

# Delrapport - Demonstration i Sønderby

## Energistyrelsen – EUDP 2010-II

*Journalnr. 64010-0479*

### Fuldskalademonstration af lavtemperatur- fjernvarme i eksisterende bebyggelser

*Juni 2014*

---

# Indholdsfortegnelse

Side

<b>Indholdsfortegnelse</b> .....	<b>2</b>
<b>Forord</b> .....	<b>3</b>
<b>Sammenfatning</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Indledning</b> .....	<b>6</b>
1.1 Formål .....	6
1.2 Projektbeskrivelse .....	6
<b>2 Bebyggelsen og fjernvarmesystemet</b> .....	<b>7</b>
2.1 Beskrivelse af bebyggelsen.....	7
2.2 Planlægning.....	7
2.3 Brugerinstallation.....	9
2.4 Fjernvarmesystemet.....	10
2.4.1 Systemkoncept.....	10
2.4.2 Forudsætninger til ledningsdimensionering .....	13
2.4.3 Dimensionering.....	15
2.4.4 Ledningskatalog og -længder.....	17
2.4.5 Termostatiske bypass (omløb).....	18
2.4.6 Booster-pumpe.....	18
2.5 Måleudstyr og dataopsamling .....	19
<b>3 Etablering af det nye fjernvarmesystem</b> .....	<b>21</b>
3.1 Ledningsnettet.....	21
3.2 Varmecentral med 3-vejs shunt og booster-pumpe .....	24
3.3 Investeringsomkostninger .....	27
<b>4 Måleresultater, driftserfaringer og analyse</b> .....	<b>28</b>
4.1 Måling af varmeledningsevne for et eksisterende fjernvarmerør.....	35
<b>5 Konklusioner</b> .....	<b>37</b>
<b>Appendiks 1 – Måleresultater fra lavtemperatur drift</b> .....	<b>38</b>
<b>Appendiks 2 – Prøvningsrapport for et ældre fjernvarmerør</b> .....	<b>42</b>

## Forord

Denne delrapport omhandler demonstrationen af lavtemperaturfjernvarme i Sønderby og indgår som en del af den samlede rapportering i projektet "Fuldskalademonstration af lavtemperaturfjernvarme i eksisterende bebyggelser", der er støttet af Energistyrelsen gennem energiforskningsprogrammet EUDP 2010-II.

Delrapporten og behandling af måledata er udført af COWI A/S med input og sparring fra Høje Taastrup Fjernvarme a.m.b.a., Danfoss A/S og Teknologisk Institut.

Teknologisk Institut og Kamstrup A/S har assisteret med indsamling og håndtering af måledata.

Høje Taastrup Fjernvarme a.m.b.a. har optrådt som bygherre og har ydet en rigtig stor indsats i forbindelse med selve implementeringen af det nye fjernvarmesystem og idriftsættelse heraf samt med opfølgning og justering i forhold til driften af systemet. I selve design- og byggefasen deltog endvidere særligt COWI A/S men også Danfoss A/S, Logstor A/S og Kamstrup A/S.

Beboerne i Sønderby skal have en særlig tak for deres medvirken i demonstrationen. 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.

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

## Sammenfatning

Der er gennemført fuldskala demonstration 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.

Formålet med fuldskalademonstrationen i Sønderby var, at vise at lavtemperaturfjernvarme konceptet 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 defekte eller forkert indstillede reguleringsventiler. 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 i nettet. Der er forsat 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 forbrugerne ikke får lukket for sommerventilen kan i fremtidige projekter eventuelt løses med elektronisk regulering suppleret med en returtemperatur-begrænser på rumvarmedelen i fjernvarmeunitten.

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 lavtemperatur-fjernvarme 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, det nye ledningsnet og 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 så fjernvarmerør med en bedre isoleringsevne. Med en lavere returtemperatur svarende designkriteriet kan varmetabet reduceres yderligere.

Fuldskalademonstrationen har vist, at der er et stort energibesparelsespotentialer 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 fjernvarmebrugere, hvilket er tilstrækkeligt for at dække rumvarmebehovet og til at der kan produceres varmt brugsvand på sikker vis.

# 1 Indledning

## 1.1 Formål

Formålet med fuldskala-demonstrationen i Sønderby var, at vise lavtemperaturfjernvarme konceptet virker i praksis i eksisterende byggeri. Det overordnede formål var, at reducere varmetabet i ledningsnettet i Sønderby, hvor der var et eksisterende ledningsnet med en ringe effektivitet, dvs. et meget højt varmetab.

Demonstrationsområdet er en bebyggelse bestående af 75 parcelhuse. Formålet her var:

- at installere et nyt fjernvarmenet og nye fjernvarmeunits (brugerinstallationer) samt en ny fælles shunt med booster-pumpe og dernæst,
- at måle / teste effektiviteten og funktionaliteten af disse komponenter samt helt overordnet at samle erfaringer hermed i eksisterende byggeri med henblik på at finpudse konceptet og ikke mindst teknologien.

## 1.2 Projektbeskrivelse

Projektet har været inddelt i en række forskellige aktiviteter, der er beskrevet i det følgende.

### 1. Koordination med bygherre og udførende

Koordination, planlægning og implementering af konceptet i bebyggelsen i Sønderby inkl. løbende opfølging og møder med bygherre og udførende.

### 2. Konceptuelt layout og beskrivelse af bebyggelsen, varmeanlæg, brugerinstallationer og fjernvarmesystem inkl. central shunt med booster-pumpe

Udlægning og beskrivelse af fjernvarmesystem, varmeanlæg og brugerinstallationer efter det udviklede koncept i bebyggelsen i Sønderby. Valg af rørsystem og fjernvarmeunit-type. Valg booster-pumpe og design af central shunt.

### 3. Opsætning af måleudstyr og dataopsamling

Valg af målepunkter og måleudstyr, installation af måleudstyr og etablering af et operationelt dataopsamlingsystem. Løbende kontrol af måledata for fejl og udfald i data.

### 4. Demonstration af drift med lavtemperaturfjernvarme

Opstart af lavtemperatursystemet og løbende evaluering af driften. Fejlfinding i det samlede system – primært brugerinstallationerne (fjernvarmeunits) og den central shunt. Rette fejl og justere drift/styring. Dialog med varmemeforbrugere.

### 5. Analyse af måleresultater for demonstration

På baggrund af de store mængder måledata er lavtemperatursystemets drift analyseret. Analysearbejdet har bl.a. kortlagt driftstemperaturer, flow og trykforhold samt målt varmetab i ledningsnettet.

### 6. Målinger på et eksisterende fjernvarmerør

Et stykke af de gamle/eksisterende fjernvarmerør i Sønderby blev udtaget til analyse på Teknologisk Institut. Der er foretaget måling af varmetabskoefficient og fugtindhold.

Som det fremgår, er fokus på layout af fjernvarmesystemet og efterfølgende drift og analyse heraf, så EUDP-projektet har ikke omhandlet det anlægstekniske i forbindelse med selve installationen af de forskellige komponenter ud over, hvad der er beskrevet ovenfor. Dette er behandlet i særskilt

projekt drevet af bygherren, hvor det meste har dog været velkendt installationsteknik for fjernvarme.

## 2 Bebyggelsen og fjernvarmesystemet

### 2.1 Beskrivelse af bebyggelsen

Der er udført demonstration af lavtemperaturfjernvarme i en eksisterende bebyggelse med enfamiliehuse. Bebyggelsen hedder Sønderby og ligger i bydelen Torstorp i det sydlige Høje Taastrup. Demonstrationsområdet omfatter 75 fritliggende 1-plans parcelhuse i mursten, der alle er opført i 1997-98. Husenes boligareal varierer imellem 110-212 m<sup>2</sup>. Tilsammen har hele bebyggelsen et opvarmet areal på 11.230 m<sup>2</sup>. Typisk bor der 2-5 personer i hvert hus. Alle huse har gulvvarme i alle rum, hvilket gør dette eksisterende parcelhusområde særligt egnet til lavtemperatur fjernvarme.



Figur 1: Eksempel på parcelhus i Grundejerlauget Sønderby.

### 2.2 Planlægning

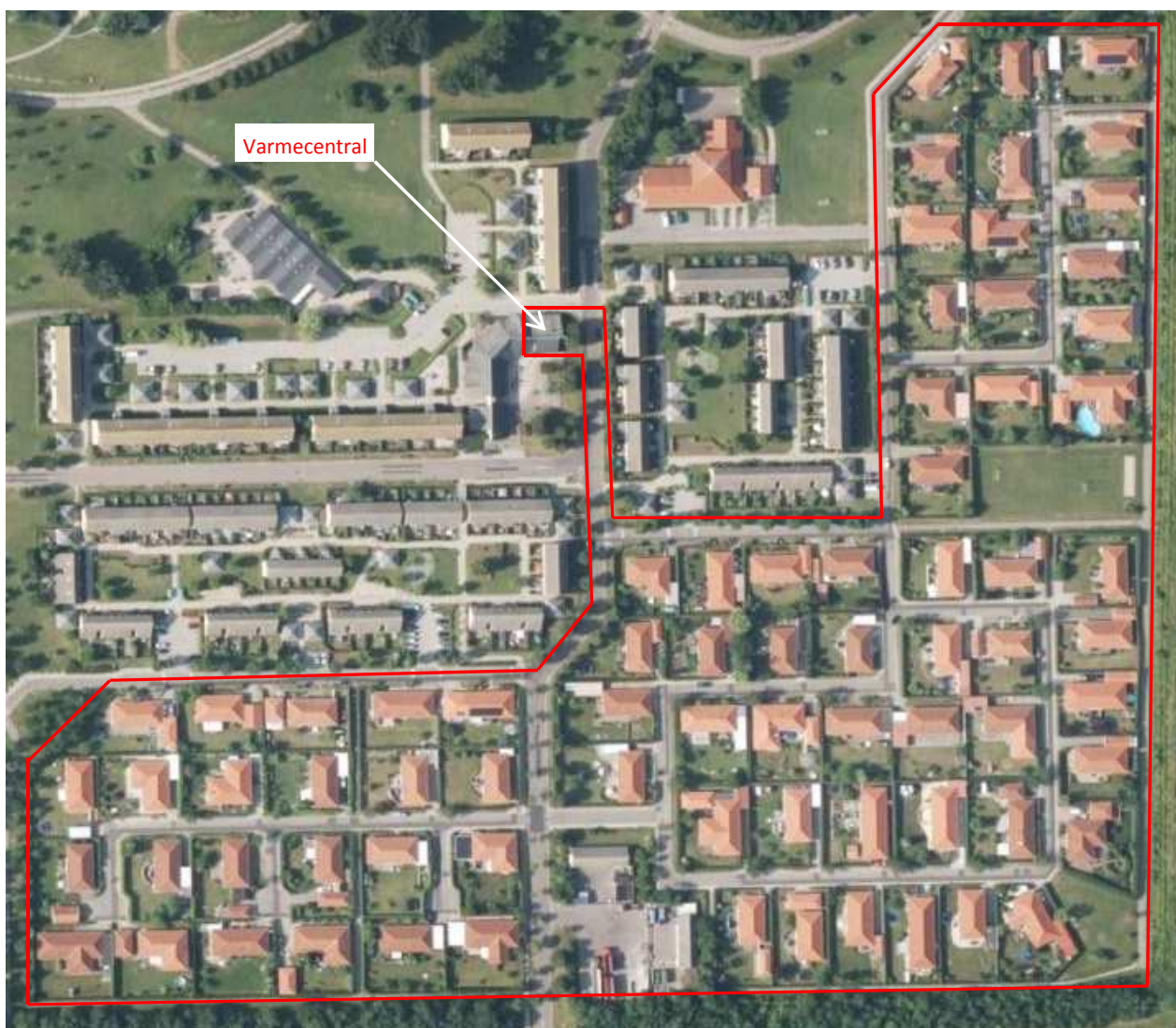
Demonstrationsområdet i Sønderby blev fundet i samarbejde med Høje Taastrup Fjernvarme.

Inden demonstrationen var alle husene direkte tilsluttet til et privat fjernvarmenet, der blev forsynet af Høje Taastrup Fjernvarme via en central varmeveksler. Selv om det eksisterende fjernvarmenet kun var ca. 15 år gammel, var distributionsledningerne - enkeltrørssystem med medierør i plast - i dårlig stand, hvilket gav anledning til stort varmetab. Det årlige nettab tegnede sig for 38-44 % (gennemsnit  $\approx$  41 %) af varmen leveret fra den centrale varmeveksler. Det årlige varmeforbrug i bebyggelsen ligger i intervallet 5-23 MWh/år pr. hus (eksklusiv tabet i ledningsnettet). Det gennemsnitlige forbrug er på ca. 13 MWh (baseret på forbrug i fyringssæsonerne 2004/2005 – 2009/2010). Med et samlet grundareal på ca. 78.000 m<sup>2</sup> for området svarer det til en varmedensitet på 12,5 kWh/m<sup>2</sup>.

Nogle af husene (15 stk.) har brændeovne, som ofte var i brug, da det gamle fjernvarmesystem var i drift, fordi nogle forbrugere fandt fjernvarmeprisen høj, som følge af det store varmetab. Husene havde oprindeligt en brugerinstallation med varmtvandsbeholder (110 L eller 150 L). Nogle forbrugere fandt denne utilstrækkelig ifm. brug af badekar. Derudover var der også problemer med tilkalkning i brugerinstallationen på grund af den høje kalkindhold i drikkevandet. Samlet set stod mange af disse brugerinstallationer (fjernvarmeunits) med varmtvandsbeholder over for snarlig udskiftning.

Af disse grunde blev det besluttet at forny fjernvarmesystemet og det nyligt udviklede konceptet for lavtemperaturfjernvarme blev udpeget som den oplagte løsning. EUDP-projektgruppen fik til opgave at redesigne systemet herunder ledningsnet, brugerinstallationer og central shunt, således at der kunne opnås et markant lavere varmetab i ledningsnettet. Det blev besluttet, at Høje Taastrup Fjernvarme skulle være ejer af det nye ledningsnet i Sønderby og at hvert hus skulle være en direkte oprettes som varmekonsumer. Det betød samtidig, at Grundejerlauget Sønderby trådte ud af Sønderby Varmelaug, der foruden Grundejerlauget (med de 75 huse) bestod af Taastrup Almennyttige boligselskab (195 boliger og 1 fælleshus) og 2 daginstitutioner.

Høje Taastrup Fjernvarme har stået for kontakten og aftalerne med beboerne. I planlægningsfasen blev der afholdt møde med beboerne / Grundejerlauget. Her deltog også COWI og Danfoss fra EUDP-projektgruppen. Der var stor interesse for projektet specielt pga. den utilfredshed der var med det ineffektive eksisterende fjernvarmesystem.



**Figur 2:** Luftfoto af bebyggelsen Sønderby, hvor der er lavet fuldskala-demonstration af lavtemperatur fjernvarme.



## 2.3 Brugerinstallation

Der er i alle 75 huse installeret en lavtemperaturtilpasset brugerinstallation. Typen er (Danfoss Redan Akva Lux II VX med veksler XB06H+1 -40) baseret på det kendte gennemstrømningsvandvarmer princip (GVV). I forhold til traditionelle GVV-fjernvarmeunits er det brugsvandsdelen, der er tilpasset lavtemperatur. Brugsvandsveksleren er specielt udviklet til den lave temperaturdifferens og det høje flow på primærsiden, der fås ved lavtemperaturdrift med en fremløbstemperatur på ned til 50° C. Veksleren har 40 plader og er loddet.

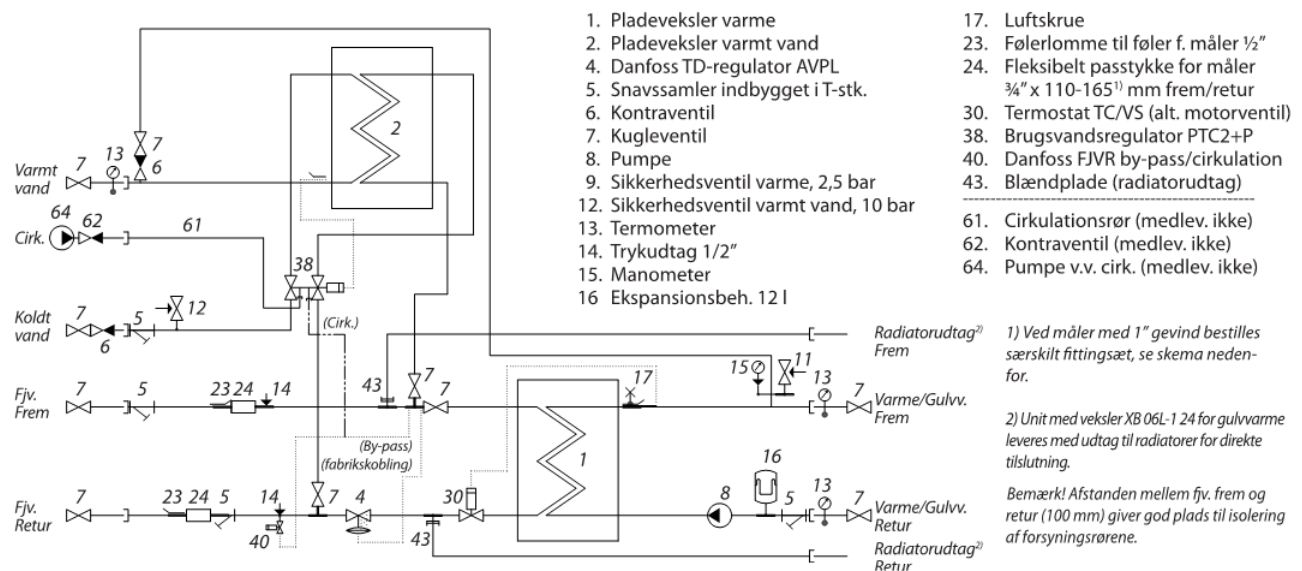
På rumvarmesiden er der tale om indirekte anlæg dvs. at der også er en veksler. Den tidligere installation i husene var med direkte anlæg, men samtidig var der en varmeveksler i varmecentralen til adskillelse fra Høje Taastrup Fjernvarmes hovednet.

Brugerinstallationen – den nye fjernvarmeunit – er i alle husene installeret, hvor den gamle fjernvarmeunit var placeret. Typisk er unitten monteret i et skab i bryggerset.

Rumvarmedelen er tilsluttet husene gulvvarmesystem, der er opbygget med manifolds placeret under fjernvarmeunitten.

Flest mulige rør i brugerinstallation er isoleret ligesom veksler samt unittens kabinet er med isolering. Dette er en vigtig feature særligt i lavtemperatur brugerinstallationer.

Principdiagram for den nye fjernvarmeunit fremgår af Figur 3 mens Figur 4 viser den nye unit som en del af den samlede brugerinstallation.



Figur 3: Principdiagram for gennemstrømningsveksler fjernvarmeunit (Danfoss Redan Akva Lux II VX).

Specielt at fremhæve er veksleren, som har en længere termisk længde end normalt anvendt i GVV units. Det dimensionerende temperatursæt ved 32,3 kW er 52/18,6° C – 10/45° C, hvilket svarer til et primært flow på ca. 830 l/h. Brugsvandsregulatorventilen er en kombineret temperatur og trykstyret ventil, af "normalt lukket" typen. Dvs. veksleren holdes kold når der ikke tappes brugsvand, hvilket minimerer tomgangstabet og derved det samlede varmetab fra unitten. De primære fremløbsrør i GVV unitten er isoleret. UA værdien for GVV unitten er ca. 1 W/C°. Varmekredsen er direkte tilsluttet med en differenstrykregulator monteret over varmekredsen. Manifold for brugsvand og varmekreds, samt energimålere er ikke vist på principtegningen.



**Figur 4:** Eksempel på de installerede fjernvarmeunits. (Billede til venstre:) Den samlede brugerinstallation med tilslutninger til fjernvarmestik, vandstik, gulvvarmesystem og forsyningsledninger for brugsvand. EUDP klistermærke er sat på fjernvarmeunittens kabinet. (Billede til højre:) Et kig ind i selve fjernvarmeunitten, hvor den fjernaflæste energimåler også ses.

I Figur 4 (billede til højre) ses en lavenergipumpe (A-mærket Grundfos Alpha 2), der forsyner for rumvarmekredsen. Endvidere ses en fjernaflæst energimåler (Kamstrup MULTICAL<sup>®</sup> 601 inkl. topmodul) monteret i fjernvarmeunitten.

Fjernvarmeunitten er udstyret med termostatisk bypass (omløb), således at ventetiden på varmt brugsvand minimeres ved tapning. Se mere herom i afsnit 2.4.5.

## 2.4 Fjernvarmesystemet

### 2.4.1 Systemkoncept

Systemkonceptet består overordnet i at reducere varmetabet i ledningsnettet ved hjælp af:

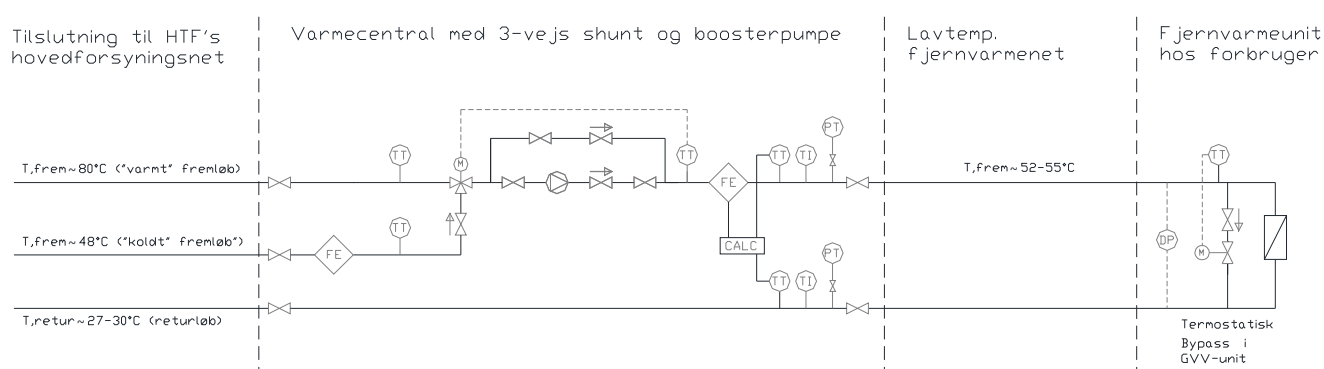
- Mindre ledningsdimensioner
- Lavere fjernvarmetemperaturer
- Twinrør i højst mulig isoleringsklasse frem for enkeltrør.
- Blandeshunt og booster-pumpe

Mindre ledningsdimensioner opnås vha. en central booster-pumpe, der sikrer et højt differenstryk i området. Pumpen styres efter et minimum differenstryk i nettet. Detaljer herom findes senere i dette kapitel.

De lavere fjernvarmetemperaturer opnås ved, at der er en blandeshunt centralt i nettet, som regulerer temperaturen i fremløbet til lavtemperaturnettet. Blandeshunten styres af en temperaturføler i fremløbsledningen. Ved meget lave udetemperaturer kan det være nødvendigt at hæve fremløbstemperaturen, der ellers som udgangspunkt er 52-55° C i lavtemperaturfremløbet ud af varmecentralen.

Blandeshunten og booster-pumpen er placeret i den eksisterende varmecentral i Sønderby. Figur 8 viser placeringen. Det nye fjernvarmesystem i Sønderby er designet uden en varmeveksler i varmecentralen. Det vil sige, at der ikke er nogen trykmæssig adskillelse i varmecentralen. Derimod er husinstallationerne med de nye fjernvarmeunits opbygget med indirekte anlæg. Booster-pumpen er placeret i fremløbet til lavtemperaturnettet og styres efter et differenstryk. Shuntarrangementet er koblet på Høje Taastrup Fjernvarmes SRO/SCADA-system, så det kan overvåges centralt. Der måles temperaturer, flow, absolut tryk, differenstryk og leveret energi og effekt samt elforbrug på pumpen.

Blandeshunten i varmecentralen er baseret på et nyt designkoncept, hvor mest muligt returvand fra et naboområde benyttes i fremløbet til lavtemperaturnettet. Temperaturføleren i fremløbsledningen styrer en 3-vejsventil, der forsyner lavtemperaturnettet med varme primært fra det "kolde" fremløb, som er fjernvarmevand fra naboområdets returløb. Når det "kolde" fremløb ikke er tilstrækkeligt i forhold til den ønskede fremløbstemperatur, suppleres der med det "varme" fremløb, hvilket er fjernvarmevand fra fremløbet i Høje Taastrup Fjernvarmes hovednet. Dette betyder, at der til lavtemperaturnettet haves et "3-lednings system" med to fremløbsledninger og én returledning. Designkonceptet for blandeshunten ses illustreret på nedenstående figur.



**Figur 5: Simplificeret flow- og P&I-diagram for Sønderby i en situation, hvor området udelukkende forsynes af det "kolde" fremløb (returvand fra hovednettet).**

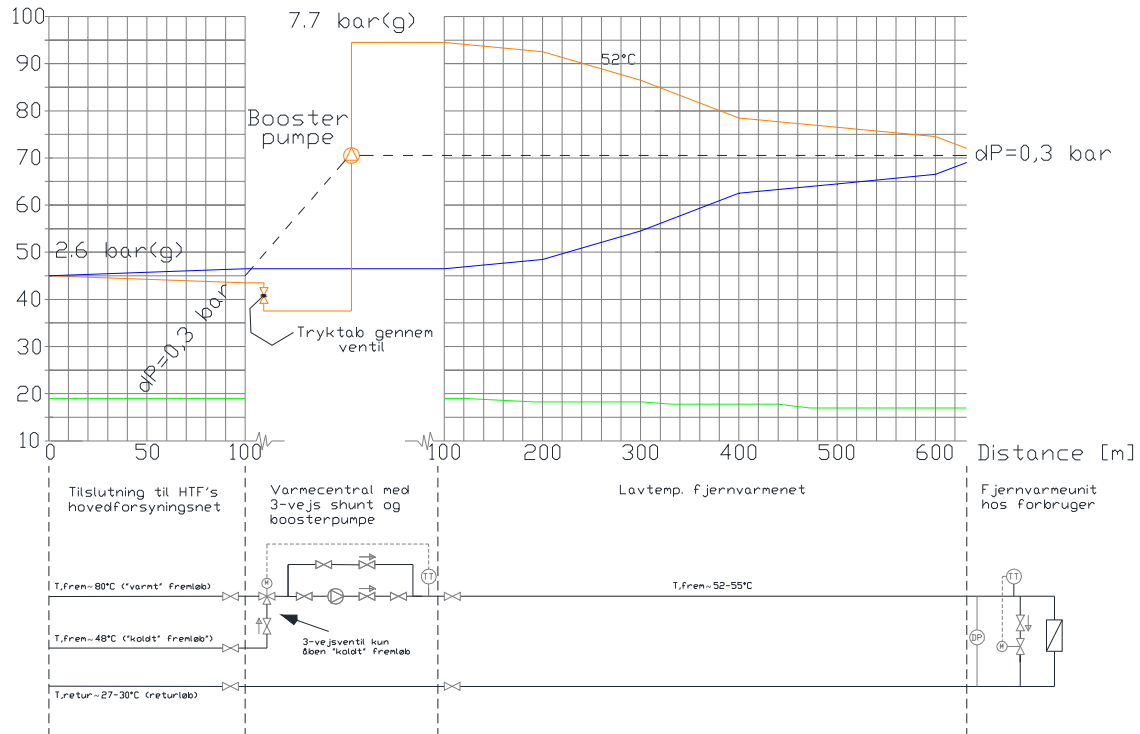
Forsyningskonceptet kræver, at der er et nærliggende område med et tilstrækkeligt flow i returledningen og en forholdsvis høj returtemperatur. Dette er netop tilfældet i Sønderby, hvor naboområdet, der er tilsluttet samme varmecentral, opfylder disse kriterier.

Generelt er fordelene ved konceptet, at der er 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 fjernvarmenettet, hvilket reducerer varmetabet og kan give højere virkningsgrad i varmeproduktionsanlægget.

Nedenstående er vist et simplificeret flow- og P&I-diagram for hhv. en driftssituation, hvor det "kolde" fremløb står for 100 % af varmforsyningen til lavtemperaturnettet og en driftssituation, hvor det "kolde" fremløb suppleres med vand fra det "varme" fremløb.

Scenarie 1 - Temperatur i "koldt" fremløb lig med eller højere end 52°C

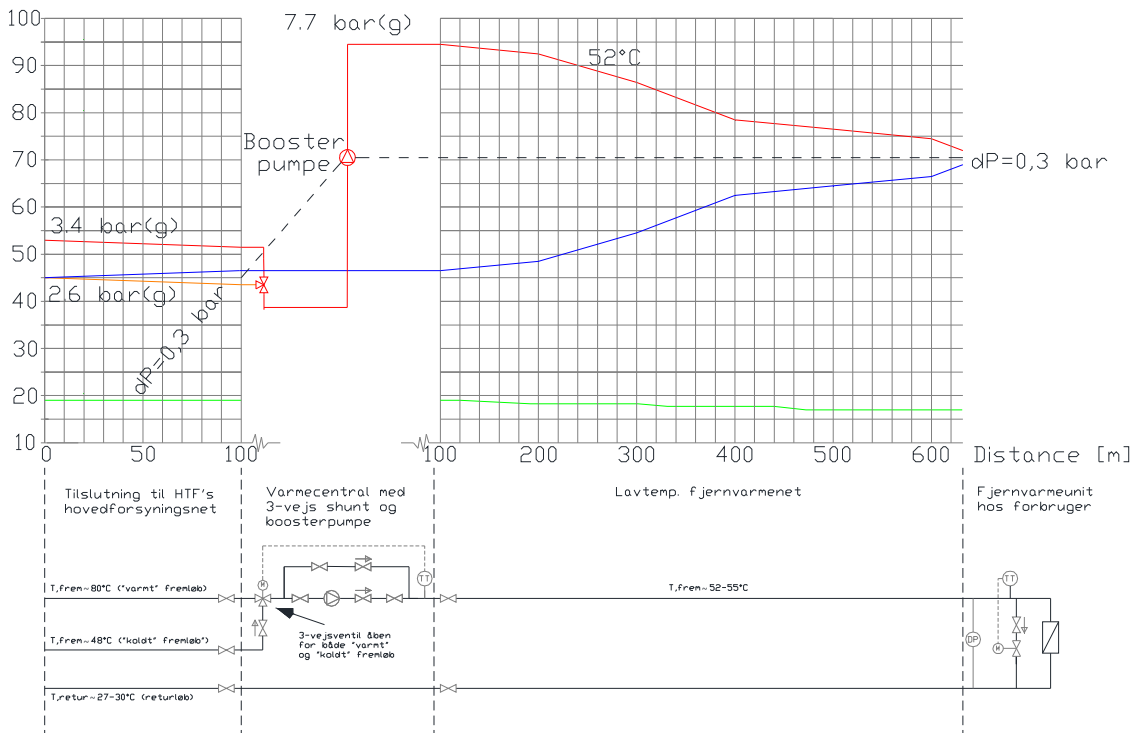
Trykniveau [mVs] (Forsyning: Kun med "koldt" fremløb)  
 Kote [m]



**Figur 6: Simplificeret flow- og P&I-diagram for nettet i Sønderby i en situation, hvor området udelukkende forsynes af det "kolde" fremløb (returvand fra hovednettet / naboområdet).**

Scenarie 2 - Temperatur i "koldt" fremløb lavere end 52°C

Trykniveau [mVs] (Forsyning: Blanding af "varmt" og "koldt" fremløb gennem 3-vejsventil)  
 Kote [m]



**Figur 7: Simplificeret flow- og P&I-diagram for nettet i Sønderby i en situation, hvor det "kolde" fremløb suppleres med vand fra det "varme" fremløb.**

## 2.4.2 Forudsætninger til ledningsdimensionering

### Varmeforbrug, dimensionerende effekt og samtidighed

Der haves varmemeforbrugsdata for årene 2004 til 2010, men selve designgrundlaget er baseret på det graddagekorrigerede forbrug i varmesæsonen 2009-2010. Der er graddagekorrigeret ud fra 2977 aktuelle graddage i forhold til en normal på 2906 graddage (Ref. [www.teknologisk.dk](http://www.teknologisk.dk)).

Herudover er korrigeret i forhold til at nogle huse har brændeovne og brugsvandscirkulation.

Antallet boliger med brændeovne er vurderet ud fra årsforbrug, som er betydeligt mindre pr. m<sup>2</sup> bolig end årsforbrug i de øvrige boliger. Det blev vurderet, at 15 boliger havde benyttet brændeovn i den aktuelle periode, hvilket der i designgrundlaget er korrigeret for ud fra normalårsforbruget pr. m<sup>2</sup> i de øvrige boliger. Ligeledes er der lavet en mindre korrektion for 6 boliger, der har brugsvandscirkulation og derfor et lidt højere årsforbrug pr. m<sup>2</sup> end andre boliger.

Samtidigheden i fjernvarmesystemet er afgørende i forbindelse med fastlæggelse af det endelige design af ledningsnettet. For dette system med GVV-units (gennemstrømningsvarmeveksler til brugsvand) er det primært samtidigheden i forbrug af varmt brugsvand, der definerer samtidighedsfaktoren, det vil sige, bliver dimensionsgivende. Den dimensionerede effekt pr. bolig er 32,3 kW, således at normkravet i DS 439 opfyldes. Når brugsvandssamtidigheden gør, at den dimensionerende brugsvandeffekt bliver mindre end boligens varmeeffekt, vil varmeeffekten være dimensionsgivende. Generelt er der behov for bedre metoder til beregning af samtidighed. I det forrige EUDP-projekt i Lystrup blev der derfor målt på samtidigheden for at samle erfaringen vedr. samtidighed i lavtemperaturfjernvarmesystemer. Erfaringerne herfra er anvendt til ledningsdimensioneringen for Sønderby. Samtidighedsfaktorerne afhænger af antallet af forbrugere. Nedenstående tabel viser de benyttede faktorer.

**Tabel 1: Brugsvandssamtidighedsfaktor ("s") for GVV-units afhængig af antallet af forbrugere på ledningsnettet.**

Antal forbrugere	Samtidighedsfaktor "s" for GVV
1	1,00
2	0,78
3	0,63
4	0,51
5	0,42
6	0,38
7	0,36
8	0,33
9	0,31
10	0,27
20	0,19
30	0,12

## Ledningsdata

I tabellen herunder findes data, der er benyttet i ledningsdimensioneringen.

**Tabel 2: Ledningsdata for twinrør. Kilde: Logstor. Varmetabskoefficienterne er beregnet med Logstors online software.**

Type	Type	Isolerings- klasse	Lambda* [W/(m·K)]	Indre diameter [mm]	U-værdi**		Ruhed [mm]
					Frem rør [W/m·K]	Retur rør [W/(m·K)]	
Alx 20/20-125	Alupex twinrør	Serie 3	0,022	15,0	0,06	0,00	0,02
Tws-DN20-140	Stål twinrør	Serie 2, konti	0,023	21,7	0,08	0,00	0,10
Tws-DN25-160	Stål twinrør	Serie 2, konti	0,023	28,5	0,10	0,00	0,10
Tws-DN32-180	Stål twinrør	Serie 2, konti	0,023	37,2	0,12	0,00	0,10
Tws-DN40-180	Stål twinrør	Serie 2, konti	0,023	43,1	0,14	0,00	0,10
Tws-DN50-225	Stål twinrør	Serie 2, konti	0,023	54,5	0,14	0,00	0,10
Tws-DN65-250	Stål twinrør	Serie 2, konti	0,023	70,3	0,17	0,00	0,10

\* Varmeledningsevne (Lambda,  $\lambda$ -værdier) er oplyst af Logstor.

\*\* Varmetabskoefficienter (U-værdier) er baseret på et temperatursæt på 55/25° C og jord 8° C.

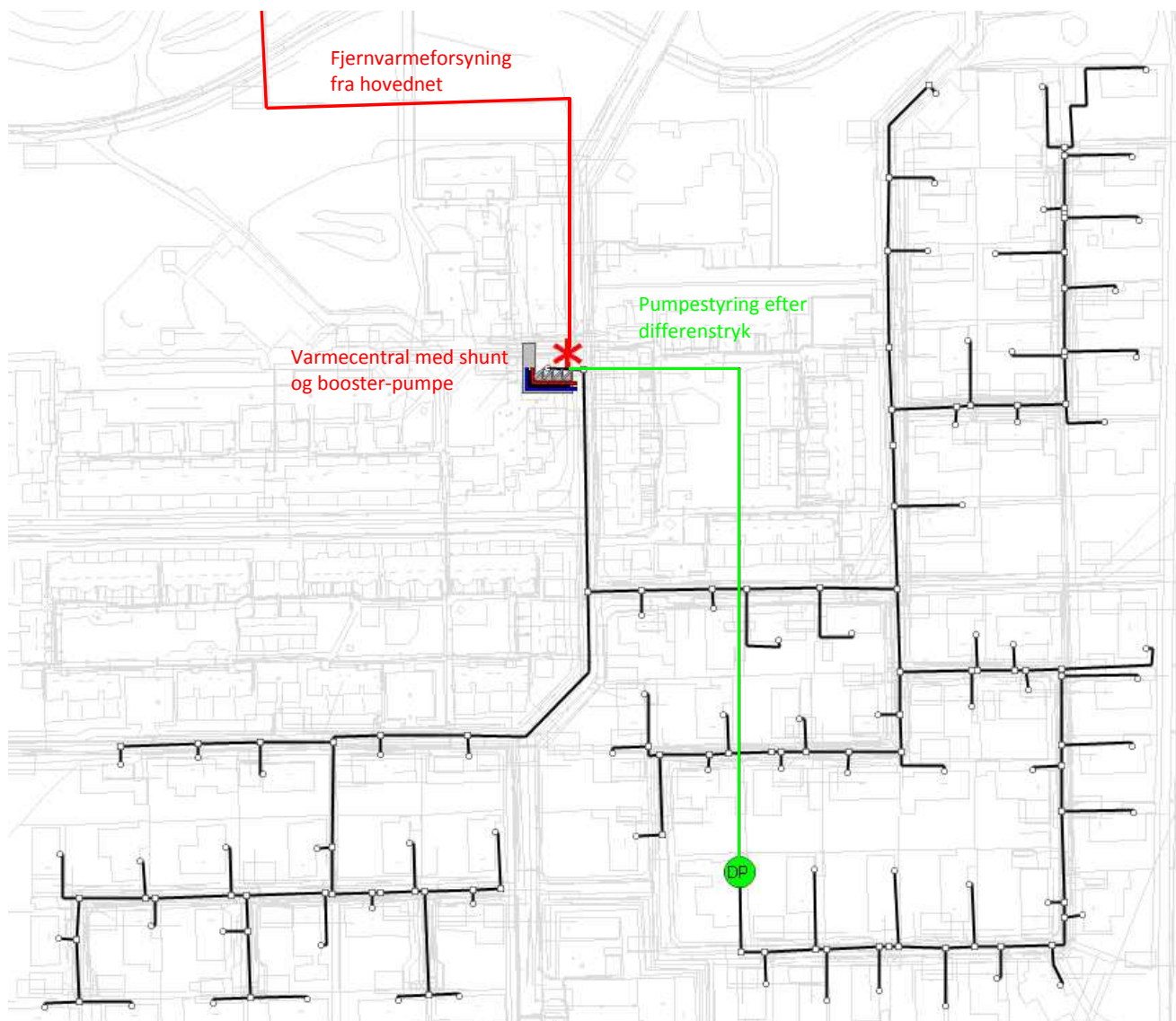
## Andre forudsætninger

Følgende øvrige forudsætninger ligger til grund:

- Model baseret på tracé fra HTF (Sønderby Grundejerlaug).
- Maksimum trykniveau: 10 bar(g)
- Termostatisk bypass (omløb) i alle fjernvarmeunits.
- Min temperatur hos forbruger: 50° C
- Afkøling, Design: 25° C
- Ab værk (fælles hus) temperatur, Design: 52° C
- Maksimum hastighed: 2,0 m/s
- Minimum differenstryk: 0,3 bar
- P-frem, Høje Taastrup fjernvarme (på varmecentral) = 3,4 bar(g)
- P-retur, Høje Taastrup fjernvarme (på varmecentral)= 2,6 bar(g) dvs. differenstryk på 0,8 bar.
- Returtemperaturen i området er typisk 45-50° C

### 2.4.3 Dimensionering

På baggrund af ovennævnte forudsætninger er der dimensioneret et nyt ledningsnet til Sønderby. Tracéet for ledningsnettet ses i figuren herunder.



**Figur 8:** Lavtemperatur-fjernvarme ledningsnet (sorte linjer), der forsynes via fælles varmecentral med shunt og booster-pumpe. Eksisterende forsyningsledning i Høje Taastrup Fjernvarmes net (rød linje). Pumpestyring efter hvor i nettet der er mindst differenstryk (grøn linje).

Af figuren fremgår det også, hvor der i nettet teoretisk set er mindst differenstryk til rådighed. Dette betegnes som den "kritiske forbruger" (eller ledningsmæssigt "fjerneste forbruger"), hvor der som minimum skal være et differenstryk på 0,3 bar. Det er differenstrykmålinger her, at booster-pumpen i varmecentralen kan styres efter. Alternativt kan der måles og styres efter:

- Differenstryk i en brønd i ledningsnettet f.eks. i nettets afstandsmæssige 2/3 punkt (målt fra varmecentralen).
- Differenstryk i varmecentralen (giver ikke altid optimal pumpe drift).

## Dimensioneringsmetode

De ovenfor nævnte antagelser er implementeret i en stationær hydraulisk model, der er benyttet til dimensioneringen. Med modellen er ledningerne dimensioneret med mindst mulig medierørdimension under forudsætning af, at tryk og vandhastighed ikke overstiger hhv. 10 bar(g) og 2,0 m/s. Et 10 bar(g) system trykprøves typisk med 1,5 gange designtrykket. Dermed er der indbygget en sikkerhedsmargin, så der i korte intervaller kan have tryk op til 15 bar(g).

Spidslastsituation er dimensioneret for en udetemperatur på -12° C, hvilket sjældent opstår.

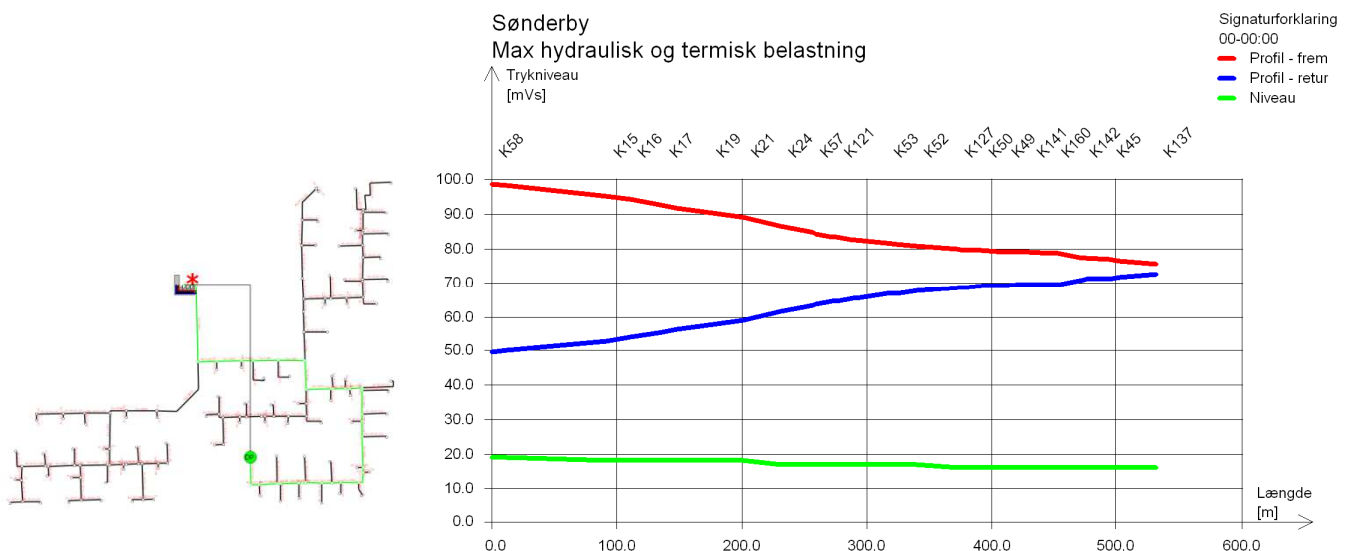
For at minimere varmetab i ledningsnettet er det designet med mindst mulige rørdimensioner således, at der ved en maksimum hydraulisk belastning opnås et trykniveau marginalt under 10 bar(g).

Høje Taastrup fjernvarme har oplyst, at der er et returtryk på ca. 2,6 bar(g), hvilket giver mulighed for, at systemet kan arbejde med et differenstryk på op til 7,4 bar, når der regnes med en trykgrænse på 10 bar(g). Det er yderst usædvanligt med et differenstryk på over 7 bar i "ledningstab" i et område med kun 75 forbrugere. Dette er kraftigt medvirkende til, at ledningsdimensioner og dermed varmetab kan formindskes i forhold til traditionelt fjernvarmedesign. Dette systemdesign kræver øget pumpeenergi, men gevinsten ved lavere varmetab forventes langt større.

Systemdesignet med gennemstrømningsvarmevekslere er lagt ud for en fremløbstemperatur på 50° C hos den "kritiske forbruger". Systemet kan køre med den lave fremløbstemperatur hele året, men der findes en indbygget "varmeleverance-sikkerhed" ved, at fremløbstemperaturen kan hæves på varmecentralen i tilfælde af kortere spidslastperioder med stort varmebehov som følge af meget lave udetemperaturer.

## Dimensioneringsresultater – spidslastdrift

Nedenstående figur (Figur 9) viser beregningsresultatet for drift i en spidslastsituation for nettet, der er optimeret i forhold til mindst mulige rørdimensioner. Der ses et trykprofil fra tilkoblingen til Høje Taastrup Fjernvarmes hovednet og ud til den kritiske forbruger (minimum differenstryk).



Figur 9: Beregningsresultat for en spidslastsituation. Kritisk rute i lavtemperaturnettet samt trykprofil set fra tilkoblingspunkt i varmecentral med booster-pumpe og ud til kritiske forbrugere (mindst differenstryk).

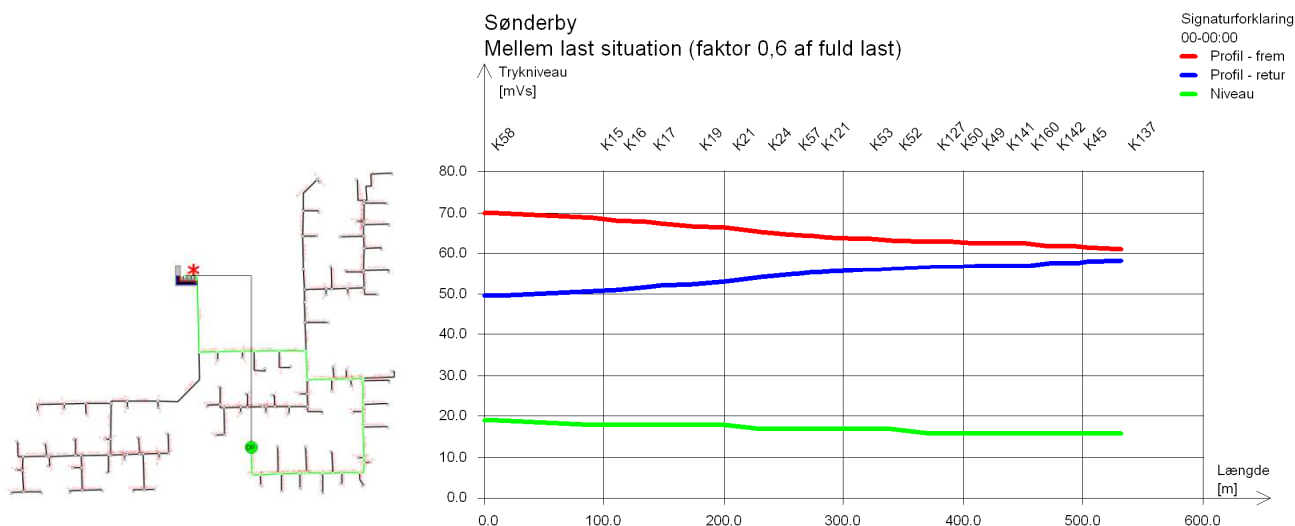


Maksimum og minimum trykniveau i varmecentralen er hhv. 7,7 bar(g) 2,9 bar(g). Trykniveauet er 2,3 bar under designkriteriet på 10,0 bar(g), hvilket giver en god sikkerhedsmargin med hensyn til levering af tilstrækkelig mængde fjernvarme.

Maksimum vandhastighed i hovedledningerne er 1,69 m/s, mens der i stikledningen (Alx 20/20), som er designet til 1 stk. fjernvarmeunit med gennemstrømningsvarmeveksler, er en hastighed på 1,75 m/s.

### Dimensioneringsresultater – mellemlast drift

Belastningen for mellemlast situationen er antaget til 60 % af spidslast. Figur 10 viser trykprofilen herfor.



**Figur 10: Beregningsresultat for en mellemlast situation. Kritisk rute i lavtemperaturnettet samt trykprofil set fra tilkoblingspunkt i varmecentral med booster-pumpe og ud til kritiske forbrugere (mindst differenstryk).**

Maksimum og minimum trykniveau i varmecentralen er hhv. 4,9 bar(g) og 2,9 bar(g). Ifølge disse beregninger vil ledningsnettet i største af året være belastet langt under grænsen på de 10,0 bar(g).

De hydrauliske resultater indikerer et sikkert og robust system, hvor flere sikkerhedsfaktorer er indregnet i tilfælde af problemer med varmeleverance.

#### 2.4.4 Ledningskatalog og -længder

Fjernvarmesystemet er opbygget af twinrør med diffusionsspærre. Stikledninger er fleksible rør (AluFlex) i isoleringsklassen serie 3 og større dimensioner er faste konti-producerede stålrør i isoleringsklassen serie 2. Med udgangspunkt i resultatet af de hydrauliske beregninger er der opstillet et ledningskatalog, der angiver rørdimensioner, -typer og isoleringsklasse samt tracélængder. Se nedenstående tabel.

**Tabel 3: Ledningskatalog – dimensioner, typer og ca. tracé længde**

Type/ dimension	Type	Isoleringsklasse	Hovedledninger [tracé m]	Stikledninger [tracé m]
Alx 20/20-125	Alupex twinrør	Serie 3	18	1310
Tws DN20-140	Stål twinrør	Serie 2, konti	442	-
Tws-DN32-180	Stål twinrør	Serie 2, konti	611	-
Tws-DN40-180	Stål twinrør	Serie 2, konti	161	-
Tws-DN50-225	Stål twinrør	Serie 2, konti	110	-
Tws-DN65-250	Stål twinrør	Serie 2, konti	92	-
Total			1434	1310
			2744	

De indmålte ledningslængder i det færdigbyggede system svarer nogenlunde til tracélængderne i ovenstående tabel.

#### **2.4.5 Termostatiske bypass (omløb)**

Hver fjernvarmeunit er udstyret med et termostatisk styret bypass for at kunne opretholde en vis fjernvarmetemperatur i fremløbet for derved at kunne minimere ventetiden på varmt brugsvand og dermed også spild af brugsvand.

En alternativ løsning kan være bare at have et termostatisk styret bypass for enden af hver gadeledning, men det er ikke valgt her. Hvis der udnyttes et bypass i gadens sidste fjernvarmeunit (frem for i en vejbrønd), skal dette køre uden om energimåleren, således bypass-forbruget ikke blandes sammen med den pågældende boligs fjernvarmeforbrug. Denne løsning kan minimere varmetabet lidt. Omvendt, hvis der ikke er bypass i hver fjernvarmeunit, kan det medføre lidt længere ventetid på det varme brugsvand (for units med gennemstrømningsveksler), fordi stikledningen først skal varmes op, hvis der ikke lige har været tapping af varmt brugsvand.

Generelt er ulempen ved bypass, at der sendes uafkølet fjernvarmevand direkte tilbage i returledningen, hvilket øger varmetabet og reducerer den samlede årsafkøling i fjernvarmesystemet. Det er derfor vigtigt, at bypasset indstilles korrekt og begrænses til et minimum. I ledningsnet med twinrørssystem er den øgede returtemperatur af lidt mindre betydning end i enkeltrørssystemer, fordi den højere returtemperatur ganske vist vil øge varmetabet fra returrøret, hvilket til gengæld vil mindske varmetabet fra fremløbsrøret.

#### **2.4.6 Booster-pumpe**

Fjernvarmesystemet er som nævnt designet med en booster-pumpe, der skal sikre et højt differenstryk i området. Jf. dimensioneringen af fjernvarmesystemet er kravet til booster-pumpen, at den skal kunne løfte 0-6 bar ved et flow på 2,5-22,0 m<sup>3</sup>/h. Dette er et stort løft til et lavt flow.

Booster-pumpen (Grundfos CRE 20-7) har en variabel frekvensomformer og styres efter differenstryk enten i varmecentralen eller ved ledningsnettets "kritiske forbrugere".

Af hensyn til forsyningssikkerhed er der installeret en identisk pumpe parallelt til backup.



Figur 11: Booster-pumpe (Grundfos CRE 20-7) installeret i lavtemperaturnettet.

## 2.5 Måleudstyr og dataopsamling

Alle 75 huse er udstyret med fjernaflæste energimålere (Kamstrup MULTICAL<sup>®</sup> 601 med topmodul), hvilket er blevet standard hos Høje Taastrup Fjernvarme. Målerne benyttes til afregning af varmekonsumet i hvert hus. Disse energimålere måler totalforbruget til både rumvarme og varmt brugsvand inkl. varmetab fra installationer på forbrugersiden af måleren.

Fra hver energimåler opsamles timeværdier for følgende data:

- Akkumuleret volumen,  $V$  [ $m^3$ ]
- Akkumuleret energi [MWh]
- Fremløbstemperatur,  $T_1$  [ $^{\circ}C$ ]
- Returtemperatur,  $T_2$  [ $^{\circ}C$ ]
- 'Energi frem',  $E_8$  ( $m^3 \times T_1$ )
- 'Energi retur',  $E_9$  ( $m^3 \times T_2$ )

De 2 sidstnævnte størrelser benyttes til at beregne gennemsnitstemperaturer for de perioder, hvor der er flow gennem måleren.

På den enkelte måler er det endvidere muligt at aflæse følgende værdier:

- Flow,  $Q$  [l/h]
- Temperaturforskel,  $T_1 - T_2$  [ $^{\circ}C$ ]
- Termisk effekt,  $P$  [kW]

I varmecentralen er der installeret 2 stk. energimålere (Kamstrup MULTICAL<sup>®</sup> 801). Disse energimålere har målepunkter og funktion som ovennævnte måler (MULTICAL<sup>®</sup> 601). Hertil er der målt og styret efter yderligere en række parametre. Samlet set opsamles 5 minutters værdier for følgende data:

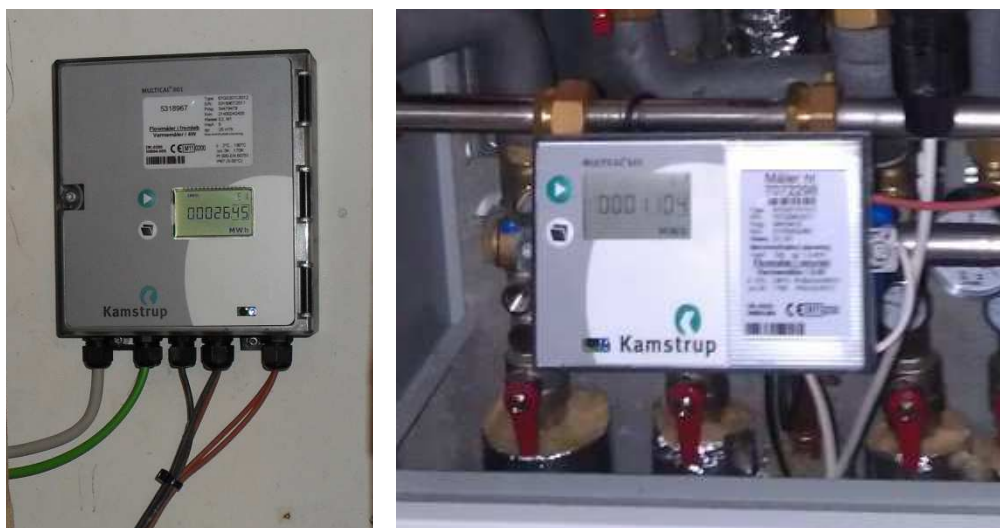
- Fremløbstemperatur, varm forsyning,  $T_1$  [ $^{\circ}C$ ]
- Fremløbstemperatur, kold forsyning,  $T_2$  [ $^{\circ}C$ ]
- Fremløbstemperatur, blandet fremløb,  $T_3$  [ $^{\circ}C$ ]
- Returløbstemperatur,  $T_r$  [ $^{\circ}C$ ]
- Flow, kold forsyning,  $V_1$  [ $m^3/h$ ]
- Flow, totalt fremløb,  $V_2$  [ $m^3/h$ ]
- Absolut tryk, frem,  $P_f$  [bar(g)]
- Absolut tryk, retur,  $P_r$  [bar(g)]

- Differenstryk, varmecentral,  $D_{p_{central}}$  [bar]
- Differenstryk, ”kritiske forbrugere”,  $D_{p_{hus}}$  [bar]
- Varmeeffekt leveret an lavtemperaturnet,  $q_{varme}$  [MW]
- Energi leveret an lavtemperaturnet,  $Q_{varme}$  [MWh]
- Elforbrug booster-pumpe,  $q_{pumpe}$  [kWh]
- El-effekt booster-pumpe,  $Q_{pumpe}$  [kW]

Af ovenstående liste fremgår det, at der er differenstrykmåling ude i nettet ved den ”kritiske forbruger”. Dette er etableret i et hus, hvorfra der er etableret trådløs forbindelse til varmecentralen med en signalforstærker.

Målingerne føres tilbage til Høje Taastrup Fjernvarmes SRO-anlæg og alle data samles op på en server og hentes via en ftp-overførsel.

Måleudstyr og dataopsamling har været afgørende for kortlægning af driften i fjernvarmenettet herunder til dokumentation af varmetab og pumpedrift.



**Figur 12:** Til venstre ses en Kamstrup MULTICAL<sup>®</sup> 801 energimåler, som der er installeret varmecentralen. Til højre ses en Kamstrup MULTICAL<sup>®</sup> 601 energimåler, som der i hvert hus er monteret i fjernvarmeunitten.

### 3 Etablering af det nye fjernvarmesystem

Dette afsnit dokumenterer byggefasen og viser eksempler på implementeringen af det nye fjernvarmesystem.

#### 3.1 Ledningsnettet

I løbet af sommeren 2011 blev der installeret en ny fjernvarmeunit i alle Sønderbys 75 parcelhuse, og der blev udskiftet fjernvarmerør i gader og stikledning ind til de enkelte huse. Rørsystemet er forbundet til varmecentralen ved Sønderby Torv, der får varmen fra Høje Taastrup Fjernvarmes hovedforsyningsnet. Nedenstående figur er et eksempel på, at et nyt twinrør har erstattet det gamle enkeltrørssystem. Ydermere ses der de to type twinrør hhv. med stål og alupex som medierør.



Figur 13: Eksempel på nyt twinrør med stor isoleringstykkelse, der erstatter de gamle enkeltrør med ringe isolering (til venstre). Eksempler på stål twinrør til gadeledninger (øverst til højre). Eksempel på alupex twinrør – et af billederne viser også en samling (med fittings), før der afsluttes med muffe og skumisulering (nederst til højre). Fjernvarmerørene har indbygget kobbertråde til lækage-alarmsystem.

Figur 14 herunder viser billeder fra entreprenørarbejdet. Der ses stålør som lige er svejst sammen og rør, der ligger klar til muffearbejde. Et af billederne viser også et stykke færdigt trykprøvet fjernvarmeledning, der er i gang med at blive dækket til med grus samtidig med, at der lægges advarselsbånd ud.



**Figur 14: Billeder fra arbejdet med etablering af det nye fjernvarmenet. Entreprenørarbejdet pågik i sommeren 2011. Øverst ses stålør, hvor svejsearbejde stadig pågår. Nederst til venstre ligger rør klar til muffearbejde. Nederst til højre ses et færdigt trykprøvet stykke fjernvarmeledning, der er ved at blive tildækket og advarselsbånd er ved at blive udlagt.**

Parcelhusene i Sønderby varierer i størrelse og indretning og er placeret forskelligt på grunden. Nedenstående ses et eksempel med en lang stikledning på ca. 28 m.

Enkelte huse ligger mere gunstigt i forhold til gadeledningen og har en stikledning, der kun er ca. 6 m. Gennemsnitligt har husene i Sønderby en stikledning på 17,5 m.



**Figur 15: Eksempel på en ny stikledning, der er ført til et hus i Sønderby.**

I det fleste tilfælde kunne stikledningerne føres ind igennem husfundamentet med en skråboring, som illustreret på Figur 16.



**Figur 16: Eksempel på en stikledning, der er ført ind igennem husfundament.**

I enkelte tilfælde var der ikke plads indendørs til, at der kunne laves en skråboring for det nye twinrør, så det var nødvendigt at føre dette en smule op over terræn og ind igennem ydervæggen. Denne del blev efterfølgende dækket af et beskyttende "stikskab" som illustreret på Figur 17.



Figur 17: Eksempel på en stikledning, der er ført ind igennem ydervæg i "stikskab".

Nedenstående figur viser et eksempel på stikindføring set inde fra hhv. den gamle indføring med to enkeltrør og den nye indføring med twinrør. Stikledningen er afsluttet med afspærringsventiler på både frem- og returledning.

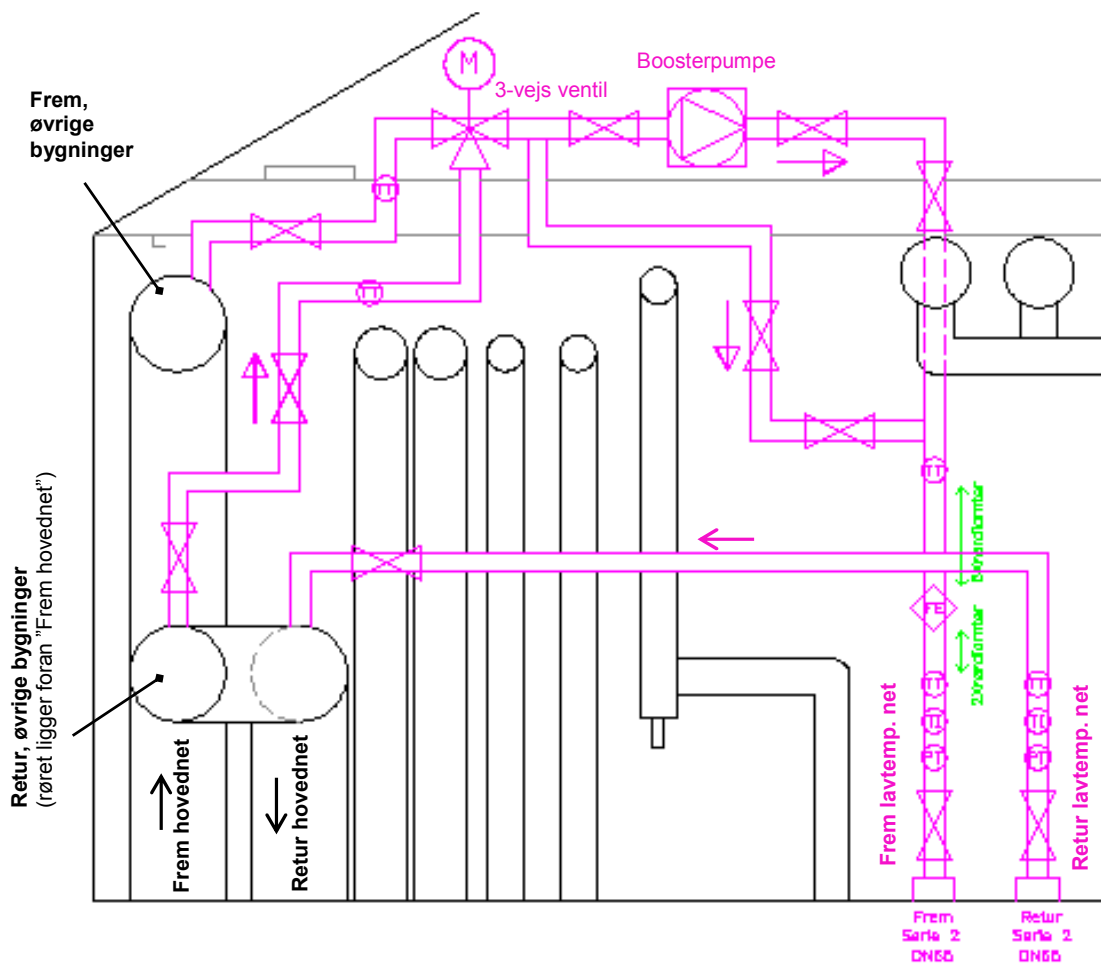


Figur 18: Eksempel på en stikindføring med to enkeltrør (til venstre), der nu er erstattet af ét twinrør (til højre). Bemærk, at billederne ikke stammer fra samme hus.

### 3.2 Varmecentral med 3-vejs shunt og booster-pumpe

Figur 19 viser en skitse over installationerne for lavtemperaturnettet i varmecentralen. Varmecentralen forsynes med fjernvarme fra Høje Taastrup Fjernvarmes hovednet og forsyner foruden de 75 huse også andre bygninger bl.a. Taastrup Almennyttige boligselskab. Centralen har derfor en del anden rørføring og dertilhørende komponenter.





**Figur 19: Principskitse / snittegning, der viser tilslutningen til hovednettet og komponenterne i varmecentralen. Rørføring og komponenter for lavtemperaturnettet er vist med lilla farve.**

Nedenstående figur viser billede af rørtilslutningen til hovednettet og rørtilslutning til lavtemperaturnettet i varmecentralen.



Figur 20: Rørtilslutninger i varmecentralen. Tilslutning til hhv. hovednettet (til venstre) og lavtemperaturnettet (til højre).

Ud over selve rørføringen i centralen er der også en række komponenter til styring og drift af nettet. Figur 21 viser billede af hhv. 3-vejs-ventilen og booster-pumpen. Pumpen er pga. de trange pladsforhold placeret højt oppe i rummet på et stærkt jernbeslag. Som tidligere nævnt, er der af hensyn til forsyningssikkerhed installeret en identisk pumpe parallelt til backup.



Figur 22: Komponenter i varmecentralen. 3-vejs ventil (til venstre) og booster-pumpe (til højre).

### 3.3 Investeringsomkostninger

Den totale anlægsinvestering for det nye fjernvarmesystem inkl. blandeshunt og fjernvarmeunits er opgjort til ca. 8,2 mio. DKK. Tabel 4 viser en oversigt over anlægsudgifterne.

**Tabel 4: Anlægsudgifterne ved etableringen af det nye fjernvarmesystem.**

<b>Anlægsudgift</b>	<b>DKK ekskl. moms</b>	<b>Andel af total</b>
Fjernvarmerør - materialer	912.000	11,1 %
Fjernvarmerør - rørarbejde	1.010.000	12,3 %
Indboring i væg, stikledningsindføringer	114.000	1,4 %
Jord- og gravearbejde	2.710.000	33,0 %
Asfalt, skæring og belægning	1.680.000	20,5 %
Blandeshunt inkl. pumpe og måleudstyr (materialer + arbejde)	342.000	4,2 %
Fjernvarmeunits + måleudstyr (inkl. installation)	1.432.000	17,5 %
<b>Total</b>	<b>8.200.000</b>	<b>100,0 %</b>

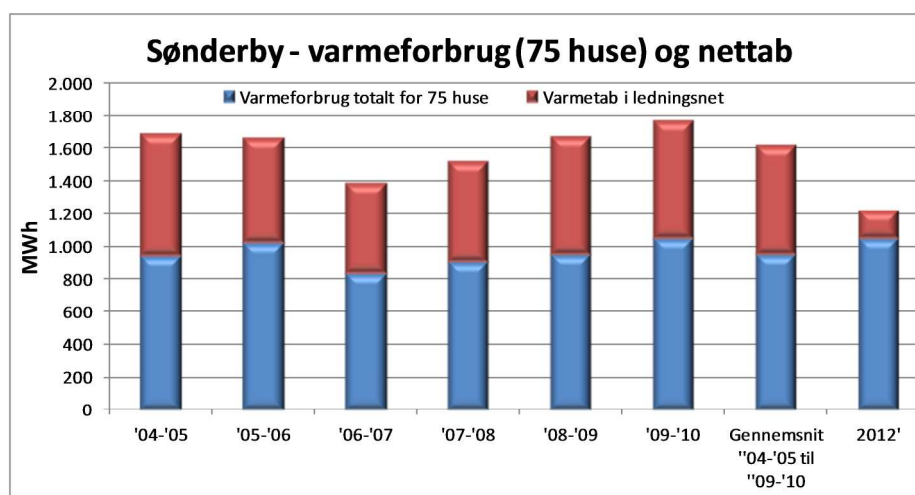
Det bør bemærkes, at mange huse i området har lange stikledninger (op til 28 m og 17 m i gennemsnit), hvilket har haft en indflydelse på den samlede anlægsøkonomi.

## 4 Måleresultater, driftserfaringer og analyse

Dette afsnit præsenterer de vigtigste resultater fra fuldskala demonstrationen i Sønderby. Yderligere måleresultater findes i Appendiks 1. Måleresultaterne stammer fra perioden 1. januar 2012 til 1. juli 2013. Det har i måleperioden været enkelte udfald i målingerne / datalogningen, hvilket viser sig på nogle af figurene med 5 minutters måleværdier.

En vigtig del af projektet har været den måling og dataopsamling, der har været i forbindelse med driften af lavtemperaturnettet. Med målingerne har det været muligt at overvåge og analysere driften af det nye fjernvarmesystem. Samtidig har det været med til at afsløre nogle komponenter, der ikke har virket optimalt efter hensigten. F.eks. er brugsvandsregulatoren skiftet i nogle fjernvarmeunits.

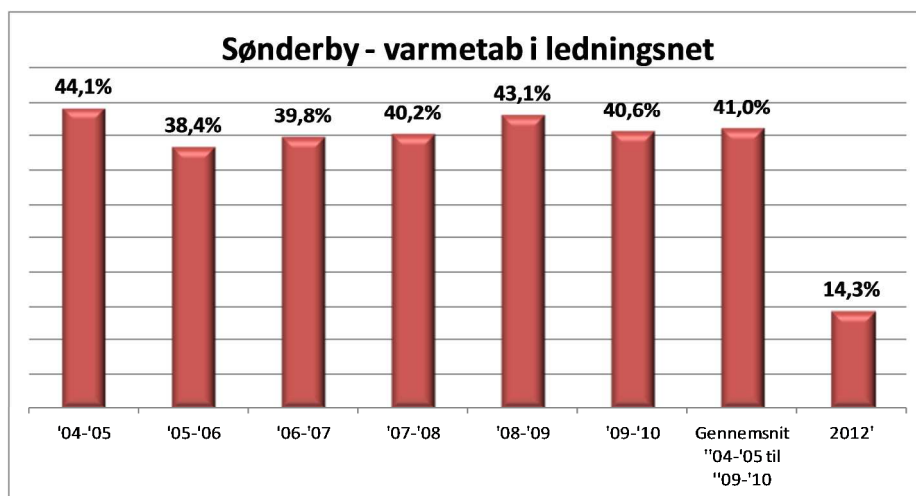
Med det nye lavtemperaturkoncept inklusiv de nye fjernvarmeunits og fjernvarmerør er det lykkedes at reducere varmetabet i ledningsnettet markant. Nedenstående figur sammenligner det målte varmeforbrug (akkumuleret for 75 huse) og varmetab i ledningsnettet i året 2012 med varmesæsonerne fra 2004/2005 til 2009/2010, hvor det gamle system var i drift. Varmeforbrug og nettab blev tidligere kun opgjort pr. varmesæson og ikke kalenderår. Året 2011 er ikke med, fordi det var her, at ombygningen fandt sted.



Figur 23: Samlet varmeforbrug og varmetab i net før og efter fjernvarmerenoveringen. Søjlen med kalenderåret 2012 viser varmeforbrug og varmetab for det nye system, mens de øvrige søjler er tal for det gamle system.

Sammenlignes de to yderste søjler til højre hhv. gennemsnittet for varmesæsonerne fra 2004/2005 til 2009/2010 og kalenderåret 2012, så ses det tydeligt, at varmetabet er sænket. Konkret for 2012 er det omkring 555 MWh, hvis der tages udgangspunkt i en gennemsnitlig ”før-situationen” med et varmetab på 41 % jf. nedenstående figur. Af denne figur fremgår det også, at varmetabet er reduceret omkring 14 %. Den procentmæssige varmetabsandel afhænger af det årlige totale varmeforbrug. Graddagekorrektion af varmeforbruget ændrer dog ikke tallet for 2012 nævneværdigt, og ved design af systemet blev der estimeret et varmetab på ca. 15 %. Så den målte værdi for 2012 vurderes til at være et retvisende billede af lavtemperatursystemets performance. Reduktionen i varmetab er et resultat af hhv. lavere temperatur i fjernvarmenettet og så fjernvarmerør med en bedre isoleringsevne.

Der er opnået et lavt varmetab, som forventet. Demonstrationen viser dermed, at lavtemperaturkonceptet virker efter hensigten.



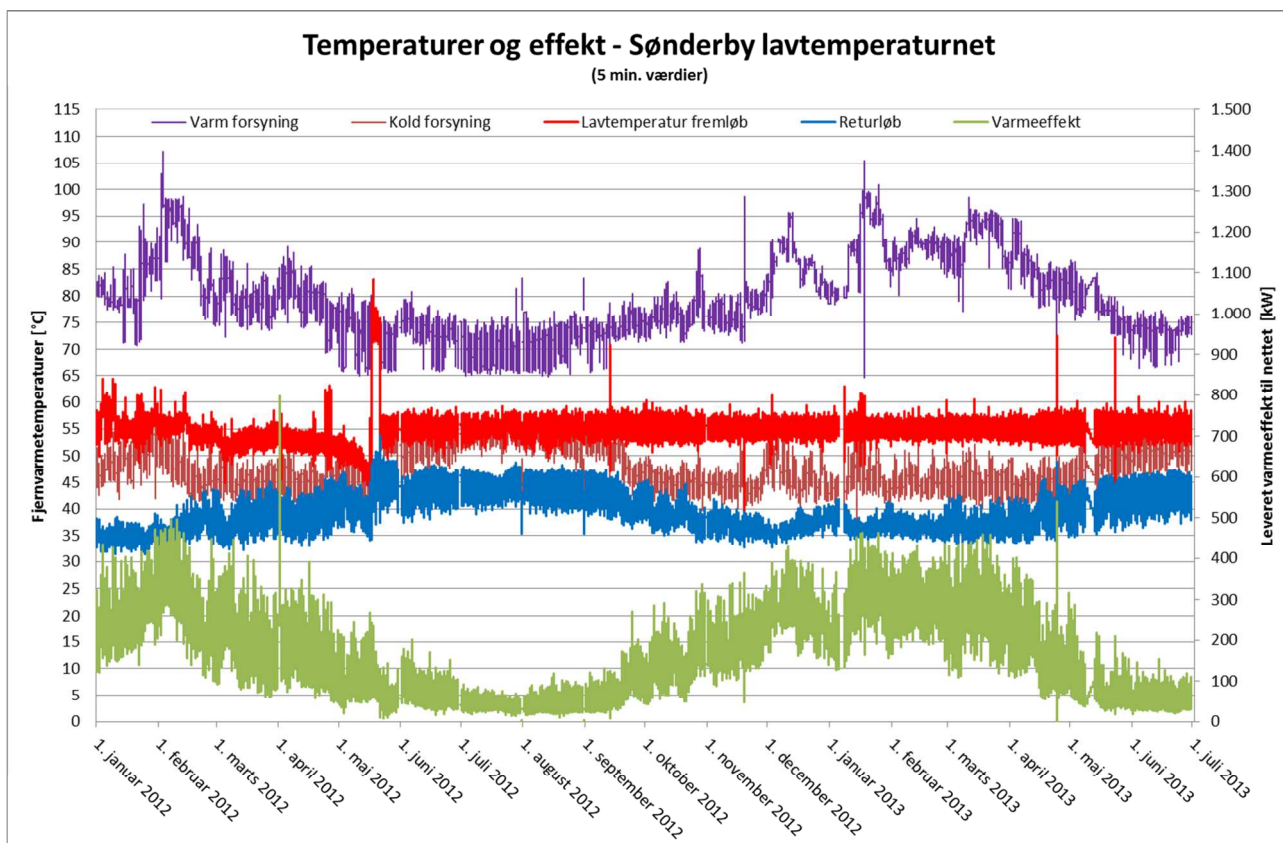
**Figur 24: Målt varmetab i ledningsnettet hhv. før og efter fjernvarmerenoveringen. Søjlen med kalenderåret 2012 viser varmetab for det nye system, mens de øvrige søjler er tal for det gamle system.**

Høje Taastrup Fjernvarme leverer varme til lavtemperaturnettet, dels med fjernvarmereturvand ("kold forsyning") fra naboområdet (bygninger ved siden af Sønderby-området) i den udstrækning det er muligt, dels med fjernvarmevand fra hovedforsyningen ("varm forsyning"). Målingerne viser, at dette innovative forsyningskoncept har betydet, at ca. 80 % af det totale fremløb (den samlede varmeleverance) til lavtemperaturnettet har været dækket af den "kolde" forsyning.

Den "varme" forsyning har i måleperioden i gennemsnit været ca. 80° C, men varieret imellem 65-107° C med lavest temperatur i løbet af sommeren. Temperaturen i den "kolde" forsyning har i gennemsnit været 48° C, men varieret imellem ca. 30-80° C. Typisk er den gennemsnitlige temperatur højest om sommeren. På enkelte tidspunkter i korte intervaller har temperaturen på returvandet fra naboområdet af ukendte årsager været høj, hvilket forklarer hvorfor, der er registreret op til ca. 80° C i den "kolde" forsyning. Dette var ikke kendt på tidspunktet for design af blandeshunten, der burde have været indrettet med en bypass-mulighed, så lavtemperatur-fremløbet kunne blandes ned i temperatur med vand fra returen i lavtemperaturnettet.

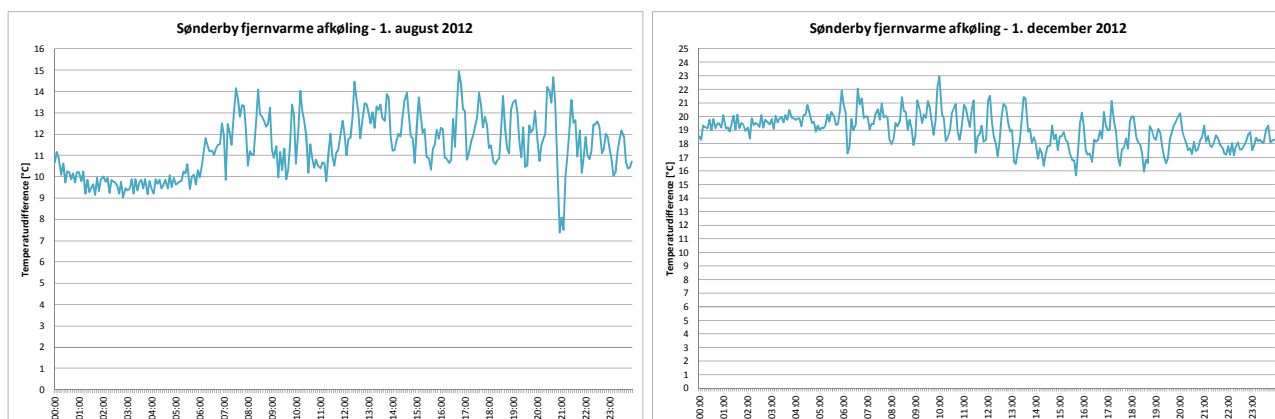
Figur 25 viser et samlet overblik forsyningsforholdene for lavtemperaturnettet. Der ses grafer baseret på 5 minutters værdier for fjernvarmetemperaturer og effektbehov igennem måleperioden på 1,5 år. Det maksimale registrerede effektbehov er omkring 500 kW i løbet af vinteren og 90-200 kW i løbet af sommeren. Figuren indikerer, at fremløbstemperaturen til lavtemperaturnettet i gennemsnit har været 55° C. Returtemperatur har i gennemsnit været ca. 40° C – om sommeren med lavt forbrug op til 45° C og om vinteren ned til 37° C.

Returtemperaturen er generelt højere end forventet, hvilket kan skyldes mange forskellige driftsforhold. Den umiddelbare forklaring er, at nogle enkelte fjernvarmeunits har haft nogle ventiler, der ikke har virket optimalt eller at selve indstillingen har været forkert, således bypass-flowet har været for høj. Det har efter måleperioden fortsat været fokus på at løse dette problem, således returtemperaturen i nettet kan sænkes. Derved kan der også spares varmetab i nettet og pumpeenergi.



Figur 25: Fjernvarmetemperaturer og leveret varmeeffekt i lavtemperaturnettet i måleperioden 1. januar 2012 til 30. juni 2013. Der ses også fjernvarmetemperaturer for den ”varme” og ”kolde” forsyning. Alle data er målte 5 minutters værdier.

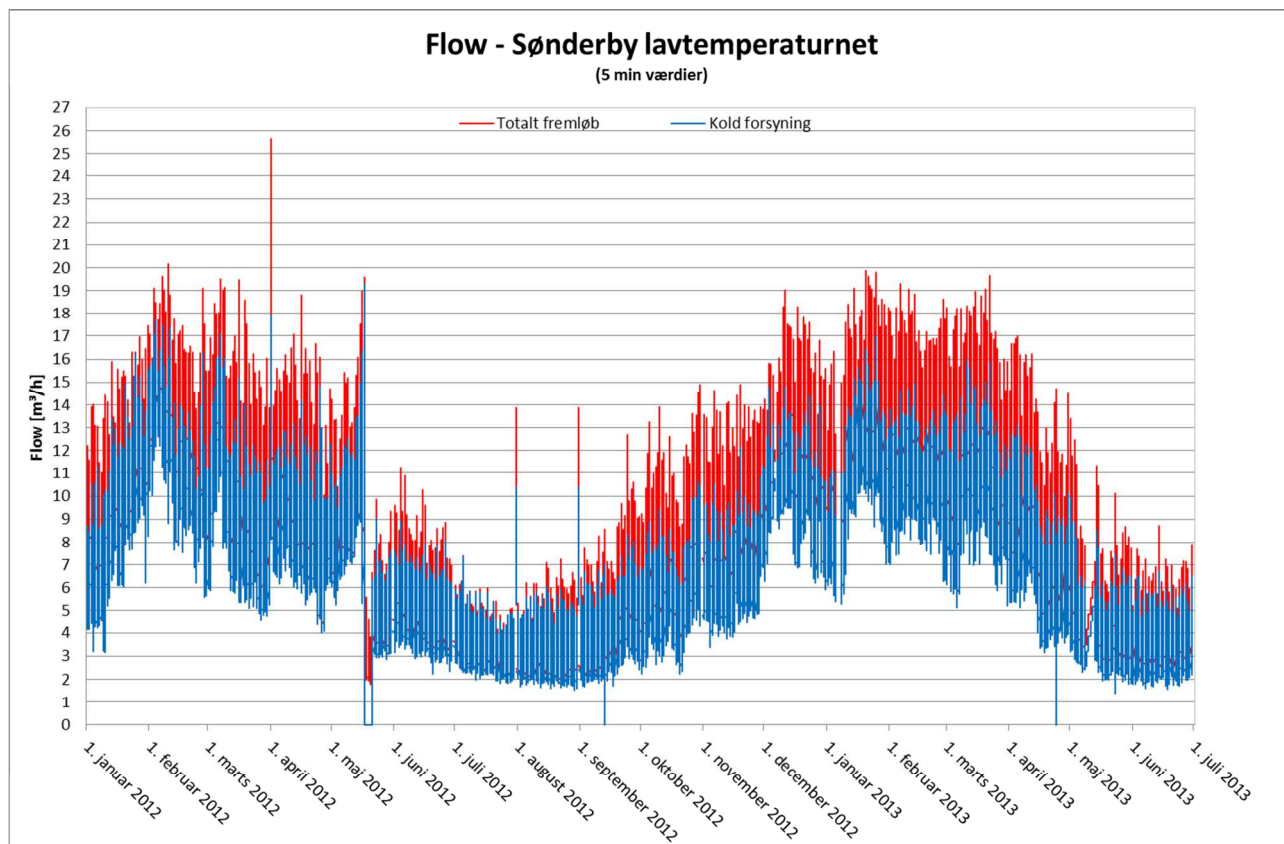
Som nævnt ovenstående, så har returtemperaturen været højere end forventet, hvilket også vil sige, at afkølingen af fjernvarmevandet omvendt er mindre end forventet. Totalt for i måleperioden har afkølingen i det samlede lavtemperatursystem været 15° C. Den mindre afkøling har genereret et større flow og dermed et lidt større elforbrug til pumpning. Nedenstående ses eksempler på døgnkurver hhv. for en sommerdag og en vinterdag. Det ses tydeligt, at afkølingen er højest om vinteren, hvor varmeforbruget er størst. I måleperioden var afkølingen i gennemsnit typisk 18° C om vinteren, men den om sommeren lå på ca. 11° C.



Figur 26: Eksempel på en døgnkurve for afkøling for hhv. en sommer- og vinterdag.

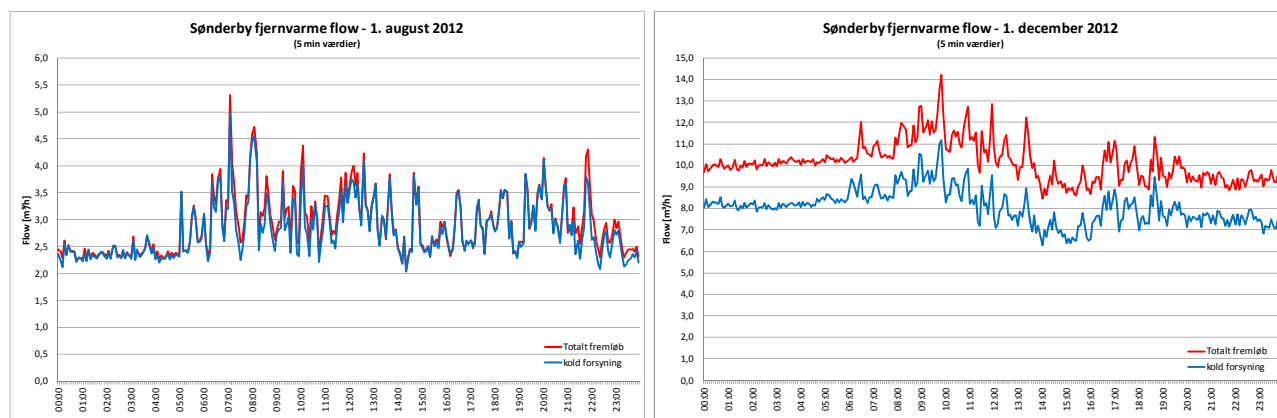
Figur 27 viser årsvariationen i fjernvarmeflowet, der om vinteren typisk ligger på 12-13 m<sup>3</sup>/h og om sommeren 3-5 m<sup>3</sup>/h. Typiske maksimum- og minimumværdier var hhv. omkring 20 m<sup>3</sup>/h og 2-3 m<sup>3</sup>/h, men det totale gennemsnit for måleperioden lå på 8,2 m<sup>3</sup>/h.

Endvidere ses fjernvarmeflowet for den ”kolde” forsyning, der tydeligvis dækker en stor andel af det totale fremløb til lavtemperaturnettet igennem året. Det gennemsnitlige flow for den ”kolde” forsyning var i måleperioden 6,5 m<sup>3</sup>/h.



Figur 27: Flow i Sønderby lavtemperaturnet målt i perioden 1. januar 2012 til 1. juli 2013.

Figur 28 viser eksempler på en døgnkurve for hhv. en sommer- og vinterdag. Om sommeren dækker den ”kolde” forsyning stort set hele forsyningen af det totale fremløb, mens det om vinteren er nødvendigt at ”spæde op” med fjernvarme til den ”varme” forsyning. Dette skyldes primært, at temperaturen i den ”kolde” forsyning falder lidt i vinterperioden – der er med andre ord en bedre afkøling i naboområdet om vinteren.



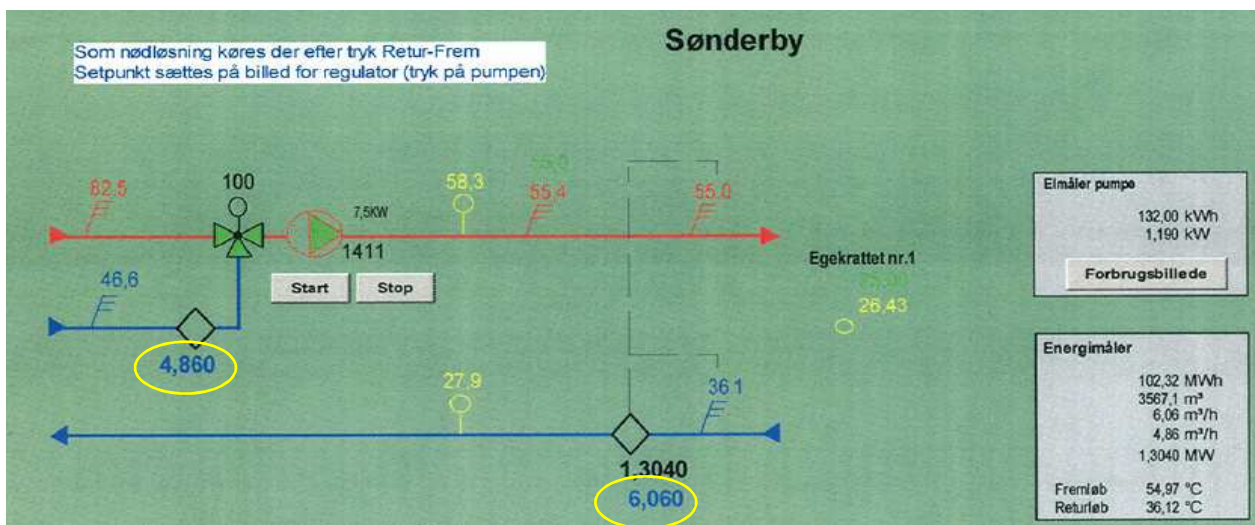
Figur 28: Eksempel på en døgnkurve for flow for hhv. en sommer- og vinterdag.

Både Figur 27 og Figur 28 indikerer, at der om sommeren konstant inkl. om natten er et flow på mindst ca. 2,0 m<sup>3</sup>/h. Dette virker højt, da der på dette tidspunkt kun kan være tale om minimalt eller nærmest intet varmtvandsforbrug.

Omregnet svarer det til ca. 26 l/h pr. hus, men der kan være tale om, at nogle enkelte huse har en meget højere værdi, og at de resterende har en mindre værdi. Da alle fjernvarmeunits er udstyret med et bypass til at sikre tilstrækkelig brugsvandstemperatur, må der forventes et vist minimums flow (måske i omegnen af 3,5-7 l/h). Hertil kommer, at mange forbrugere kan have valgt (bevidst / ubevidst), at have gulvvarmen kørende henover sommeren eller ikke har fået lukket for "sommerventilen" i deres fjernvarmeunit. Sommerventilens funktion er, at lukke for fjernvarmetilførsel til varmekredsen om sommeren, uafhængigt af termostaternes ventilposition eller indstilling. Til sidst kan der, som nævnt tidligere, være tilfælde med ventiler i fjernvarmeunitten eller den øvrige brugerinstallation, der ikke virker / har virket optimalt eller er fejlagtigt indstillet, hvilket genererer et unødigt højt fjernvarme-flow igennem fjernvarmeunitten. Det vurderes, at en ventil med elektronisk regulering suppleret med en returtemperatur-begrænser på rumvarmedelen i fjernvarmeunitten vil være en bedre og mere stabil løsning særligt til lavtemperatursystemer. Den vil også kunne løse problemet med, at forbrugerne ikke får lukket for sommerventilen. Danfoss forventer, at kunne indbygge en sådan løsning på et tidspunkt i fremtidige udgaver af deres fjernvarmeunits.

Unødigt højt fjernvarme-flow som følge af defekte ventiler i ældre systemer og fejlindstillede ventiler i nyere systemer er i øvrigt muligvis et generelt problem i mange fjernvarmesystemer, der sjældent opdages, da der ikke som her, udføres detaljerede målinger og analyser.

Herunder ses SRO-skærbillede over varmecentralen. Billedet viser, hvorledes der forsynes med 55° C. Den "kolde" forsyning ligger på 46,6° C, så der må iblandes vand fra den "varme" forsyning, som i denne driftssituation er på 82,5° C. Ud af det totale fremløb på 6,06 m<sup>3</sup>/h leveres 4,86 m<sup>3</sup>/h af den "kolde" forsyning svarende til 80,2 %.



Figur 29: Eksempel på SRO/SCADA-skærbillede for varmecentralen, der forsyner lavtemperaturnettet. Flow for hhv. den "kolde" forsyning og lavtemperaturnettets returløb er markeret med en gul ring. Bemærk, at effekten (MW) på energimåleren ikke er korrekt angivet. Den korrekte værdi er 134 kW.

Ud over flowet er der i varmecentralen også målt absolut tryk i fjernvarmenettet. I måleperioden 1. januar 2012 til 1. juli 2013 har det gennemsnitlige absolutte tryk i systemet ligget på 8,4 bar(g). I korte periode har det været oppe på ca. 12 bar(g), hvilket er lidt i overkanten. System er designet til at kunne klare dette, så længe der er tale om korte tidsintervaller. Som udgangspunkt er det designet til maks. 10 bar(g) ved normal drift, og styringen er nu (efter måleperioden) også blevet justeret ned til dette.



Differenstrykket er målt hhv. på varmecentralen og ved den "fjerneste" forbruger (se definition i afsnit 2.4.3). Differenstrykket på centralen har gennemsnitligt været 5,8 bar, men har varieret imellem ca. 3,6-9,4 bar. Ved den "fjerneste" forbruger er differenstrykket i gennemsnit målt til 4,7 bar og har varieret imellem ca. 0,3-6,0 bar. Dette er et noget højere differenstryk end forventet i forhold designkriteriet, men har ifølge Høje Taastrup Fjernvarme været nødvendigt for at levere den ønskede varme. Dog har der været fokus på at begrænse differenstrykket, så det ikke overstiger 6 bar i nettet af hensyn til reguleringskomponenterne i fjernvarmeenhederne. En forklaring på det høje nødvendige differenstryk er, at den fjerneste/kritiske forbruger ikke har været dér i fjernvarmenettet, hvor det var forventet.

Se endvidere Tabel 12 i Appendiks 1, der indeholder specifikke data (månedsværdier) for absolut tryk- og differenstryk i fjernvarmenettet for den givne måleperiode.

Der er også udført nogle enkelte spotmålinger (i januar 2014) i et par huse for at undersøge, hvordan den nye fjernvarmeunit og de eksisterende husinstallationer fungerer sammen. I et hus med en ældre gulvvarmestyring (central rumtermostat for hele huset) fungerer fjernvarmeanlægget, som det skal. Der er generelt en lav returtemperatur fra gulvvarmen på under 30° C, og der blev observeret en fremløbstemperatur på ca. 32° C. I et andet hus blev der målt en returtemperatur på ca. 35° C og en fremløbstemperatur på ca. 40° C, dvs. noget højere temperaturer på gulvvarmekredsen.

Herudover blev det observeret, at reguleringsventilerne til varmevekslerne generelt regulerer langsommere, end der er behov for, hvilket medfører stort fjernvarme-flow gennem veksleren. Dette giver højere returtemperatur og dermed mindre afkøling af fjernvarmevandet i det samlede system. Om den langsomme regulering skyldes det høje driftstryk i systemet er ikke afklaret på nuværende tidspunkt. Enkelte defekte reguleringsventiler (bl.a. brugsvandsregulatorer på til brugsvand) er som tidligere nævnt blevet skiftet. Nogle af disse ventiler kunne ikke lukke helt i, hvilket gav anledning til øget bypass-flow. En fremtidig ventil-løsning med elektronisk regulering, som nævnt tidligere, vil kunne give en hurtigere og mere præcis regulering.

Generelt har det vist sig, at sammenkobling af en ny fjernvarmeunit (inkl. det nye designkoncept) med de eksisterende brugerinstallationer - både varmt brugsvands- og gulvvarmesystem - ikke er helt uproblematisk. Det kan i den forbindelse nævnes, at der i nogle få huse i perioder har været problemer med, at brugsvandstemperaturen ikke har været høj nok, og at det bl.a. skyldtes de eksisterende installationer f.eks. brugsvandsarmaturet ved tapstedet. Ligeledes har det i et par tilfælde været en udfordring at få det ældre gulvvarmeanlæg til at fungere optimalt.

Det har generelt været ydet en stor indsats i demonstrationen for, at få alle komponenter i fjernvarmesystemet og husinstallationerne til at virke optimalt. Der har derfor været foretaget besigtigelse og justering af installationerne i flere omgange i et større antal huse både under og efter idriftsættelsen af det nye fjernvarmesystem.

I forbindelse med implementeringen af det nye fjernvarmesystem valgte en del forbrugere at få installeret ny gulvvarmestyring i deres hus. Derved har de mulighed for individuel rumstyring af opvarmningen, hvilket kan give bedre komfort og teoretisk set en konkret energibesparelse i den enkelte husstand og samtidig en fordel for det samlede fjernvarmesystem i form af bedre afkøling af fjernvarmevandet. I praksis har det dog vist sig for dette fjernvarmesystem at være svært at se forskel imellem huse, der har den nye gulvvarmestyring og den ældre (med central rumtermostat for hele huset). Der er ikke umiddelbart bedre afkøling med den nye styring, hvilket man ellers kunne forvente. Mange faktorer kan spille ind, så det er ikke muligt at give en entydig forklaring herpå.

En erfaring fra demonstrationen er også, at nogle folk reagerer på nye lyde fra installationerne i deres hus. I enkelte huse oplevede man, at der var støj fra brugerinstallationen – den nye fjernvarmeunit, der er vægophængt. Støjen blev lokaliseret til primært at skyldes vibrationer fra cirkulationspumpen. Problemet blev løst med såkaldte ”grisehale” (ionfælder) samt specielt gummiophæng til unit-kabinettet. En ”grisehale” er et rør bøjet 360°. Disse blev installeret på tilslutningen (hhv. frem og retur) imellem fjernvarmeunit og rumvarmesystem.

I nedenstående tabel er der opsummeret og samlet en række nøgletal for driften af lavtemperaturnettet i måleperioden. Ligeledes fremgår der til sammenligning nogle designværdier for fjernvarmesystemet.

**Tabel 5: Nøgledata for drift af lavtemperaturnettet i Sønderby.**

År	Design	2012 (målt)	1. jan. 2012 – 30. juni 2013 (målt)
Varmeleverance, ab varmecentral*	MWh	-	1227,7
Varmeleverance, an forbruger*	MWh	-	1051,8
Varmetab i ledningsnet*	MWh	-	175,9
Varmetab i ledningsnet	%	15.0	14,3
Effektbehov, central, årsgennemsnit	kW	-	139,6
Frem-temperatur, ”varm” forsyning (hovednet)	°C	-	77,7
Frem-temperatur, ”kold” forsyning (retur fra naboområde)	°C	-	49,2
Frem-temperatur, lavtemperatur-net**	°C	55-52	55,0
Retur-temperatur lavtemperatur-net**	°C	27-30	40,3
Frem-temperatur, forbruger (fjernvarmeunit)***	°C	Ca. 50	53,0
Retur-temperatur, forbruger (fjernvarmeunit)***	°C	Ca. 25	37,9
Elforbrug, booster-pumpe station	kWh	-	22.169

\* Graddagekorrigerede værdier for varmeforbruget afviger ikke ret meget det målte forbrug i 2012 og hele måleperioden.

\*\* Temperaturer på varmecentralen med blandeshunt

\*\*\* Gennemsnitsværdier for de 75 huse.

Varmetabet i ledningsnettet er målt til ca. 13-14 % i lavtemperaturnettet, hvilket er en anelse bedre end designkriteriet på 15 %. Varmetabet i 2012 på 14,3 % svarer til 176 MWh samlet set og 64 kWh pr. meter fjernvarmeledning (twin). Med en lavere returtemperatur svarende designkriteriet kan varmetabet reduceres yderligere. Med det gamle fjernvarmesystem (det privatejede net) i Sønderby ville varmetabet havde været ca. 41 % svarende til 731 MWh. Det vil sige, at der i 2012 er sparet ca. 555 MWh. Denne besparelse udgør i alt ca. 75 % og udgør ca. 288.000 kr. (ved en varmepris hos Høje Taastrup Fjernvarme på 518,59 MWh/DKK ekskl. moms). Der kan argumenteres for, at der i besparelsen skal fratrækkes et øget elforbrug til pumpeenergi, men det vurderes at udgøre en relativ lille del.

Med kendskabet til den samlede investeringsomkostning på 8,2 mio. kr. er det nærliggende at forsøge at beregne en simpel tilbagebetalingstid, men det giver ikke nogen større mening, da en del fjernvarmeunits var udskiftningsmodne og dele af ledningsnettet var i dårlig stand og stod over for udskiftning. Endvidere skal det ses som en nødvendighed, at der påbegyndes omstilling af de eksisterende fjernvarmesystemer til lavere temperaturer, således potentialet for at udnytte vedvarende energi og overskudsvarme øges.

Det ses i øvrigt i tabellen, at fjernvarmetemperaturen falder omkring 2° C i ledningsnettet. Dette er beregnet som forskellen mellem fremløbstemperatur i varmecentralen (efter blandeshunt) og fremløbstemperaturen ved forbrugernes fjernvarmeunits (gennemsnit). Omvendt stiger fjernvarmevandet i returen med omkring 2° C i nettet på vej tilbage til varmecentralen. Dette skyldes i begge tilfælde primært det varmetab, der er fra fremløbsrøret i twin-ledningen.

#### 4.1 Måling af varmeledningsevne for et eksisterende fjernvarmerør

Der findes i dag ikke mange data for eksisterende fjernvarmerør. I dette projekt, hvor et eksisterende fjernvarmenet skulle udskiftes, var der derfor oplagt at undersøge de ca. 15 år gamle fjernvarmerør i Sønderby, der blev anlagt i 1997/1998. Et stykke opgravet fjernvarmerør blev udtaget til analyse på Teknologisk Institut. Der er foretaget måling af rørets varmeledningsevne (termisk konduktivitet):

- Brugt præisoleret fleksibelt PEX fjernvarmerør (enkeltrør) uden diffusionsspærre 50/110 mm, ukendt fabrikant.

Nedenstående figur viser billeder fra prøvningen. Røret havde tydelige skader i kappen efter opgravningen, hvilket dog ikke vurderes at have betydning for den samlede varmekonduktivitet.



Figur 30: Test af et stykke ca. 15 år gammelt fjernvarmerør fra det eksisterende fjernvarmenet i Sønderby.

Prøvningstesten gav følgende resultat:

- Varmeledningsevne (termisk konduktivitet):  $\lambda = 0,038 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
- Varmetabskoefficient:  $U = 0,315 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

Denne U-værdi gælder for et stykke enkeltrør med vandtemperatur på 50° C (fremløb). For at det reelt kan sammenlignes med et stykke twinrør, skal der tillægges en koefficient for endnu et rør (returløb).

Det testede fjernvarmerør var af ukendt fabrikat og kan betragtes som et stykke hoved-/gadeledning. Der er ikke lavet test af stikledninger (dvs. rør i mindre dimensioner) fra det eksisterende net, men ifølge Logstor vil stikledningerne i samme rørtype nok have haft en varmeledningsevne på ca. 0,030-0,032 W/(m·K).

Til sammenligning har de ny-installerede fjernvarmerør (twinrør) en varmeledningsevne på 0,022-0,023 W/(m·K).

Varmeledningsevnen på det testede fjernvarmerør (PEX 50/110 mm), da var nyt, kendes ikke, men et bud er 0,028 W/(m·K). Det vil sige, at over tid er varmeledningsevnen steget til 0,038 W/(m·K) svarende til 35 %.

Prøvningsrapporten fra Teknologisk Institut er vedlagt som Appendiks 2 bagerst i rapporten.

## 5 Konklusioner

Der er i demonstrationsområdet i Sønderby installeret nye fjernvarmeunits i 75 huse og etableret et nyt fjernvarmenet og en ny central blandeshunt med booster-pumpe. Dette har erstattet det eksisterende ineffektive fjernvarmesystem med et stort varmetab i ledningsnettet. Der er foretaget detaljerede målinger og dataopsamling for det nye fjernvarmesystem. Disse måledata er behandlet og analyseret for perioden 1. januar 2012 til 1. juli 2013.

Demonstrationsprojektet har vist, at lavtemperaturfjernvarmekonceptet virker for eksisterende bygninger med gulvvarme som rumopvarmningssystem. Resultaterne viser, at det er muligt at forsyne fjernvarmebrugere med en fremløbstemperatur på 50-53° C, der er tilstrækkeligt for at dække rumvarmebehovet og til, at der kan produceres varmt brugsvand på sikker vis.

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 reguleringsventiler, der ikke har virket hensigtsmæssigt under de gældende forhold eller har været indstillet korrekt. Den mindre afkøling vurderes at have givet et større behov for pumpeenergi, men dette er stadig en lille andel sammenlignet med den samlede besparelse i 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.

Fuldskalademonstrationen har også indeholdt et nyt forsyningskoncept, hvor lavtemperaturnettet forsynes med returvand fra naboområdet ("kold" forsyning) i den udstrækning, det er muligt. Denne forsyning har i gennemsnit ligget på 48° C og dækket ca. 80 % af den samlede forsyning. Den resterende forsyning er dækket med varmere fjernvarmevand ("varm" forsyning) fra Høje Taastrup Fjernvarmes hovednet.

Energieffektivitetsmålet i demonstrationen er blevet opfyldt. Med lavtemperatur-konceptet og det nye 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 så fjernvarmerør med en bedre isoleringsevne. Med en lavere returtemperatur svarende designkriteriet kan varmetabet reduceres yderligere.

Et stykke eksisterende fjernvarmerør blev udtaget til test på teknologisk institut og analyseresultatet viste netop en væsentlig højere varmeledningsevne (dvs. væsentligt mindre isoleringsevne) end for nye fjernvarmerør.

Fuldskalademonstrationen viser dermed, at der er et stort energibesparelspotentiale ved at etablere lavtemperaturfjernvarme.

## Appendiks 1 – Måleresultater fra lavtemperatur drift

**Tabel 6: Månedsværdier for maksimum og gennemsnitsværdier for leveret varmeeffekt. Månedsværdier for leveret varme til nettet samt elforbrug til booster-pumpe.**

Måned	Effekt		Energi	Pumpe
	Leveret varme an net		Leveret varme an net	Elforbrug
	kW		kWh	kWh
	Maks.	Gns.		
Januar 2012	472	239	180.586	2.041
Februar 2012	496	266	185.522	2.208
Marts 2012	446	172	127.619	2.112
April 2012	-	155	110.651	1.856
Maj 2012	-	75	56.170	1.600
Juni 2012	202	61	43.550	1.472
Juli 2012	91	38	28.700	1.216
August 2012	118	36	27.350	1.088
September 2012	271	65	46.250	1.408
Oktober 2012	337	130	98.884	1.920
November 2012	365	183	131.443	2.176
December 2012	428	255	190.966	3.072
Januar 2013	463	265	193.621	3.328
Februar 2013	437	265	178.285	3.072
Marts 2013	459	243	180.222	3.072
April 2013	540	159	114.327	2.304
Maj 2013	288	70	51.740	1.536
Juni 2013	154	45	32.718	1.024
<b>Total</b>	-	<b>151,2</b>	<b>1.978.602</b>	<b>36.505</b>
<b>Total 2012</b>	-	<b>139,6</b>	<b>1.227.690</b>	<b>22.169</b>

**Tabel 7: Månedsværdier for leveret varme til nettet, varmeforbrug for i de 75 huse og beregnet varmetab i ledningsnettet.**

Måned	Leveret varme an net	Forbrug i 75 huse	Nettab	
	MWh		MWh	MWh
Januar 2012	180,6	623,5	109,3	14,9 %
Februar 2012	185,5			
Marts 2012	127,6			
April 2012	110,7			
Maj 2012	56,2			
Juni 2012	43,6			
Juli 2012	28,7			
August 2012	27,3	16,1	11,3	41,2 %
September 2012	46,2	34,4	11,9	25,6 %
Oktober 2012	98,9	85,3	13,5	13,7 %
November 2012	131,4	107,0	24,5	18,6 %
December 2012	191,0	185,4	5,5	2,9 %
Januar 2013	193,6	177,3	16,4	8,4 %
Februar 2013	178,3	163,2	15,1	8,5 %
Marts 2013	180,2	163,9	16,4	9,1 %
April 2013	114,3	99,2	15,1	13,2 %
Maj 2013	51,7	38,7	13,0	25,1 %
Juni 2013	32,7	21,1	11,6	35,6 %
<b>Total</b>	<b>1978,6</b>	<b>1715,1</b>	<b>263,5</b>	<b>13,3 %</b>
<b>Total 2012</b>	<b>1227,7</b>	<b>1051,8</b>	<b>175,9</b>	<b>14,3 %</b>

**Tabel 8: Månedsværdier (maksimum, minimum og gennemsnit) for fremløbs- og returløbstemperaturen samt gennemsnitlig afkølingen i lavtemperaturnettet.**

Måned	Lavtemperatur fremløb			Retur			Afkøling
	°C			°C			°C
	Maks.	Min.	Gns.	Maks.	Min.	Gns.	Gns.
Januar 2012	64,4	48,8	56,2	39	31	35	21
Februar 2012	62,4	50,8	55,0	44	32	37	18
Marts 2012	58,4	44,8	52,9	45	32	39	14
April 2012	63,2	45,5	53,1	46	23	40	14
Maj 2012	83,2	38,5	55,0	54	34	44	11
Juni 2012	59,0	50,1	55,4	48	37	44	11
Juli 2012	59,2	51,3	55,8	49	35	45	11
August 2012	59,3	49,7	55,7	48	35	44	11
September 2012	70,8	47,1	55,5	47	36	43	13
Oktober 2012	60,3	50,6	55,2	45	34	39	16
November 2012	59,6	37,9	55,1	42	33	37	18
December 2012	61,3	48,4	55,1	41	33	37	18
Januar 2013	63,1	48,4	55,1	42	33	37	18
Februar 2013	60,4	50,6	55,1	41	34	37	18
Marts 2013	60,5	51,8	55,1	43	33	37	18
April 2013	72,5	50,2	55,1	49	34	39	16
Maj 2013	72,2	44,4	55,1	46	35	42	13
Juni 2013	61,0	50,8	55,5	47	36	44	12
<b>Total</b>	-	-	55,1	-	-	40,1	15,0
<b>Total 2012</b>			55,0			40,3	14,7

**Tabel 9: Månedsværdier (maksimum, minimum og gennemsnit) for fjernvarmetemperaturen i hhv. den "varme" og "kolde" forsyning.**

Måned	"Varm" forsyning			"Kold" forsyning		
	T-frem 1			T-frem 2		
	°C			°C		
	Maks.	Min.	Gns.	Maks.	Min.	Gns.
Januar 2012	97,3	70,7	81,5	61,2	41,8	50,0
Februar 2012	107,2	74,4	89,3	61,9	41,3	47,7
Marts 2012	88,6	72,2	79,6	54,9	38,7	45,5
April 2012	89,2	69,3	79,1	62,9	29,7	46,3
Maj 2012	83,2	65,0	73,1	82,8	38,2	52,9
Juni 2012	80,8	65,8	73,7	57,1	44,5	52,4
Juli 2012	83,4	65,1	69,7	58,1	41,6	54,6
August 2012	83,4	64,9	71,4	57,7	41,6	53,8
September 2012	80,5	50,1	73,9	70,6	42,5	50,6
Oktober 2012	88,9	71,3	77,0	55,5	39,6	45,4
November 2012	98,6	71,2	77,6	55,9	37,5	44,7
December 2012	95,7	76,4	85,9	59,1	39,6	46,0
Januar 2013	105,5	64,7	89,6	61,3	36,7	45,5
Februar 2013	94,5	80,2	89,0	53,6	41,4	44,9
Marts 2013	98,5	77,1	90,9	52,1	40,1	44,9
April 2013	94,6	72,6	84,4	53,3	39,2	44,5
Maj 2013	86,7	68,1	78,3	67,1	40,4	48,8
Juni 2013	77,3	66,4	73,7	61,0	45,2	51,9
<b>Total</b>	-	-	79,9	-	-	48,4
<b>Total 2012</b>	-	-	77,7	-	-	49,2

**Tabel 10: Månedsværdier for leveret volumen (fjernvarmevand) hhv. det totale fremløb og den "kolde" forsyning samt angivelse af andelen af udnyttet returvand dvs. "kold" forsyning.**

Måned	Totalt fremløb	"Kold" forsyning	Andel udnyttet returvand
	Volumen (beregnet) m <sup>3</sup>	Volumen (beregnet) m <sup>3</sup>	fra kold forsyning (i totalt fremløb)
Januar 2012	7.412	6.096	82 %
Februar 2012	9.073	7.533	83 %
Marts 2012	7.784	6.150	79 %
April 2012	7.090	5.679	80 %
Maj 2012	5.000	4.330	87 %
Juni 2012	3.393	2.963	87 %
Juli 2012	2.376	2.265	95 %
August 2012	2.241	2.061	92 %
September 2012	3.042	2.406	79 %
Oktober 2012	5.180	3.583	69 %
November 2012	6.312	4.333	69 %
December 2012	9.157	7.087	77 %
Januar 2013	9.639	7.554	78 %
Februar 2013	8.671	6.678	77 %
Marts 2013	8.859	6.909	78 %
April 2013	6.118	4.507	74 %
Maj 2013	3.360	2.657	79 %
Juni 2013	2.426	2.081	86 %
<b>Total</b>	<b>107.135</b>	<b>84.870</b>	<b>79 %</b>
<b>Total 2012</b>	<b>68.062</b>	<b>54.484</b>	<b>80 %</b>

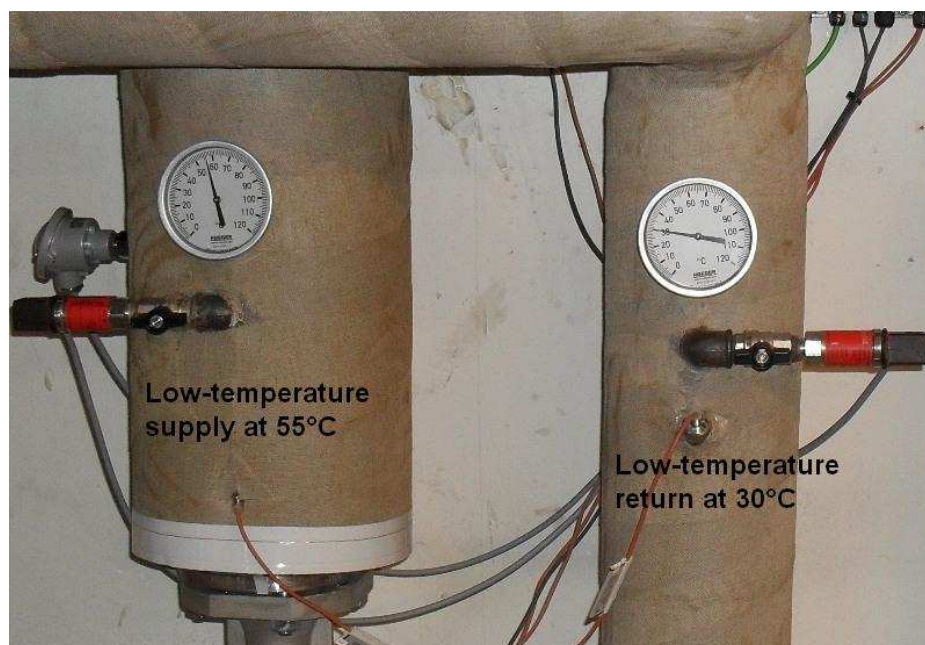
**Tabel 11: Månedsværdier (maksimum, minimum og gennemsnit) for fjernvarmeflow i varmecentralen hhv. for det totale fremløb til lavtemperaturnettet og for den "kolde" forsyning.**

Måned	Totalt fremløb			"Kold" forsyning		
	Flow			Flow		
	V 2			V 1		
	m <sup>3</sup> /h			m <sup>3</sup> /h		
	Maks.	Min.	Gns.	Maks.	Min.	Gns.
Januar 2012	17,4	5,7	10,0	16,2	3,2	8,2
Februar 2012	20,1	7,9	13,0	17,7	5,6	10,8
Marts 2012	19,5	5,9	10,5	17,1	4,6	8,3
April 2012	25,7	4,0	9,8	17,9	4,0	7,9
Maj 2012	19,6	1,7	6,7	19,3	0,0	5,8
Juni 2012	11,3	3,1	4,7	8,9	2,2	4,1
Juli 2012	13,9	1,9	3,2	10,4	1,8	3,0
August 2012	13,9	1,9	3,0	10,4	1,6	2,8
September 2012	12,7	2,1	4,2	8,3	0,0	3,3
Oktober 2012	14,9	3,6	7,0	10,6	2,2	4,8
November 2012	14,9	5,6	8,8	12,1	3,4	6,0
December 2012	19,0	8,5	12,3	14,8	5,9	9,5
Januar 2013	19,9	8,1	13,0	17,0	5,3	10,2
Februar 2013	19,3	8,8	12,9	14,9	6,3	9,9
Marts 2013	19,7	7,6	11,9	16,0	5,1	9,3
April 2013	17,0	0,0	8,5	13,1	0,0	6,3
Maj 2013	13,4	2,6	4,5	9,9	1,4	3,6
Juni 2013	8,7	2,3	3,4	6,7	1,6	2,9
<b>Total</b>	-	-	<b>8,2</b>	-	-	<b>6,5</b>
<b>Total 2012</b>	-	-	<b>7,8</b>	-	-	<b>6,2</b>



**Tabel 12: Månedsværdier (maksimum, minimum og gennemsnit) for absolut tryk målt i varmecentralen og for differenstræk målt hhv. i varmecentralen og ved den fjerneste forbruger.**

Måned	Absolut tryk (P)						Differenstræk (DP)					
	Central						Central			Fjerneste forbruger		
	Frem			Retur			DP-central			DP-forbruger		
	bar(g)			bar(g)			bar			bar		
	Maks.	Min.	Gns.	Maks.	Min.	Gns.	Maks.	Min.	Gns.	Maks.	Min.	Gns.
Januar 2012	8,7	7,3	7,9	3,7	2,3	2,9	5,1	0,0	3,6	-	0,4	-
Februar 2012	8,5	6,8	7,8	3,5	1,8	2,8	5,2	0,0	5,0	-	0,4	-
Marts 2012	11,6	7,0	7,9	3,6	2,2	2,7	8,9	4,6	5,2	-	0,3	3,5
April 2012	7,9	5,6	7,5	2,9	2,3	2,5	5,2	2,9	5,0	-	0,4	3,5
Maj 2012	11,7	7,2	7,7	2,7	2,2	2,4	9,3	4,8	5,3	5,8	0,5	4,3
Juni 2012	11,4	7,4	7,9	2,5	2,2	2,3	9,2	5,0	5,6	5,8	4,3	5,0
Juli 2012	10,9	7,2	7,7	2,7	2,2	2,3	8,4	4,7	5,4	5,6	3,6	5,0
August 2012	11,7	7,2	7,6	2,7	2,1	2,3	9,3	0,0	5,3	5,7	3,6	5,0
September 2012	11,3	5,5	7,8	3,3	0,2	2,3	8,9	4,9	5,5	5,6	4,1	5,0
Oktober 2012	11,5	7,5	8,4	3,0	2,3	2,5	9,0	5,1	5,9	5,9	0,9	5,0
November 2012	11,7	8,2	8,9	5,8	2,2	2,7	6,4	5,4	6,2	6,0	1,3	4,9
December 2012	12,1	7,7	9,6	3,3	2,1	2,8	9,1	5,0	6,8	5,7	0,6	4,7
Januar 2013	12,0	8,4	10,0	3,4	1,4	2,8	9,2	5,7	7,2	5,7	0,8	5,0
Februar 2013	12,0	8,5	10,1	3,2	2,2	2,8	9,1	6,0	7,3	5,6	1,2	4,9
Marts 2013	12,2	8,3	9,8	4,1	1,2	2,7	9,3	5,7	7,1	5,7	1,1	5,0
April 2013	12,2	-	8,8	3,2	1,6	2,5	-	5,3	6,4	-	2,9	5,0
Maj 2013	11,9	7,2	7,9	2,8	1,9	2,3	9,4	4,9	5,6	5,8	4,0	5,0
Juni 2013	10,9	7,1	7,7	2,6	2,1	2,3	8,6	4,9	5,4	5,6	4,4	5,0
<b>Total</b>	-	-	<b>8,4</b>	-	-	<b>2,6</b>	-	-	<b>5,8</b>	-	-	<b>4,7</b>
<b>Total 2012</b>	-	-	<b>8,1</b>	-	-	<b>2,5</b>	-	-	<b>5,4</b>	-	-	<b>4,6</b>



**Figur 31: Billede fra varmecentralen med frem- og returløbning til lavtemperaturnettet i Sønderby. I dette eksempel haves der 55° C og 30° C i hhv. frem- og returløb.**

## Appendiks 2 – Prøvningsrapport for et ældre fjernvarmerør



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

### PRØVNINGSRAPPORT

**Produkt:**

Brugt præisoleret fleksibelt fjernvarmerør uden diffusionsspærre, 50/110 mm, ukendt fabrikat

**Udført for:**

Teknologisk Institut  
Christian Holm Christiansen  
Gregersensvej 3  
2630 Taastrup

under projektet

EUDP 2010-II: Fuldskala demonstration af fremtidens lavtemperaturfjernvarme i eksisterende bebyggelser

**Dato:**

3. oktober 2011

**Sagsbehandler:**

Niels Winther

**Projektnummer:**

2000898-002

**Prøvning udført i henhold til:**

DS/EN 15632-1:2009

Energi og Klima



DANAK

TEST Reg. No. 300



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

Teknologiparken  
Kongsvang Allé 29  
DK-8000 Århus C  
Tel.: +45 72 20 10 00  
Fax: +45 72 20 10 19

info@teknologisk.dk  
www.teknologisk.dk

## Prøvningsrapport

**Dato:** 3. oktober 2011  
**Projektnr.:** 2000898-002  
**Initialer:** nhwn

**Rekvirent:**

Teknologisk Institut  
Christian Holm Christiansen  
Gregersensvej 3  
2630 Taastrup

**På omstændige vilkår er der foretaget prøvning af følgende produkt:**

Brugt præisoleret fleksibelt fjernvarmerør uden diffusionsspærre 50/110 mm, ukendt fabrikat.

**efter prøvningsstandarden:**

DS/EN 15632-1:2009: Præisolerede fleksible rørsystemer – Del 1: Klassifikation, generelle krav og prøvningsmetoder

**med følgende resultat:**

Termisk konduktivitet  $\lambda_{50}$ :  $0,038 \pm 0,0013$  W/(m·K)

Røret har tydelige skader i rørkappen efter opgravningen, hvilket dog ikke vurderes at have betydning for den samlede varmekonduktivitet.

**Vilkår:** Prøvningen er udført i henhold til omstændige vilkår fastlagt af DANAK samt i henhold til Teknologisk Instituts almindelige vilkår, juni 2001.

Prøveresultatet gælder udelukkende for det prøvede emne.

Prøvningsrapporten må kun gengives i uddrag, hvis laboratoriet skriftligt har godkendt uddraget

**Division/center:** Energi og Klima  
Installation og Kalibrering

**Underskrift:**

  
Niels Winther  
Civilingeniør



## DANAK (Dansk Akkreditering)

DANAK blev etableret i 1991 med hjemmel i lov nr. 394 om erhvervsfremme af 13. juni 1990.

Kravene til akkrediterede prøvningslaboratorier er fastlagt i Erhvervsfremme Styrelsens bekendtgørelse om akkreditering af laboratorier m.m., samt til GLP-inspektion. Bekendtgørelsen henviser til andre dokumenter, hvor akkrediteringsaktiviteterne er beskrevet yderligere.

Standarderne DS/EN ISO/IEC 17025 "Generelle krav til prøvnings- og kalibreringslaboratoriernes kompetence" og DS/EN 45002 "Generelle kriterier for bedømmelse af prøvningslaboratorier" beskriver grundlæggende akkrediteringskriterier. DANAK anvender fortolkningsdokumenter til de enkelte krav i standarderne, hvor det skønnes nødvendigt. Disse vil hovedsageligt være udarbejdet af "European co-operation for Accreditation (EA)" eller the "International Laboratory Accreditation Co-operation (ILAC)" med det formål at opnå ensartede kriterier for akkreditering på verdensplan. DANAK udarbejder desuden tekniske forskrifter vedr. specifikke krav til akkreditering, som ikke er indeholdt i standarderne.

For at et laboratorium kan være akkrediteret kræves blandt andet:

- at laboratoriet og dets personale skal være fri for enhver kommerciel, økonomisk eller anden form for pressur, som kan påvirke deres tekniske dømmekraft,
- at laboratoriet har et veldokumenteret kvalitetsstyringssystem,
- at laboratoriet råder over teknisk udstyr og lokaler af en tilstrækkelig standard til at kunne udføre den ydelse, som laboratoriet er akkrediteret til,
- at laboratorieleddelse og –personale har såvel faglig kompetence som praktisk erfaring i udførelsen af den ydelse, som laboratoriet er akkrediteret til,
- at der er indarbejdet faste rutiner for sporbarhed og usikkerhedsbestemmelse,
- at akkrediteret prøvning eller kalibrering udføres efter fuldt validerede og dokumenterede metoder,
- at laboratoriet skal registrere forløbet af akkrediteret prøvning eller kalibrering således, at dette kan rekonstrueres,
- at laboratoriet er underkastet regelmæssigt tilsyn af DANAK,
- at laboratoriet skal have en forsikring, som kan dække laboratoriets ansvar i forbindelse med udførelsen af akkrediterede ydelser.

Rapporter, der bærer DANAKs logo, anvendes ved rapportering af akkrediterede ydelser og viser, at disse er foretaget i henhold til akkrediteringsreglerne.



**TEKNOLOGISK  
 INSTITUT**

<b>Rekvirent:</b>	Teknologisk Institut	<b>Modtagelsesdato:</b>	5/9 2011			
<b>Kontaktperson:</b>	Christian Holm Christiansen	<b>Ældningsperiode:</b>	-			
<b>Telefonnummer:</b>	72 2024 24	<b>Prøvningsperiode:</b>	28/9-2/10 2011			
<b>Faxnummer:</b>	72 20 20 19	<b>Simuleringsdato:</b>	-			
<b>E-mail:</b>	cnc@dti.dk	<b>Svardato:</b>	3/10 2011			
<b>Prøvning udført hos:</b>	Teknologisk Institut, Århus	<b>Enkeltrørspøvnning</b>	X	<b>Auditprøvning</b>	-	
<b>Prøvning udført af:</b>	Niels Winther	<b>Twinrørspøvnning</b>	-	<b>Vejledende prøvning</b>	-	
<b>Certifikatnummer:</b>	200-T-20605, 200-F-20763	<b>Typeprøvning</b>	-	<b>Omprøvning</b>	-	
<b>Mærkning:</b>	Ikke synlig	<b>Projektprøvning</b>	X	<b>Ældet</b>	-	
<b>Prøvningsoversigt</b>	<b>Bilag</b>	<b>Krav overholdt</b>		<b>Akkrediteret</b>		<b>Underleverandørs akkrediteringsnummer</b>
		<b>Ja</b>	<b>Nej</b>	<b>Ja</b>	<b>Nej</b>	
Brugt præisoleret fleksibelt fjernvarmerør uden diffusionsspærre 50/110 mm, ukendt fabrikat		-	-	X	-	-

Såfremt et rør er brugt eller termisk ældet angives ikke om kravet til isoleringens varmekonduktivitet er overholdt eller ej; det angives kun for nye rør.

<b>Dimension</b>	<b>Værdi</b>	<b>Enhed</b>
Mærkning	-	-
Kapperørsdiameter, ydre (Dc4)	112,0	mm
Kapperørstykkelser	3,0	mm
Kapperørsdiameter, indre (Dc3)	106,0	mm
Medierørsdiameter, ydre (Ds2)	50,6	mm
Medierørstykkelser	5,0	mm
Medierørsdiameter, indre (Ds1)	40,6	mm
Længde	31,8	m
Medierørsmateriale	PEX	-



Resultater												
Fra: 28-09-11 16:45						Til: 30-09-11 03:30						
Måleperioder												
Middel rumtemperatur	Middel medierørstemperatur	Middel kappetemperatur	Middel isoleringstemperatur	Middel afkøling frem-retur	Middel flow	Middel densitet	Middel viskositet	Middel hastighed	Middel Reynolds tal	Middel U	Middel effekt	Middel lambda
°C	°C	°C	°C	°C	l/h	kg/m <sup>3</sup>	10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s	m/s	-	W/(m·K)	W/m	W/(m·K)
21,99	40,42	25,08	32,60	0,53	239,9	992,0	0,653	0,052	3203	0,302	4,63	0,0368
22,43	58,38	27,14	42,44	1,13	237,3	984,0	0,486	0,051	4256	0,308	9,61	0,0375
23,02	76,52	29,31	52,43	1,76	237,2	973,9	0,381	0,051	5433	0,316	14,91	0,0385
Beregnet $\lambda$ (50 °C): 0,038 W/(m·K)												
Usikkerhed: 0,0013 mW/(m·K)												
Beregnet U-værdi (50 °C): 0,314 W/(m·K)												

Resultater												
Fra: 30-09-11 15:08						Til: 02-10-11 02:00						
Måleperioder												
Middel rumtemperatur	Middel medierørstemperatur	Middel kappetemperatur	Middel isoleringstemperatur	Middel afkøling frem-retur	Middel flow	Middel densitet	Middel viskositet	Middel hastighed	Middel Reynolds tal	Middel U	Middel effekt	Middel lambda
°C	°C	°C	°C	°C	l/h	kg/m <sup>3</sup>	10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s	m/s	-	mW/(m·K)	W/m	mW/(m·K)
22,90	40,41	25,35	32,73	0,53	237,1	992,1	0,653	0,051	3165	0,304	4,58	0,0371
22,09	58,36	26,98	42,35	1,14	235,9	984,0	0,486	0,051	4230	0,308	9,68	0,0376
22,05	76,46	28,73	52,10	1,80	235,7	974,0	0,381	0,051	5392	0,317	15,14	0,0387
Beregnet $\lambda$ (50 °C): 0,038 W/(m·K)												
Usikkerhed: 0,0013 mW/(m·K)												
Beregnet U-værdi (50 °C): 0,315 W/(m·K)												