes at være et stort besparelspotentiale både i Danmark og internationalt. Målet har været at bringe viden og løsninger til LT fjernvarme frem mod et stadie, hvor disse er klar til at blive anvendt på det danske og internationale marked.

Med afsæt i de to foregående F&U-projekter, har det været formålet at demonstrere LT fjernvarmekonceptet i eksisterende parcelhuskvarterer hhv. i Sønderby i Høje Taastrup og i Skjoldhøjparken i Tilst ved Aarhus. Herudover har det været formålet at fortsætte af demonstrationen i Lystrup med 40 lavenergigiboliger - der var en del af det forrige F&U-projekt - med henblik på at samle yderligere driftserfaringer med LT konceptet herunder at undersøge brugeradfærd og optimeringsmuligheder.

## 1.3 Hovedaktiviteter i projektet

Projektets har været inddelt i en række hovedaktiviteter, som er beskrevet i det følgende:

- 1) Koordinering med bygherre, udførende og beboere**  
Koordinering, planlægning og implementering af konceptet i bebyggelserne i Sønderby, Tilst og Lystrup inkl. løbende opfølgning og møder med bygherre og udførende.
- 2) Konceptuelt layout og forberedelse af fuldskalademonstration, Sønderby og Tilst**  
Fastlæggelse af konceptuelt layout for fjernvarmesystem, varmeanlæg og brugerinstallationer. Installation af nye fjernvarmeunits i 75 huse og nyt ledningsnet samt central blandeshunt og booster-pumpe i Sønderby. Installation af central blandeshunt og senere nyt ledningsnet for 8 huse i Tilst. Herudover også udskiftning af enkelte fjernvarmeunits og tilpasning af varmeanlæg og gennemførelse af enkelte energirenoveringstiltag i Tilst.
- 3) Opsætning af måleudstyr og dataopsamling**  
Valg af målepunkter og måleudstyr, installation af måleudstyr og etablering af et operationelt dataopsamlingssystem i Sønderby og Tilst. Fortsættelse af dataopsamling i Lystrup.
- 4) Driftsovervågning og fejlfinding**  
Derudover løbende evaluering af anlæggets drift samt fejlfinding i Sønderby, Tilst og Lystrup.
- 5) Fuldskalademonstration i Sønderby, Tilst og Lystrup**  
Demonstration af lave fjernvarmetemperaturer. Analyse af varmemeforbrug og driftsforhold samt opgørelse af varmetab i ledningsnet og elforbrug til booster-pumpe. Sammenligning af

målt og beregnet varmetab. Vurdering af driftsforhold i forhold til brugerinstallationerne inkl. radiatoranlæg.

Analyse af et stykke eksisterende fjernvarmerør i Sønderby og Tilst.

Undersøgelse af brugeradfærd og optimeringsmuligheder i Lystrup samt fortsat sammenligning af de to typer fjernvarmeunits.

## 6) Guideline og formidling

Udarbejdelse af international guideline for lavtemperaturfjernvarme - sparring med udenlandske aktører. Formidling af projektresultater i artikler.

Som det fremgår, er fokus på fjernvarmesystemet, så projektet omhandler ikke en evaluering af selve byggeriet eller bygningernes øvrige energimæssige forhold udover, hvad der er beskrevet ovenfor.

Nedenstående kort viser placeringen af de tre demonstrationsområder. I Sønderby, Høje Taastrup og i Tilst er der tale om demonstration af lavtemperaturfjernvarme i eksisterende byggeri, mens der i Lystrup er tale om en demonstration i lavenergi-nybyggeri.



Figur 1: Kort over placeringen af EUDP-projektets tre demonstrationsområder.

## 1.4 Projektpartnere

EUDP-projektet var organiseret som et fagligt bredt partnerskab mellem fjernvarmeforsyninger, producenter, en boligforening, en brancheforening / et formidlings- og udviklingscenter, rådgivere og forskningsinstitutioner. De enkelte partnere og deres ansvarsområder er kort beskrevet nedenfor.

### COWI A/S

COWI har stået for projektledelse og har haft ansvaret udvikling af designkonceptet. COWI har dimensioneret ledningsnettet samt shunt- og booster-pumpecentralen i Sønderby og har efterfølgende stået for analysearbejdet. Med udgangspunkt heri er der leveret input til guidelinen m.v.

### **Teknologisk Institut**

Teknologisk Institut har assisteret med projektledelse og har haft en nøglerolle i måle- og analysearbejdet særligt for demonstrationen i hhv. Lystrup og Tilst. Teknologisk Institut har herudover leveret input til designkoncept og guidelinen.

### **Dansk Fjernvarme**

Dansk Fjernvarme har været hovedansvarlig for udarbejdelsen af guidelinen og har generelt stået for formidling af projekts resultater. Dansk Fjernvarme kom med undervejs, da projektet var i gang, idet Dansk Fjernvarme overtog Fjernvarmens Udviklingscenter, der var den oprindelige projektdeltager.

### **Høje Taastrup Fjernvarme a.m.b.a.**

Høje Taastrup Fjernvarme har været ansvarlig for fuldskala demonstrationen i Sønderby og har haft kontakten til beboere. Deltog også i fastlæggelse af det endelige designkoncept og analyse af driften.

### **AffaldVarme Aarhus**

AffaldVarme Aarhus har været ansvarlig for fuldskala demonstrationen i Tilst og har haft kontakten med beboerne og endvidere udskiftet diverse brugerinstallation og stået for dimensionering af nye fjernvarmeledninger samt analysearbejde for demonstrationen.

### **Boligforeningen Ringgården**

Boligforeningen Ringgården har været demonstrationsvært i Lystrup og herved deltaget i indsamling af måledata og undersøgelse af brugeradfærd samt foretaget mindre justeringer i lavtemperaturfjernvarmesystemet.

### **Danfoss A/S**

Danfoss har deltaget med både Danfoss District Energy og Danfoss Redan A/S. Danfoss har leveret lavtemperaturfjernvarmeunits og diverse reguleringskomponenter. Danfoss har løbende deltaget med sparring, analyse og teknisk assistance under driften. Herudover har Danfoss leveret input til designkoncept og guidelinen.

### **Kamstrup A/S**

Kamstrup har leveret energimålere og udstyr til dataopsamling og har herudover leveret support i forbindelse med indsamling af måledata.

### **LOGSTOR A/S**

LOGSTOR har leveret fjernvarmerør til demonstrationen i Sønderby og generelt givet sparring vedr. fjernvarmerør.

### **DTU-Byg (Danmarks Tekniske Universitet)**

DTU-Byg har deltaget i måle- og analysearbejdet samt i udarbejdelsen af guidelinen. Har herudover testet et koncept, hvor gulvvarmen fungerer som by-pass i brugerinstallationen.

### **Ribe Jernindustri A/S**

Ribe Jernindustri har givet sparring vedr. radiatorer i forbindelse med demonstrationen i Tilst og Lystrup.

### **Øvrige**

Grundejerlauget Sønderby har deltaget i informationsmøder både før og efter demonstrationen. Herudover har beboerne løbende været i tæt dialog med Høje Taastrup Fjernvarme.

Erfaringerne fra demonstrationen og guidelinen er blevet præsenteret for en række udenlandske aktører på DHC+ konference, Bruxelles, 4.-6. november 2013 samt på IEA DHC Annex TS1 konference, Finland, 3.-4. september 2013, hvor projektgruppen modtog feedback fra forskellige udenlandske / europæiske aktører i fjernvarmebranchen både på konferencen, men også efterfølgende på baggrund af et rundsendt udkast til guidelinen.

## 2 Generelt om lavtemperaturfjernvarme fuldskalademonstrationen

### 2.1 LT fjernvarmekonceptet

Resultatet af de to tidligere projekter er et udviklet koncept, der er demonstreret i lavenergibyggeri, og som har vist sig konkurrencedygtigt med varmepumpeløsninger. Konceptet for LT fjernvarme er, at der typisk kan være ned til 50° C i fremløb hos forbrugeren og 25-30° C i retur til fjernvarmesystemet. Derudover er det vigtigt, at der benyttes twinrør i en høj isoleringsklasse for at sikre et lavt varmetab. Konceptet med de lavere temperaturer betyder, at der i perioder vil køres med et større flow og tryk end normalt, men uden at det giver støjproblemer eller andre gener i brugerinstallationerne. På grund af de lavere temperaturer vil det i selve fjernvarmeenheden være nødvendigt med en mere effektiv gennemstrømningsvandvarmer (GVV) eventuelt med et større overfladeareal end normalt. Alternativt kan der vælges en særlig fjernvarmebeholderunit (FVB), hvor fjernvarmevand op-lagres i stedet for brugsvand. Det anbefales ikke at have en brugerinstallation med almindelig varmtvandsbeholder til brugsvand på grund af risiko for bakteriedannelse, herunder legionella.

Nye eller eksisterende områder kan forsynes med LT fjernvarme i et eksisterende forsyningsområde via en central blandeshunt typisk suppleret med en booster-pumpe. Blandeshunten sørger for, at der i fremløbet til LT nettet ikke haves højere temperatur end f.eks. 55° C afhængigt af nettet størrelse.

Designkonceptet for LT fjernvarme er nærmere beskrevet i guidelinen "Guideline for Low-Temperature District Heating", vedlagt som selvstændig bilagsrapport.

### 2.2 Faglige udfordringer

De faglige udfordringer i fuldskalademonstrationen har været vise et reduceret varmetab i ledningsnettet, og at fjernvarme ved lavere temperatur end traditionelt er tilstrækkeligt for at dække almindeligt varmt brugsvands- og rumvarmebehov også i eksisterende byggeri.

Udfordringerne har været, at få alle komponenter i fjernvarmesystemet og brugerinstallationerne til at spille sammen på en optimal måde:

- Rørsystem og booster-pumpe (varmetab, tryktab og pumpeenergi)
- Fjernvarmeunits (gennemstrømningsvekslere og fjernvarmelagerbeholdere)
- Brugerinstallationer (gulvvarme og brugsvand) og adfærd (tappemønstre og "koldtvalsprop- per")
- Generel styring af både fjernvarmenet og brugerinstallationer.

Fokus har været på at opnå en lav returtemperatur for at minimere flowet (og dermed den nødvendige pumpeenergi). Herved kan varmetabet i nettet også reduceres og det er muligt at øge effektiviteten på produktionssiden i et kraftvarmesystem etc.

I forbindelse med etablering af LT fjernvarme i områder med eksisterende byggeri ligger der en særlig udfordring i at få de eksisterende varmeinstallationer i de enkelte huse til at fungere ved den lave fjernvarmetemperatur. Dette projekt har undersøgt, hvad der kræves for at få et optimalt LT fjernvarmesystem til eksisterende byggeri, f.eks. i hvilket omfang det er nødvendigt at udskifte radiatorer (til nogle med større overfladeareal).

## 2.3 Målgruppe og merværdi for brugerne

Den primære målgruppe for LT fjernvarme er fjernvarmeværker og den sekundære er bygningsejere. Fjernvarmeselskaberne vil have flere fordele af projektet. De vil kunne benytte sig af de udviklede koncepter og sænke temperaturen og dermed nettabet samt i højere grad benytte vedvarende energikilder. Herudover vil fjernvarmeselskaberne kunne køre med lavere returtemperaturer med efterfølgende bedre effektivitet på produktionen og længere levetid på rør. Det vil ligeledes være nemmere at udnytte overskudsvarme fra industrien, da denne ikke behøver yderligere opgradering for at kunne benyttes til opvarmning. Herudover kan konceptet og projektet være med til at sætte øget fokus på fjernvarmerør i høj isoleringsklasse – ved øget salg af f.eks. serie 3-rør må det forventes at prisen herpå vil falde.

Endelig vil projektets koncept og resultater kunne bruges af forsyningsselskaberne, som er forpligtede til at fremme omkostningseffektive besparelser i slutforbruget inkl. f.eks. reduceret tab i ledningsnettet. Ved beregning kan forsyningsselskaberne dokumentere energibesparelser, hvis de implementerer LT fjernvarme. I eksisterende net kan det være ved enten bare at sænke temperaturen eller for at opnå størst mulig energibesparelse så også at installere nyt ledningsnet etc.

For bygningsejere i områder med LT fjernvarme er der potentiale for at få billigere varme som følge af et lavere nettab. Herudover vil der også være et lavere varmetab fra fjernvarmeenheden i huset samt færre problemer med kalk.

Teknologiens merværdi for branchen og for samfundet ligger i, at den kan anvise mere rentable måder at nå yderligere energibesparelser på i forbindelse med udbygning med fjernvarme og/eller renoivering af bygninger, hvor både markedet og potentialet er stort. På vejen mod at begrænse CO<sub>2</sub>-emissionen fra bygninger vurderes det, at man ved traditionelle tiltag er ved at passere den grænse, hvor det bliver for dyrt både samfunds- og privatøkonomisk at spare på energi og reducere CO<sub>2</sub>-udslip. Det ændrer imidlertid ikke ved, at CO<sub>2</sub>-udslippet for opvarmning af bygninger stadig skal reduceres, og opgaven bliver nu at finde bedre veje til den lavest mulige pris pr. m<sup>2</sup> bygning.

## 2.4 Konkurrentanalyse

I takt med at varmebehovet falder i byggeriet, bliver udfordringen større for udbredelse af traditionel fjernvarme. De tidligere projekter (fase 1, 2 og 3) har vist, at traditionel fjernvarme har det svært i forhold til varmepumpeløsninger i forbindelse med lavenergibyggeri. Derfor er der behov for en ny tilgang til fjernvarme i forhold i almindelig praksis i dag.

For de enkelte komponenter i LT fjernvarmekonceptet er de nuværende konkurrerende teknologier, der alle leder til en højere CO<sub>2</sub>-emission:

- Twinrør serie 1 og 2 (mindre isoleringstykkelse) samt enkelt rørsystem. Merprisen ved twinrør serie 3 frem for serie 1 og 2 vurderes minimal i forhold til total anlægsøkonomi. I forhold til enkelt rørsystem vil twinrør serie 3 faktisk være billigere i selve rørpris, men dog (endnu) lidt dyrere mht. smedearbejde. Twinrør system og særligt i serie 3 vil bidrage til væsentligt til reduktion i ledningstab.
- Traditionelle fjernvarmeunits med varmtvandsbeholder eller gennemstrømningsveksler: LT-fjernvarmeunits er modificeret i forhold til traditionelle units, der kan være billigere, men er ofte med utilstrækkelig isolering og minimale styringsmuligheder.

I Danmark er der store naturgasområder, der støder op til områder med fjernvarme, som formodes med tiden at skulle konverteres. F.eks. forventer VEKS at kunne udvide deres varmeleverance med omkring 40 % i løbet af de næste par årtier. Dvs. at der er et stort marked for udbredelse af fjernvarme, men naturgas vil stadig i en årrække være en konkurrerende teknologi.

Øvrige individuelle opvarmningsformer, som er konkurrenter til fjernvarme, er varmepumpeløsninger, oliefyr, træpillefyr, elvarme, brændeovne m.v. Med individuelle løsninger i byområder mistes

muligheden for at udnytte varme fra affaldsforbrænding, kraftvarmeværker m.v., hvilket kan lede til større CO<sub>2</sub>-udledning.

## 2.5 Markedspotentiale

60 % af Danmarks boliger er tilsluttet fjernvarme, hvoraf mange har gamle installationer, der bør opdateres. I takt med, at man energirenoverer huse, falder det årlige energiforbrug samt effektbehov, hvilket giver mulighed for drift ved lavere temperaturer. For nybyggeri gælder det endvidere, at fordelene ved fjernvarme er blevet yderligere forstærket og anerkendt via det nye bygningsreglement BR10, som har introduceret en primærenergifaktor 0,8 på fjernvarme for lavenergibyggeri Energi-klasse 2015. Dette vil forbedre mulighederne for fjernvarme til nybyggeri, men de strammere energikrav vil også sætte nye og større krav til fjernvarmeselskabernes drift af fjernvarmesystemerne.

De lovende resultater fra tidligere projekter tyder på, at fremtidens fjernvarmesystem vil blive designet til lavere temperaturer, som følge af en større udbredelse af lavenergibygninger, således tabet i nettet kan reduceres, og det i højere grad bliver muligt at udnytte VE såsom varmepumpeløsninger, solenergi og geotermi i fjernvarmesystemet. Den store brændselsfleksibilitet, som ligger i fjernvarmesystemet, betyder også, at fjernvarmen er en oplagt komponent i fremtidens energisystem, som skal kunne håndtere langt mere vindenergi.

Danmarks fjernvarmeindustri havde en samlet omsætning i 2008 på godt 15 mia. kr. alene på det danske marked, hvilket beskæftigede i alt 6.500 medarbejdere. Branchen forventer, at den nuværende beskæftigelse vil stige til 10.000 i 2015. Potentialt på eksportmarkederne er også stort. Imellem 2003 og 2008 er eksporten fordoblet, således den danske branche eksporterer for ca. 4. mia. kr., hvilket beskæftiger ca. 2.500 personer (2008-tal). Eksporten forventes at stige yderligere, og potentialt vurderes at være 6 mia. kr. i 2015 (DBDH, 2009). Langt de fleste EU lande har ambitiøse mål og positiv udvikling for fjernvarmeudbygningen (5 % årlig vækst i bl.a. Tyskland, Norge, Island, Italien og Østrig), og da 30 % af energiforbruget i EU i dag går tabt i produktionen, er mulighederne enorme. Meget gunstige markeder findes også i Kina, Rusland og USA.



### 3 Demonstration i Sønderby

Der er gennemført fuldskalademonstration i bydelen Sønderby i Høje Taastrup vest for København. Demonstrationen indeholdt 75 parcelhuse fra 1997-98 med et gennemsnitligt varmeforbrug på 13 MWh pr. år. Det eksisterende ledningsnet i Sønderby var privatejet og meget ineffektivt - det årlige varmetab lå på ca. 41 %. Husene har gulvvarme i alle rum, hvilket gjorde dette eksisterende parcelhusområde særligt egnet til lavtemperaturfjernvarme.

Nedenstående ses et billede fra demonstrationsområdet.



**Figur 2: Demonstrationen i Sønderby inkluderer 75 parcelhuse fra slut 90'erne. Det nye lavtemperaturfjernvarmenet er tilsluttet en fælles varmecentral med blandeshunt og booster-pumpe.**

Formålet med fuldskalademonstrationen i Sønderby var at vise, at lavtemperaturfjernvarmekonceptet virker i praksis i eksisterende byggeri samt ikke mindst at minimere det høje varmetab, som det eksisterende ledningsnet havde.

I forbindelse med demonstrationen blev det eksisterende net nedlagt og et stykke eksisterende fjernvarmerør blev udtaget til test. Analyseresultatet viste som ventet, at det eksisterende rør havde en væsentlig højere varmeledningsevne (dvs. væsentligt mindre isoleringsevne) end nye fjernvarmerør i dag.

Høje Taastrup Fjernvarme etablerede et helt nyt ledningsnet med højeffektive twin-rørsledninger og en blandeshunt med booster-pumpe i den fælles varmecentral. Herudover blev der installeret nye fjernvarmeunits med gennemstrømningsveksler i alle 75 huse.

Der er foretaget detaljerede målinger af driften af det nye fjernvarmesystem i perioden 1. januar 2012 til 1. juli 2013. Fremløbstemperaturen til lavtemperaturnettet har i gennemsnit været 55° C. Returtemperaturen har i på årsbasis været omkring 40° C, hvilket har givet en samlet afkøling på ca. 15° C. Dette er noget mindre end forventet. Der er flere forklaringer på den højere returtemperatur, men hovedårsagen er umiddelbart et for stort bypass-flow i nogle brugerinstallationer forårsaget af forkert indstillede reguleringsventiler eller registrerede funktionsfejl. Det vurderes også, at mange forbrugere ikke har fået lukket for "sommerventilen" i deres fjernvarmeunit. Den mindre afkøling vurderes at have givet et større behov for pumpeenergi, men dette er stadig en lille energiandel sammenlignet med den samlede energibesparelse varmetab i nettet. Der er fortsat fokus på at sænke returtemperaturen i lavtemperaturnettet og disse tekniske detaljer ses absolut ikke som et problem i forhold til udbredelsen af lavtemperatur-konceptet. Problemet med at forbrugere ikke får lukket for sommerventilen kan i fremtidige projekter eventuelt løses med elektronisk regulering suppleret med en returtemperatur-begrænser på rumvarmedelen i fjernvarmeuniten.

Fuldskalademonstrationen har været innovativ på flere måder end bare implementeringen af lavtemperaturkonceptet. Blandeshunten i varmecentralen er tilsluttet Høje Taastrup Fjernvarmes hovednet, men er indrettet således, at den udnytter returvand i fra naboområdet ("kold" forsyning) til Sønderby i den udstrækning, at det er muligt. Temperaturen i den "kolde" forsyning har i gennemsnit været 48° C og har på årsbasis kunne dække ca. 80 % af den totale forsyning af lavtemperaturnettet. I sommerperioden har den "kolde" forsyning ligget højere i temperatur og har her kunnet dække næsten 100 % af forsyningen til lavtemperaturnettet. Når temperaturen ikke er tilstrækkelig høj for at kunne levere 52-55° C i fremløbet til lavtemperaturnettet, suppleres der med varmere fjernvarmevand ("varm" forsyning) fra Høje Taastrup Fjernvarmes hovednet.

Forsyningskonceptet med udnyttelse af returvand i hovednettet til lavtemperaturfjernvarme kræver, at der er et nærliggende område med et tilstrækkeligt flow i returledningen, og at der er en forholdsvis høj returtemperatur. Fordelen ved konceptet er, at forsyningskapaciteten i et eksisterende fjernvarmenet kan øges, uden at det kræver nogen videre investeringsomkostninger og udvidelser i ledningsnettet. Endvidere giver det en lavere returtemperatur i det samlede fjernvarmenet, hvilket reducerer varmetabet og kan give højere virkningsgrad i varmeproduktionsanlægget.

Energieffektivitetsmålet i demonstrationen er blevet opfyldt. Med lavtemperaturkonceptet og det ledningsnet samt de nye fjernvarmeunits er varmetabet i Sønderbys fjernvarmenet blevet reduceret fra ca. 41 % til 13-14 %. Varmetabsbesparelsen udgør i størrelsesordenen 555 MWh/år svarende til ca. 75 % og er en anelse bedre end designkriteriet på 15 %. Omregnet svarer ledningstabet til omkring 64 kWh/år pr. fjernvarmeledning (twinrør). Reduktionen i varmetab er et resultat af hhv. lavere temperatur i fjernvarmenettet og fjernvarmerør med en bedre isoleringsevne. Med en lavere returtemperatur svarende til designkriteriet kan varmetabet reduceres yderligere.

Fuldskalademonstrationen har vist, at der er et stort energibesparelspotentiale ved at etablere lavtemperaturfjernvarme, og at konceptet virker for eksisterende bygninger med gulvvarme som rumopvarmningssystem. Resultaterne viser, at det er muligt at forsyne med en fremløbstemperatur på ned til 50-53° C ved fjernvarmeforbrugerne, hvilket er tilstrækkeligt for at dække rumvarmebehovet, og til at der kan produceres varmt brugsvand på sikker vis.

Detaljeret beskrivelse og yderligere resultater for fuldskalademonstrationen i Sønderby er samlet i en selvstændig bilagsrapport med titlen "*Delrapport - Demonstration i Sønderby*".

## 4 Demonstration i Tilst

I nærværende EUDP-projekt "Fuldskalademonstration af lavtemperaturfjernvarme i eksisterende bebyggelser" har formålet været at undersøge, i hvilket omfang varmetabet fra ledningsnettet kan reduceres, hvis energirenovering af boliger og renovering af ledningsnet kombineres og fremløbstemperaturen sænkes i takt hermed. AffaldVarme Aarhus foreskriver i de tekniske bestemmelser for fjernvarmelevering, at varmeinstallationer dimensioneres efter 60/30° C ved -12 °C udetemperatur (direkte anlæg). Det har således været målet at prøve at komme så tæt på 60° C i fremløbstemperatur som muligt.

I denne delrapport er der taget udgangspunkt i en vej med 8 huse fra 1970'erne i Danmarks største parcelhuskvarter Skjoldhøjparken i Tilst ved Aarhus med ca. 1000 huse i alt. Der er gennemført en række renoveringstiltag med henblik på at reducere varmebehovet i både boliger og ledningsnet. For at kunne reducere fremløbstemperaturen, er der etableret en blande-shunt ved indgangen til vejen og enkelte renoveringstiltag i boligerne er gennemført med tilskud fra AffaldVarme Aarhus. Efter at have kørt med sænket fremløbstemperatur i en periode i det gamle ledningsnet, er der efterfølgende foretaget en totalrenovering af ledningsnettet i vejen med twinrør Serie 2 som gadeledning og twinrør Serie 3 til stikledninger. Det gamle ledningsnet bestod af enkeltrør fortrinsvis isoleret som serie 1.

Det har i projektperioden vist sig muligt at sænke fremløbstemperaturen fra et niveau på 71-78° C til et niveau på 61-66° C resulterende i en reduktion af varmetabet i det gamle ledningsnet på ca. 1 MWh pr. hus pr. år. Efter renovering af ledningsnettet er der yderligere sparet ca. 2,2 MWh pr. hus. Det er estimeret, at ca. 380 af husene i Skjoldhøjparken har et ældre ledningsnet svarende til det der er renoveret. Alene ved renovering af ledningsnettet for disse områder kan der således spares i omegnen af 840 MWh fjernvarme årligt.

Med et oprindeligt varmetab fra ledningsnettet på ca. 5,1 MWh pr. hus er den kombinerede reduktion af varmetabet i ledningsnettet (1 + 2,2 MWh) ca. 63 %. Relativt set er varmetabet gået fra at udgøre ca. 28 % af den tilførte fjernvarme til vejen til at udgøre ca. 12 %.

Det er undersøgt, i hvilket omfang radiatoranlæggene i husene er klar til temperatursæt 60/30° C (frem/retur). Et radiatoranlæg var allerede klar inden projektstart, og et andet er med tilskud blevet renoveret i projektperioden. Det har vist sig, at der er relativ stor forskel mellem det teoretisk beregnede dimensionerende varmebehov og det faktiske effektoptag i husene. Derfor kan det i praksis lade sig gøre at køre med lavere fremløbstemperatur, end teorien foreskriver. En del af husene har brændeovn og el-gulvvarme i badeværelse, som kan forklare noget af forskellen, men også interne varmebidrag og lavere rumtemperaturer i nogle rum kan have betydning. En simulering med en matematisk model (Bsim) for et af husene understreger denne mulighed som forklaring.

Der er kun foretaget egentlig renovering af klimaskærmen i et af husene i projektperioden trods mange motiverende tiltag fra AffaldVarme Aarhus. En væsentlig pointe i den forbindelse er, at hvis man skal gøre det muligt for radiatorerne at klare 60/30° C i dimensioneringssituationen ved alene at forbedre klimaskærmen, så skal der oftest flere forbedringer til, før det kan lykkes. Derfor kan det umiddelbart være billigere blot at skifte radiatorerne. En kombination af energirenovering af klimaskærmen samt forøget radiator effekt i de hårdest belastede rum kan være den mest effektive vej frem mod lavere fremløbstemperatur. Stue og andre opholdsrum med store vinduesarealer (og høj U-værdi) vil i forhold til andre rum være hårdere belastet på kolde vinterdage.

Hvis der gås til grænsen med fremløbstemperaturen, kan der være en risiko for at kunderne i større udstrækning anvender og/eller investerer i supplerende varmekilder som brændeovn eller elvarme/varmepumpe, hvis deres komfortniveau er truet.

Det er ikke i fjernvarmens interesse, så man kan overveje, om der skal sikres en lidt højere komforttemperatur i opholdsrummene f.eks. 22° C.

I 3 huse er vandvarmeren skiftet/forberedt til en fremløbstemperatur på 55° C i projektperioden.

Nedenstående ses et billede fra demonstrationsområdet.



**Figur 3: Demonstrationen i Tilst inkluderer 8 parcelhuse fra 70'erne. Fjernvarmetemperaturen til disse huse reguleres fra blandeshunt etableret i terræn (fremgår af billedet).**

Detaljeret beskrivelse og yderligere resultater for fuldskalademonstrationen i Tilst er samlet i en selvstændig bilagsrapport med titlen "*Delrapport - Demonstration i Tilst*".

## 5 Demonstration i Lystrup

Den første større lavenergibebyggelse med lavtemperaturfjernvarme, hvor fremløbstemperaturen er 50° C hos forbrugerne, er demonstreret i Boligforeningen Ringgårdens afd. 34 i Lystrup med støtte fra Energistyrelsens EUDP-program. Det nye koncept, som indebærer anvendelse af nyudviklede fjernvarmeunits i 40 boliger og et effektivt fjernvarmerørsystem i twin-rør Serie 2, er demonstreret og dokumenteret med succes over en 2 årig periode ved hjælp af et ambitiøst målesystem.

For at opnå den lave fremløbstemperatur, er der etableret en blandekreds til området. Blandekredsen har generelt sænket fremløbstemperaturen med ca. 14° C sammenlignet med den årgennemsnitlige fremløbstemperatur der, ellers ville have været leveret fra Lystrup Fjernvarme. Det har resulteret i et relativt varmetab for området, der i 2012 udgjorde 17,9 % eller ca. 1,2-1,3 MWh pr. bolig. Det er helt i overensstemmelse med forventningerne og skal sammenholdes med, at varmetabet ville have været ca. 4 gange større, hvis der havde været anvendt et traditionelt fjernvarmesystem med enkeltrør, isoleringsklasse Serie 1 og fremløbs-/returtemperaturer 80/40° C.

Der er i projektet demonstreret to forskellige fjernvarmeunits: 1. en fjernvarmebeholderunit, der har en 120 liter akkumuleringsbeholder på fjernvarmesiden. Fjernvarmebeholderen forsyner en brugsvandsveksler, når der er behov for varmt brugsvand; 2. en fjernvarmeunit med gennemstrømningsvandvarmere. For begge fjernvarmeunits er brugsvandsveksleren tilpasset den lave fremløbstemperatur, så der kan leveres varmt brugsvand på 45-47° C ved en fjernvarmefremløbs-temperatur på 50° C. I projektet er der opnået følgende resultater for de 2 typer fjernvarmeunits:

Fjernvarmebeholderunit (FVB):

- Returtemperatur (årgennemsnit) på knap 35° C for streng med 11 fjernvarmeunits, hvilket var over det forventede
- Største effekttæk: ca. 4 kW

Fjernvarmeunit med gennemstrømningsvandvarmer:

- Returtemperatur (årgennemsnit) på 30° C for streng med 11 fjernvarmeunits
- Største effekttæk ca. 25 kW

Forskellige tiltag er forsøgt og undersøgt med henblik på at reducere returtemperaturen yderligere. Et af tiltagene er et koncept for sommer-bypass gennem gulvvarmeanlægget, som kan reducere returtemperaturen for anlæg med gennemstrømningsvandvarmer med knap 4° C i sommerperioden. I projektet har der også været fokus på varmetab fra installationer og radiatoranlæggenes kapacitet, herunder vigtigheden af at dimensionere lavtemperatur-panelradiatorer efter logaritmisk middeltemperatur, som i øvrigt foreskrevet i DS 469.

Boligforeningen Ringgårdens afd. 34 i Lystrup er noget af det første større sammenhængende fjernvarmeforsynede byggeri, der er udført med reference til Bygningsreglementets nu tidligere Lavenergiklasse 1. Bebyggelsen er interessant, fordi der har været stor nysgerrighed efter, hvor stort det faktiske fjernvarmeforbrug er i lavenergiboliger. Byggeriet er endvidere interessant, fordi det kun indeholder 2 forskellige boligstørrelser C1 på 86 m<sup>2</sup> og C2 på 109 m<sup>2</sup> (boligareal jf. BBR-registret); med hhv. 21 og 19 af slagsen er der også mulighed for at se på, hvilken variation i forbruget der er fra bolig til bolig. For 2011 og 2012 har det gennemsnitlige fjernvarmeforbrug inkl. forbrug til rumopvarmning og varmt brugsvand samt tab fra brugerinstallationerne været hhv. 57,5 ± 12,7 kWh/m<sup>2</sup> og 60,6 ± 12,7 kWh/m<sup>2</sup>. I 22 boliger har der desuden været målt nettoforbrug til varmt brugsvand, der for 2011 og 2012 har været hhv. 9,8 ± 5,1 kWh/m<sup>2</sup> og 8,5 ± 4,4 kWh/m<sup>2</sup>.

I projektet er der desuden udviklet et brugerinterface til data, så varmemesteren har kunnet følge op på højt forbrug og returtemperatur ved at kontakte de relevante forbrugere.

Nedenstående ses et billede fra demonstrationsområdet.



**Figur 4: Demonstrationen i Lystrup inkluderer 40 lavenergihuse fra 2010. Det nye lavtemperaturfjernvarmenet er tilsluttet en fælles varmecentral med blandeshunt og booster-pumpe.**

Detaljeret beskrivelse og yderligere resultater for fuldskalademonstrationen i Lystrup er samlet i en selvstændig bilagsrapport med titlen "*Delrapport - Demonstration i Lystrup*".

## 6 Resultatoversigt for de tre demonstrationsområder

I dette afsnit er der samlet en række tabeller med nøgledata for de tre demonstrationsområder. Herved er det muligt at få et overblik over forskellene imellem de tre områder med deres forskellige bygninger og ledningsnet. For nærmere detaljer vedrørende tabelværdierne henvises til de enkelte bilagsrapporter.

**Tabel 1: Karakteristika for de tre demonstrationsområder og fjernvarmesystemer**

Demonstrationsområde	Sønderby	Lystrup	Tilst
<b>Bygninger</b>			
Antal	75	40	8 (1000)
Type	Fritliggende parcelhuse	Rækkehus	Fritliggende parcelhuse
Byggeår	1997-98	2009-2010	1973
Opvarmet areal [m <sup>2</sup> ]	110-212	87-110	108-178
Opvarmningssystem	Gulvvarme	Radiatorer	Radiatorer
- Designtemperature [°C]	-	55/25/20	Individuelt
<b>Hovedledninger</b>			
Dimensioner [mm-mm/mm]	20-20/125 to 76-76/250	20-20/110 to 60-60/225	33-33/160 to 48-48/180
Isoleringsklasse	Serie 2	Serie 2	Serie 2
Tracélængde [m]	1433	-	110
<b>Stikledninger</b>			
Dimensioner [mm-mm/mm]	20-20/125	14-14/110 to 26-26/125	20-20/125
Isoleringsklasse	Serie 3	Serie 2	Serie 3
Tracélængde [m]	1310	-	120
<b>Samlet ledningsnet</b>			
Total tracélængde [m]	2740	723	230 (40000)
<b>Blandeshunt design</b>			
Type	3-rørssystem (returvand)	Traditionel	Traditionel

**Tabel 2: Måledata for de tre demonstrationsområder**

Demonstrationsområde	Sønderby	Lystrup	Tilst
Måleperiode	2012	2011	2013*
Varme leveret til lavtemperaturnettet [MWh]	1227,7	273,9	117,0
Samlet varmekonsum i boliger [MWh]	1051,8	219,4	106,6
Gennemsnitligt varmekonsum pr. bolig [MWh]	14,0	5,3	13,3
Varmetab i ledningsnet [MWh]	175,9	54,5	10,4
Varmetab i ledningsnet [%]	14	18-20	12
Fremtemperatur, fjernvarme [°C]	77,7	67,4	70-80
Fremtemperatur, lavtemperaturfjernvarme [°C]	55,0	52,7	61-66
Returtemperatur, lavtemperaturfjernvarme [°C]	40,3	34,1	30-40
Elforbrug, booster-pumpe [kWh]	22.169	2.556	-

\* (reference år)

**Tabel 3: Referenceværdier og energibesparelser for de tre demonstrationsområder**

<b>Demonstrationsområde</b>	<b>Sønderby</b>	<b>Lystrup</b>	<b>Tilst</b>
Referenceværdier	Målt	Beregnet	Målt
Frem- / returtemperatur, reference [°C]	Ca. 70/45	80/40	80/40
Varmetab i ledningsnet, reference [%]	41	46 *	28
Varmebesparelser, reduceret nettab [MWh/år]	Ca. 555	Ca. 150 *	Ca. 26,4
Varmebesparelser, reduceret nettab [%]	75	75 *	63

\* Teoretisk beregnet

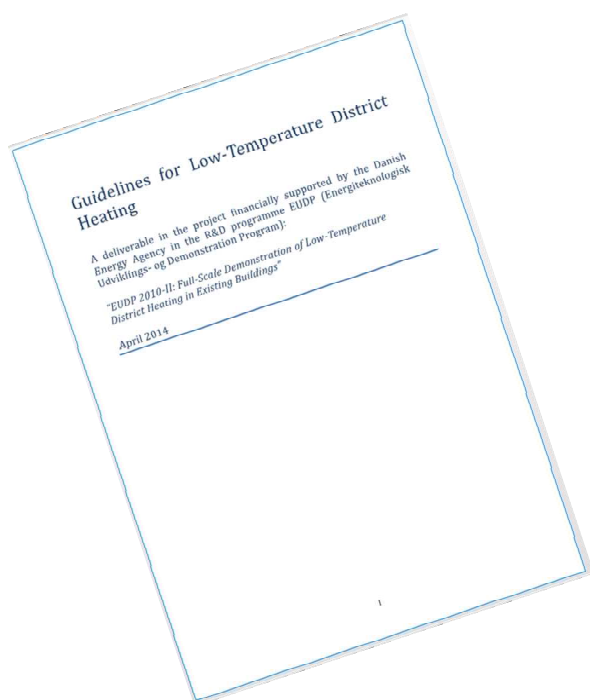


## 7 Guideline for lavtemperaturfjernvarme

Der er i projektet udviklet guidelinen "Guidelines for Low-Temperature District Heating". Denne beskriver designkonceptet for lavtemperaturfjernvarme og de komponenter, der er nødvendige for at implementere teknologien. Der beskrives også anvendelsesmuligheder og fordelene ved konceptet bl.a. i form af et selvstændigt afsnit om planlægning af lavtemperaturfjernvarme til forskellige typer forsyningsområder og bebyggelser. Herudover opsummeres resultater og driftserfaringer fra forskellige cases – EUDP-projektets demonstrationsområder.

Guidelinens indhold er præsenteret på DHC+ konference, Bruxelles, 5. - 6. november 2013 samt på IEA DHC Annex TS1 konference, Finland, 3. - 4. september 2013, hvor projektgruppen modtog feedback fra forskellige udenlandske / europæiske aktører i fjernvarmebranchen. Herudover har en række andre udenlandske / europæiske aktører leveret feedback på guidelinens indhold. Dette er gjort for at få input fra andre lande med henblik på at gøre lavtemperaturfjernvarmekonceptet anvendeligt og relevant uden for Danmarks grænser. Det er ønsket, at guidelinen med de unikke erfaringer fra fuldskalademonstration kan vække international opsigt og skabe grundlag for at salg af fjernvarmekonceptet og rådgiverydelser. Samtidig vil lavtemperaturkonceptet kunne skabe energibesparelser og være en vigtig brik i fremtidens energisystem, hvor vedvarende energikilder og spildvarme spiller en hovedrolle. I løbet af EUDP-projektet har der løbende været international interesse for lavtemperaturfjernvarmekonceptet, særligt for at høre om erfaringerne fra fuldskala-demonstrationen. Det vurderes derfor, at guidelinen vil være af stor interesse for både danske og udenlandske ingeniører, planlæggere og driftsfolk / operatører af fjernvarmenet, som er den primære målgruppe for guidelinen.

Nedenstående figur illustrerer forsiden på guidelinen.



Figur 5: Et af EUDP-projekts output er en guideline for lavtemperaturfjernvarme.

Guidelinen er vedlagt som bilag og kan downloades på følgende hjemmeside:

<http://www.fjvu.dk/lavtemperaturfjernvarme>

## 8 Kommercielle resultater

Det brede samarbejde i projektet med mange forskellige aktører har været projektets store styrke. I projektet har medvirket væsentlige aktører fra fjernvarmebranchen; forsyningsselskaber, komponentleverandører, rådgivere og forskningsinstitutioner samt en stor boligforening. Herunder er samlet eksempler på kommercielle resultater for de forskellige projektdeltagere.

LOGSTOR: "Stor interesse fra kunder internationalt for lavtemperaturkonceptet. Vi benytter det i vores markedsføring for at vise, vi skiller os ud."

Danfoss / Danfoss Redan: "Vi har nu fået udviklet og testet en fjernvarmeunit med en gennemstrømningsveksler, der egner sig til lavtemperaturfjernvarme. Danfoss Redan har som de første fået godkendt en lavtemperaturfjernvarmeunit hos AffaldVarme Aarhus."

COWI: "Vi har brugt erfaringerne bl.a. fra dette projekt til at skabe nye projekter f.eks. i Norge. Erfaringerne har været vigtige for os i forhold til bedre at kunne rådgive vores kunder. Der er i stigende grad efterspørgsel også internationalt på energieffektive fjernvarmeløsninger."

AffaldVarme Aarhus: "Vi har dannet os nogle vigtige erfaringer vedr. sænkning af fjernvarmetemperaturen i områder med eksisterende byggeri. Vi har meget eksisterende byggeri herunder mange parcelhuse f.eks. fra 70'erne i vores forsyningsområde. Projektet har givet os mere viden om, hvilke udfordringer der er, og hvad der er muligt for at få sænket temperaturen i forsyningsnettet."

Høje Taastrup Fjernvarme: "Demonstrationen har ikke været uden tekniske og praktiske udfordringer – det har krævet meget koordinering at have et udviklingsprojekt med 75 huse, men vi har samlet nogle meget vigtige erfaringer, som vi kan bruge fremadrettet. Projekter som dette er nødvendige for at skabe udvikling og fremtidssikre fjernvarmesystemet."

Boligforeningen Ringgården: "For os har det været interessant at have fjernvarme til at indgå i konceptet for vores byggeri med fokus på bæredygtighed og energi. Målingerne har givet god viden om varmesystemet og brugeradfærden."

Kamstrup: "Projekter som dette beviser, at vores komponenter er af stor vigtighed for at give godt overblik af driften i fjernvarmesystemer. Lavtemperaturfjernvarme opererer med små marginaler, så stabil og detaljeret måling med høj datadensitet er afgørende. Det har bevist, at vores komponenter egner sig. Vi ser et stort potentiale for smart energy metering i fjernvarmesystemer world wide."

Ribe Jernindustri: "Projektet har givet os indgående viden omkring lavtemperaturfjernvarme, hvilket vi kan bruge til bedre at kunne målrette vores produkter dette marked."

DTU-Byg: "Det er vigtigt for os at være med i sådanne projekter, da det generer praktiske erfaringer og indgående viden, der kan benyttes i undervisningen og i speciale- og ph.d.-projekter. Projektet har reelt været med til at understøtte flere ph.d.-projekter om lavtemperaturfjernvarme."

Dansk Fjernvarme / Grøn Energi: "Projektet har givet os vigtig viden, vi kan formidle til fjernvarmebranchen. Vi har stor interesse i at følge og være med i sådanne projekter for at dokumentere innovative løsninger og udbrede kendskabet til disse, herunder at bidrage til at øge den danske eksport af fjernvarmeteknologier".

Teknologisk Institut: "Med dette projekt har vi fået vigtige erfaringer inden for ny fjernvarmeteknologi og eksisterende byggeri, som vi kan udbrede til fjernvarmebranchen bl.a. igennem træningsaktiviteter, seminarer/konferencer og projekter vedr. varmeinstallationer og energirigtigt byggeri".

## 9 Formidling

I forbindelse med EUDP-projektet har projektpartnerne haft en række formidlingsaktiviteter.

### 9.1 Guideline

En væsentlig formidlingsaktivitet for projektet har været guidelinen for lavtemperaturfjernvarme, der er nævnt tidligere, og som er gjort offentlig tilgængelig på internettet (<http://www.fjvu.dk/lavtemperaturfjernvarme>).

Som det fremgår nedenstående, er der udarbejdet en artikel, der beskriver og informerer om denne guideline.

### 9.2 Artikler / konference-papers

Nedenstående er listet de vigtigste artikler og konference-papers, der har været udgivet om projektet og i relation hertil i perioden for EUDP-projektet.

- 1) New Guideline for Low Temperature District Heating, EuroHeat & Power, II/2014 (marts / april 2014) Christian Holm Christiansen (Teknologisk Institut), Peter Kaarup Olsen (COWI A/S), Oddgeir Gudmundsson (Danfoss A/S, District Energy) og Morten Hofmeister (Dansk Fjernvarme / Grøn Energi). Artiklen kan downloades her: <http://www.fjvu.dk/lavtemperaturfjernvarme>
- 2) "Results and experiences from a 2-year study with measurements on a new low-temperature district heating system for low-energy buildings"
  - Christian Holm Christiansen (Teknologisk Institut), Alessandro Dalla Rosa og Marek Brand (DTU-Byg), Peter Kaarup Olsen (COWI A/S), Jan Eric Thorsen (Danfoss A/S, District Energy)
  - Konference-paper til DHC13 konferencen den 3. - 4. september 2012 i København. DHC13 står for "the 13th International Symposium on District Heating and Cooling".
- 3) ISI paper: "Energy-efficient and cost-effective in-house substations bypass for improving the thermal and DHW comfort in bathrooms in low-energy buildings supplied by low-temperature district heating". Marek Brand, Alessandro Dalla Rosa and Svend Svendsen; Byg-DTU, Danmarks Tekniske Universitet, in Energy 2014, vol. 67, p. 256-267.
- 4) ISI paper: "Renewable-based low-temperature district heating for existing buildings in various stages of refurbishment". Marek Brand and Svend Svendsen; Byg-DTU, Danmarks Tekniske Universitet, in Energy 2013, vol. 62, p.311-319.
- 5) "Coming soon: Low Energy District Heating", artikel skrevet af Kamstrup i Euroheat & Power magasin Vol. 9 1/2012.
- 6) "Alle fortjener fjernvarme....", "Reducerede varmetabet fra 40 % til 15 %". LOGSTOR magasin, 2011.

- 7) "New district heating concept: Use the return water for supply in new areas / networks", HOT | COOL Magasinet, DBDH, No. 4; S.K. Christensen, P. K. Olsen, COWI A/S, november 2011.
- 8) COWI nyhedsbrev – Energi. "Lavtemperaturfjernvarme – nu også i eksisterende byggeri", oktober 2011.

### **9.3 Præsentationer på konferencer**

Nedenstående er listet de præsentationer, der har været givet i relation til EUDP-projektet.

- 1) DHC13 "The 13th International Symposium on District Heating and Cooling", 3 - 4. september 2012, København:
  - Præsentation af paperet "Results and experiences from a 2-year study with measurements on a new low-temperature district heating system for low-energy buildings".
  - Præsenteret af Christian Holm Christiansen, Teknologisk Institut.
- 2) DHC+ Conference, Bruxelles, 4. - 6. november 2013:
  - Præsentation af udkast til den internationale guideline.
  - Præsenteret af Christian Holm Christiansen, Teknologisk Institut.
- 3) IEA DHC Annex TS1: Low Temperature District Heating for Future Energy Systems; September 3rd – 4th 2013, VTT, Technical Research Centre of Finland:
  - Præsentation af udkast til den internationale guideline samt nogle projektræsultater.
  - Præsenteret af Oddgeir Gudmundsson, Danfoss A/S.

## 10 Konklusion

EUDP-projektets har genereret unikke erfaringer med demonstration af lavtemperaturfjernvarme. At der haves erfaringer fra reel fuldskalademonstration i et stort antal boliger er i sig selv overbevisende, og projektet illustrerer, at konceptet virker efter hensigten. Der er stort potentiale for energibesparelse i form af reduceret varmetab i ledningsnettet uden, at der går på kompromis med komforten for fjernvarmebrugere.

Projektet viser at 50° C i fremløbstemperatur hos forbrugerne kan være tilstrækkeligt for at levere den nødvendige varme til brugsvandsopvarmning og rumvarme. Det er vist, at konceptet virker både til nybyggeri (lavenergi) og eksisterende byggeri.

Lavtemperaturkonceptet er demonstreret i Sønderby, Høje Taastrup i 75 eksisterende parcelhuse med gulvvarme. Her blev der installeret nye fjernvarmeunits og nyt ledningsnet samt en ny central blandeshunt. Blandeshunten er indrettet innovativt, så den udnytter returvand fra naboområdet som forsyning af lavtemperaturnettet, i det omfang det temperaturmæssigt er muligt. Samlet set er varmetabet i ledningsnettet reduceret med ca. 75 %.

Det andet demonstrationsområde med eksisterende byggeri var i Tilst ved Aarhus, hvor en gade med 8 huse med radiatorer indgik i forsøg med at sænke fremløbstemperaturen i fjernvarmenettet mest muligt, først med det eksisterende ledningsnet og efterfølgende med nyt energieffektivt ledningsnet. Enkelte fjernvarmeunits og varmeinstallationer er skiftet, og energireovering i mindre omfang er udført. Samlet set er varmetabet i ledningsnettet reduceret med ca. 63 %.

Herudover er der efterfølgende udført målinger, analyse og optimering for et lavtemperaturfjernvarmesystem til 40 lavenergiboliger. I forhold til hvis der havde været benyttet traditionelt fjernvarmedesign med højere temperaturer, enkeltrørssystem etc., er varmetabet i ledningsnettet reduceret med ca. 75 %. Der er tale om et lavt varmetab set i forhold til, at det er et ledningsnet til lavenergi-byggeri. Varmedensiteten er i øvrigt af endnu større betydning, når der er tale om lavenergi-byggeri, men overordnet set er lavtemperaturfjernvarme en hensigtsmæssig og rentabel løsning.

De tre demonstrationsområder er blandt verdens første lavtemperaturfjernvarmesystemer og kan derfor komme til at danne grundlag for, hvordan man designer fjernvarmesystemer i dag og fremover. Med andre ord: "EUDP-projektet viser vejen for fremtidens fjernvarmesystemer"!

Fjernvarmesystemer med lave temperaturer, som demonstreret i dette projekt, har en høj energieffektivitet og ses som en vigtig brik i energisystemer for "Smart Cities", hvor mange forskellige varmeressourcer såsom overskudsvarme (industri m.v.) og vedvarende energi (geotermi, varmepumper, solvarme, biomasse (røggaskondensering) og kraftvarme skal bringes i spil.

Projektet har udmundet i en guideline på engelsk, der beskriver designkonceptet og de tekniske krav samt hvordan implementering af lavtemperaturfjernvarme kan foregå. Herudover har projektet genereret en række artikler og konference-papers.