

# Delrapport - Demonstration i Lystrup

## Energistyrelsen – EUDP 2010-II

*Journalnr. 64010-0479*

# Fuldskala demonstration 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**

Denne delrapport omhandler demonstrationen af lavtemperaturfjernvarme i Lystrup og indgår som en del af den samlede rapportering i projektet "Fuldskala demonstration af lavtemperaturfjernvarme i eksisterende bebyggelser", der er støttet af Energistyrelsen gennem energiforsknings-programmet EUDP 2010-II.

Delrapporten og behandling af måledata er udført af Teknologisk Institut med input og sparring fra Boligforeningen Ringgården, Danfoss A/S, Logstor A/S, Kamstrup A/S, DTU-Byg og COWI.

Varmemester Henrik Pedersen og hans kollegaer skal have en særlig tak for deres medvirken i demonstrationen bl.a. i forbindelse med ændringer, indregulering og drift af systemerne samt for at arrangere adgang til enkelte boliger, når der har været behov for det.

Christian Holm Christiansen (Teknologisk Institut, Energi og Klima), juni 2014

## Indholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Sammenfatning</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Indledning</b> .....	<b>6</b>
2.1	Baggrund .....	6
2.2	Formål .....	6
2.3	Opgavebeskrivelse .....	6
<b>3</b>	<b>Bebyggelsen og fjernvarmesystemet</b> .....	<b>7</b>
3.1	Bebyggelsen .....	7
3.2	Varmeanlæg .....	8
3.3	Brugerinstallation .....	9
3.4	Fjernvarmesystemet .....	10
<b>4</b>	<b>Resultater af demonstration</b> .....	<b>11</b>
4.1	Fjernvarmesystemet .....	11
4.1.1	Optimering af drift .....	11
4.1.2	Driftsdata og ledningstab .....	12
4.2	Brugerinstallationer .....	12
4.2.1	Fjernvarmebeholderunits .....	12
4.2.2	Gennemstrømningsvandvarmere .....	13
4.2.3	Radiatoranlæg .....	16
4.2.4	Fremløbstemperaturstyring .....	17
4.2.5	Sommerbypass i gulvvarmeanlæg .....	20
4.3	Brugeradfærd .....	22
4.3.1	Fjernvarmeforbrug .....	22
4.3.2	Brugsvandsforbrug .....	23
4.3.3	Energistyring .....	25
<b>5</b>	<b>Referencer</b> .....	<b>27</b>

## 1 Sammenfatning

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 fjernvarmefremløbstemperatur 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 Ringårdens 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.

## **2 Indledning**

### **2.1 Baggrund**

I perioden 2009 til 2010 blev 40 lavenergiboliger opført af Boligforeningen Ringgården i Lystrup ved Århus. I den forbindelse blev der som del af et EUDP-projekt /1/ designet og udlagt et lavtemperaturfjernvarmenet og installeret lavtemperaturfjernvarmeunits, med henblik på at minimere varmetabet fra ledningsnettet mest muligt. Designkriterierne fulgte et designkoncept udviklet i et tidligere EFP-projekt /2/, hvor fjernvarmesystemet, varme og brugsvandsanlæg dimensioneres til at kunne opereres med en fjernvarmefremløbstemperatur helt ned til 50°C. Samtidigt blev installeret et meget ambitiøst dataopsamlingsystem og der opsamledes data fra sommeren 2010 til november 2010. Den korte måleperiode gav en god indikation af systemets drift og muligheder for optimeringer, men der kunne i sagens natur ikke fremvises et samlet måleresultat for et helt år.

### **2.2 Formål**

I nærværende EUDP-projekt "Fuldskalademonstration af lavtemperaturfjernvarme i eksisterende bebyggelser" har formålet været at forsætte måleprogrammet for lavtemperaturfjernvarmesystemet med henblik på at optimere driften af ledningsnettet og fjernvarmeunits samt analysere brugeradfærden.

### **2.3 Opgavebeskrivelse**

I projektet demonstreres varmetab, elforbrug og temperatur i fjernvarmesystemet for en 2-årig periode. Fjernvarmebeholderunits og units med gennemstrømningsvandvarmere indreguleres og optimeres. Der vil desuden være fokus på fremløbstemperaturstyring og nye gulvvarmeløsninger herunder et koncept, hvor gulvvarmesystemet i badeværelset benyttes som bypass om sommeren. Endelig etableres et brugerinterface, så varmemesteren har mulighed for at fejlfinde og informere forbrugerne om u hensigtsmæssig adfærd.

### 3 Bebyggelsen og fjernvarmesystemet

Bebyggelsen og fjernvarmesystemet er beskrevet i detaljer i en foregående EUDP-projektrapport /1/. I dette afsnit gives et resumé af de vigtigste karakteristika.

#### 3.1 Bebyggelsen



Figur 1 - Boligforeningen Ringgårdens afdeling 34 markeret med rød firkant

Lærkehaven er opført af Boligforeningen Ringgården og består af 40 lavenergiboliger til udlejning og et fælleshus fordelt på 7 blokke, se figur 1. Byggeriet var oprindeligt planlagt med traditionel fjernvarme med enkeltrør, men i forbindelse med et EUDP-projekt /1/ blev systemdesignet ændret til lavtemperaturfjernvarmekonceptet med en fremløbstemperatur ned til 50°C hos forbrugeren. Der blev desuden installeret nye typer fjernvarmeunits samt måleudstyr til analyse af lavtemperaturfjernvarmesystemet og de enkelte boligers energi- og vandforbrug. Bebyggelsen får fjernvarme fra Lystrup Fjernvarme gennem en central afregningsmåler.

Selve byggeriet er opført ud fra bl.a. følgende principper:

- Lav CO2 emission
- Minimum forbrug af energi
- Sundt indeklima
- Fabriksfremstillede præfabrikerede væg- og dækelementer
- Billige boliger

Lærkehaven er en boligbebyggelse af træ. Boligernes opholdsrum vender mod syd, hvor lyset, den passive solvarme og udsigten udnyttes bedst muligt, se figur 2. Husenes lukkede gavle vender mod den herskende vestenvind for at minimere varmetabet. Lærkehavens bæredygtighed bygger ikke på sofistikeret teknologi, men på form, orientering, materialer, konstruktive løsninger m.v. Bæredygtighed og arkitektur er naturligt integreret. Med den enkle geometri og de gentagne sammensatte elementer er Lærkehavens arkitektur tilpasset den præfabrikerede produktionsmetode. Lærkehaven er primært bygget på fabrik i Litauen, idet kun fundamenter og tekniske installationer er udført på stedet.



Figur 2 - Rækkehusblok i Boligforeningen Ringårdens afdeling 34.

Boligerne findes i to størrelser: C1 og C2. C1 har 2 værelser, køkken-alrum, badeværelse og teknikrum og har et opgivet BBR-boligareal på 86 m<sup>2</sup>. C2 har et ekstra værelse og et BBR-boligareal på 109 m<sup>2</sup>. Det dimensionerende varmetab er estimeret til hhv. 2 kW og 2,6 kW for C1 og C2.

### 3.2 Varmeanlæg

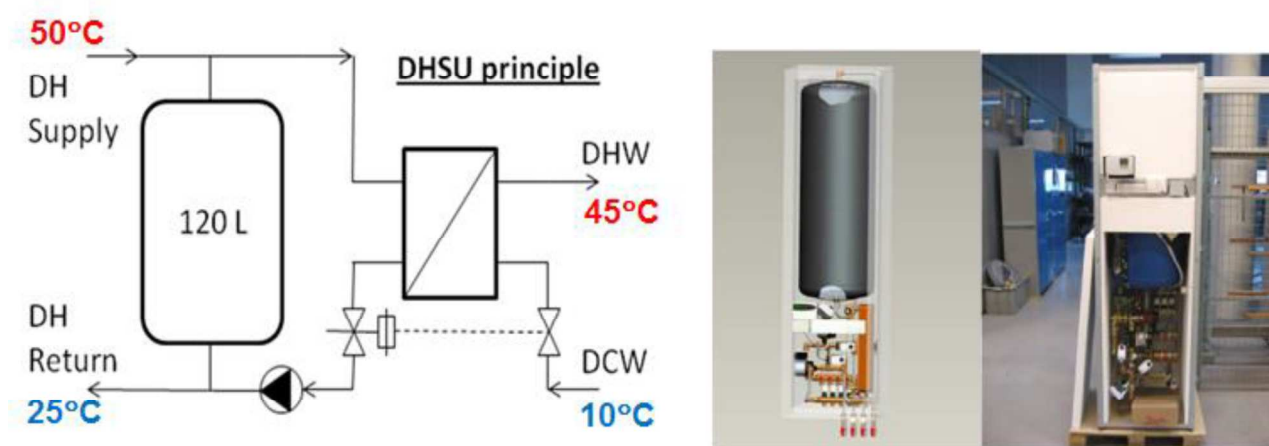
Der er installeret radiatoranlæg i alle rum dimensioneret efter temperatursæt 55/25/20° dog ikke i badeværelse, hvor der er gulvvarme og i teknikrummet, som holdes frostfrit af varmetab fra installationerne. Rumtemperaturen reguleres af traditionelle radiatortermostater på nær i badeværelset, hvor en termostatisk returventil regulerer varmetilførslen (FJVR-ventil).



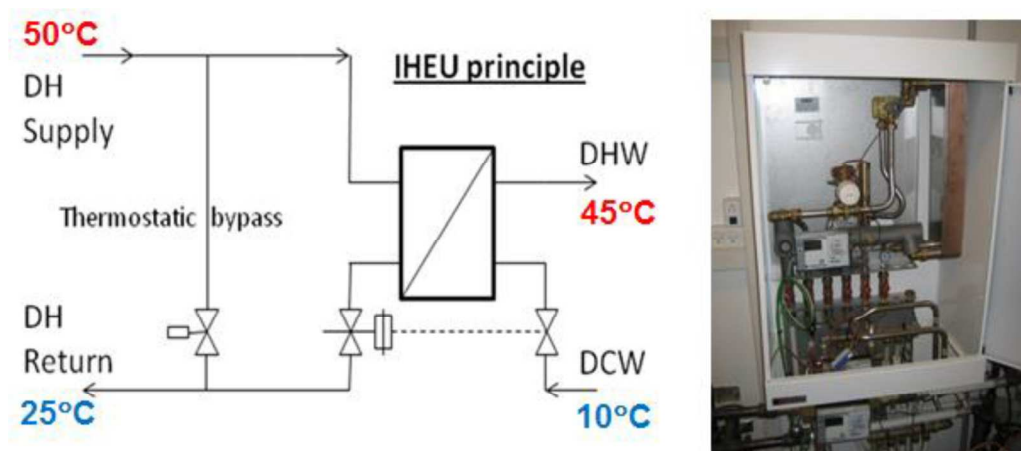
### 3.3 Brugerinstallation

Alle boliger er forsynet med direkte fjernvarme. Der er afprøvet 2 forskellige lavtemperatur-fjernvarmeunits. I 11 af boligerne er der installeret en fjernvarmebeholderunit (FVB), som har en 120 liter akkumuleringsbeholder med fjernvarme. Fjernvarmebeholderen forsyner en brugsvandsveksler, når der er behov for varmt brugsvand, men kan også levere varme til varmeanlægget, hvis temperaturen i bunden af beholderen er høj nok. Fjernvarmebeholderen er desuden udstyret med fremløbstemperaturstyring til varmeanlægget. I de resterende 29 boliger er der fjernvarmeunits med gennemstrømningsvandvarmer (GVV) og direkte forsyning af radiatoranlægget.

Principperne for de 2 brugsvandssystemer fremgår af figur 3 og 4. Begge fjernvarmeunits kan levere varmt brugsvand på 45-47°C ved en fjernvarmefremløbstemperatur på 50°C. Designlasten for fjernvarmebeholderen er 3 kW, hvor den for unitten med gennemstrømningsvandvarmer er 32,3 kW. Den store forskel for systemerne er således, den effekt, de belaster fjernvarmesystemet med.



Figur 3 - Principskitse for brugsvandsløsning i fjernvarmebeholdeunit (FVB)



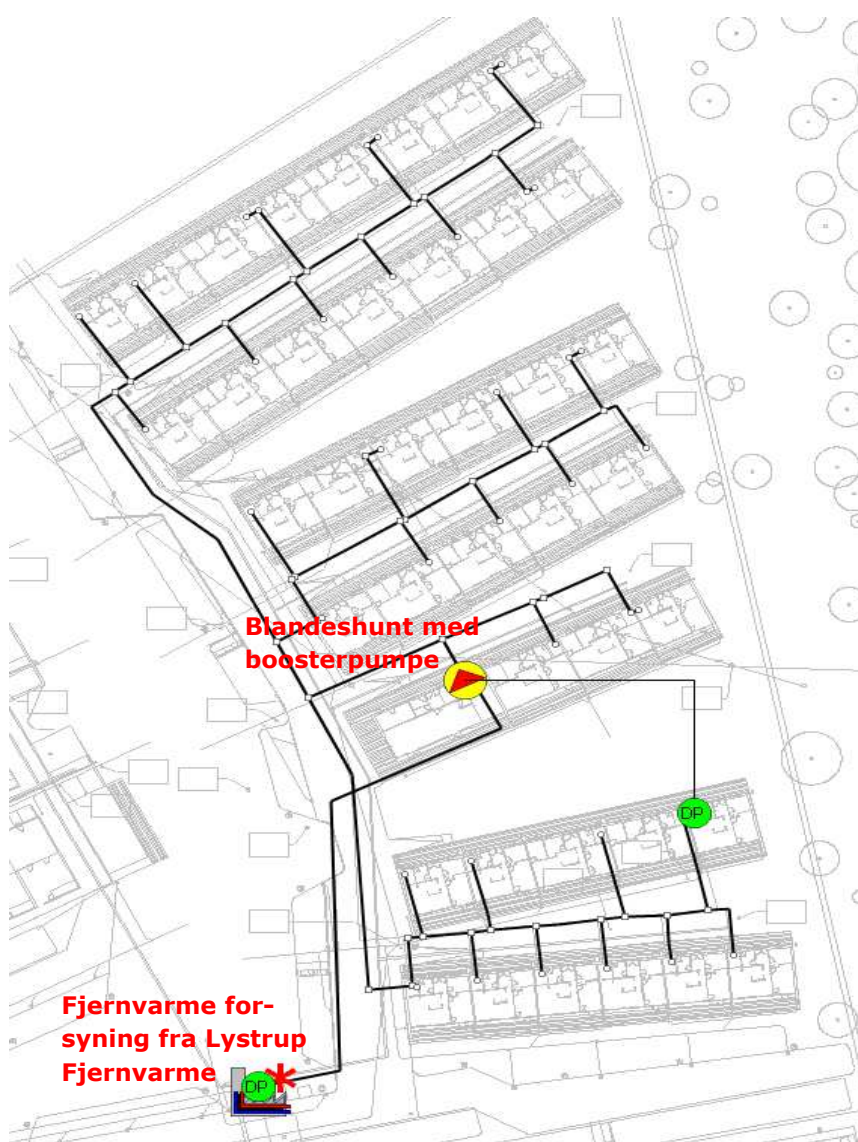
Figur 4 - Principskitse for brugsvandsløsning i unit med gennemstrømningsvandvarmer (GVV)

### 3.4 Fjernvarmesystemet

Fjernvarmesystemet er baseret på:

- Twin-rør i alle dimensioner
- Isoleringsklasse: Serie 2
- PUR-skum:  $\lambda = 0,023 \text{ W/(mK)}$
- Diffusionsbarriere i kappen

En boosterpumpe hæver trykket til nettet, der forsyner de 40 boliger og indgår i et shuntarrangement, der blander forsyningstemperaturen fra Lystrup Fjernvarme ned til lige over 50 °C. Ledningsdimensionerne er reduceret i forhold til det øgede tryk og i forhold til belastningen for de to forskellige unittyper. Hvor det har været muligt forsyner stikledningerne 2 boliger. En skitse af ledningssystemet ses på figur 5.



Figur 5 - Lavtemperatur fjernvarmenet til de 40 lavenergi rækkehuse i Lystrup.

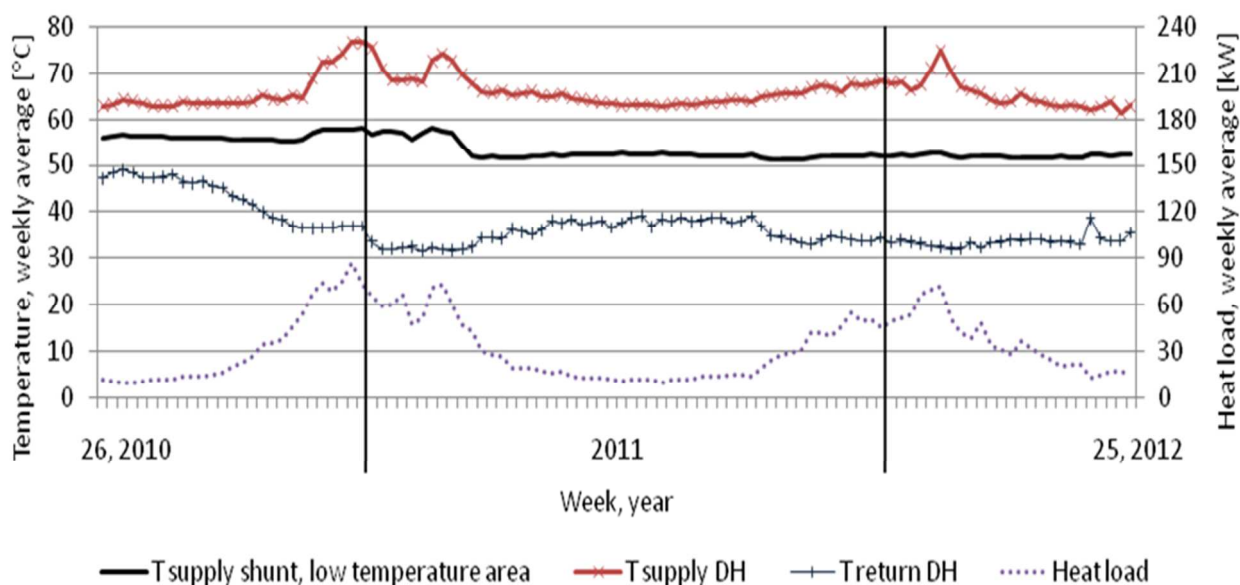
## 4 Resultater af demonstration

Resultaterne fra Lystrup er generelt dokumenteret i en række artikler og præsentationer /3/, /4/, /5/. I det følgende er disse resultater suppleret med yderligere data og analyser. Afsnittet er inddelt i tre underafsnit som indeholder resultaterne for fjernvarmesystemet, brugerinstallationerne og brugeradfærd.

### 4.1 Fjernvarmesystemet

#### 4.1.1 Optimering af drift

Måling på fjernvarmesystemet i Lystrup startede i sommeren 2010 og forløb i første omgang frem til udgangen af november 2010, som rapporteret i /1/. Da det her rapporterede EUDP-projekt blev bevilget i starten af 2011 gik en optimeringsproces i gang, hvor fremløbstemperaturen blev sænket yderligere og forskellige tiltag blev udført for at indregulere brugerinstallationerne. I sommeren 2011 blev bl.a. de 11 fjernvarmebeholderunits indreguleret og i starten af 2012 fik varmemesteren et brugerinterface, så han kunne sammenligne de forskellige boligafkøling og energiforbrug og have et grundlag for at vejlede brugerne i anvendelsen af installationerne (herom senere i rapporten). På figur 6 ses, hvordan fremløbstemperaturen fra Lystrup Fjernvarme, fremløbstemperaturen til bebyggelsen og returtemperaturen til fjernvarmeværket har varieret over en 2 årig periode. Desuden ses fjernvarmebehovet til hele området. Alle værdier er ugentlige middelværdier og hvert aksemærke på x-aksen repræsenterer en uge.



Figur 6 - Fremløbs- og returtemperatur fra/til Lystrup fjernvarme samt fremløbstemperatur fra blandeshunt samt fjernvarmebehov til hele bebyggelsen. Alle værdier er ugegennemsnit.

Det fremgår, at det har været muligt at holde temperaturen til området lige over 50 °C - også i perioder, hvor det har været koldt som fx uge 5 i 2012. Det ses desuden at indreguleringen har medført et fald i returtemperaturen, som dog er vanskelig at få under 30 °C generelt.

#### 4.1.2 Driftsdata og ledningstab

I tabel 1 fremgår måledata for fjernvarmesystemet for årene 2011 og 2012 sammenholdt med et referenceår. Det ses, at der i 2012 opnås et ledningstab på 17,9 % sammenholdt med et forventet ledningstab for referenceåret på 17,1 %. Også i absolutte tal er ledningstabet for hhv. referenceåret og 2012 tæt på hinanden (3% forskel), hvor ledningstabet i 2011 er noget større end beregnet for referenceåret (11% forskel). Det er ikke undersøgt i detaljer, hvad der er årsagen til forskellen, men det kan skyldes mange forskellige forhold fx jordtemperatur, driftstemperaturer, efterisolering af strækninger i hus frem til målere mv. Elforbruget til booster-pumpen er desuden målt til 2556 kWh, hvor det for referenceåret var estimeret til 2600 kWh.

	Hovedmålere til Lystrup fjernvarme				Shunt		Forbrug	Ledningsnet	
	Volumen m <sup>3</sup>	Fjernvarme MWh	T-frem °C	T-retur °C	T-frem °C	Delta-T °C	Fjernvarme MWh	Tab MWh	Tab %
<b>DK ref.år*</b>	-	287,2	-	30	55	25	238	49,1	17,1
<b>2011</b>	7236	273,9	67,4	34,1	53	19	219	54,5	19,9
<b>2012</b>	7650	282,6	66,2	33,7	52	18	232	50,6	17,9

Tabel 1 - Driftsdata fra hovedmålere, shunt, forbrug og ledningsnet for et referenceår samt to kalenderår: 2011 og 2012.

Fremløbstemperaturen til området er generelt sænket med ca. 14°C sammenlignet med den temperatur, der ellers ville have været leveret fra Lystrup Fjernvarme. Den relativt høje returtemperatur vil blive adresseret yderligere i de følgende afsnit.

## 4.2 Brugerinstallationer

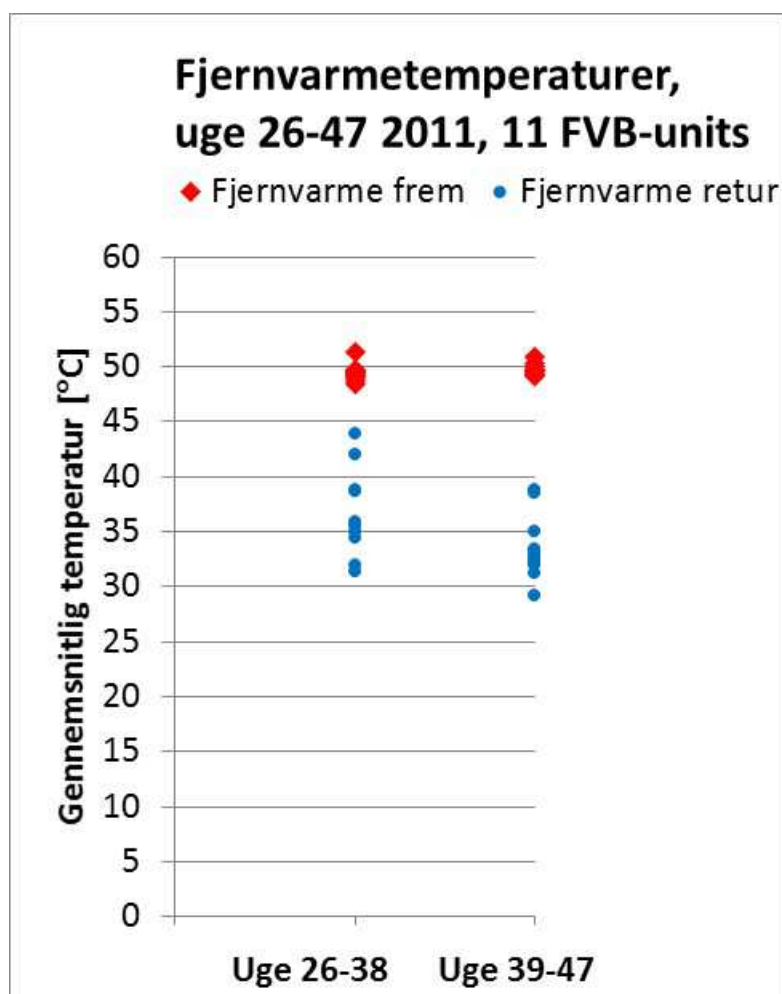
### 4.2.1 Fjernvarmebeholderunits

Alle fjernvarmebeholderunits gennemgik i sommeren 2011 en opdatering, hvor de fik forbedret forpladen inkl. forbedret isolering samt indreguleret til et fjernvarme ladeflow gennem beholderen på ca. 75 liter i timen – fortsat et relativt højt flow, i forhold til et generelt lavt gennemsnitligt brugsvandsforbrug i bebyggelsen, men det var ikke muligt i praksis at indregulere mere specifikt til den enkelte bruger. I tabel 2 ses årsforbrug og temperaturer målt med en bimåler, der dækker strengen med de 11 fjernvarmebeholderunits (FVB). Det fremgår, at i både 2011 og 2012 har returtemperaturen været knap 35°C, hvilket var over det forventede.

	Bimåler for 11 fjernvarmebeholderunits, FVB				
	Volumen m <sup>3</sup>	Fjernvarme MWh	T-frem °C	T-retur °C	Delta-T °C
<b>2011</b>	3581	75,8	53,1	34,6	18,5
<b>2012</b>	3820	75,2	52,0	34,8	17,2

Tabel 2 - Driftsdata for bimåler for streng med 11 fjernvarmebeholderunits.

Returtemperaturen ændrer sig henover året og er for fjernvarmebeholderenheten om sommeren højere end gennemsnittet for året. På figur 7 ses fremløbs- og returtemperatur for de enkelte boliger med fjernvarmebeholderenheder for 2 perioder i 2011: Uge 26-38, som kan karakteriseres som sommerdrift uden varmebehov og Uge 39-47, som kan karakteriseres som en overgangsperiode med varmebehov. Det fremgår, at returtemperaturen falder væsentligt, når afkølet vand fra radiatoranlægget blandes med vand fra fjernvarmebeholderen i uge 39-47. Det er også værd at bemærke den relativt store spredning, der er på returtemperaturen i sommerperioden uge 26-38.



Figur 7 - Fremløbstemperaturer (◆) og returtemperaturer (●) for 11 fjernvarmebeholderenheder i perioderne uge 26-38 og 39-47, 2011

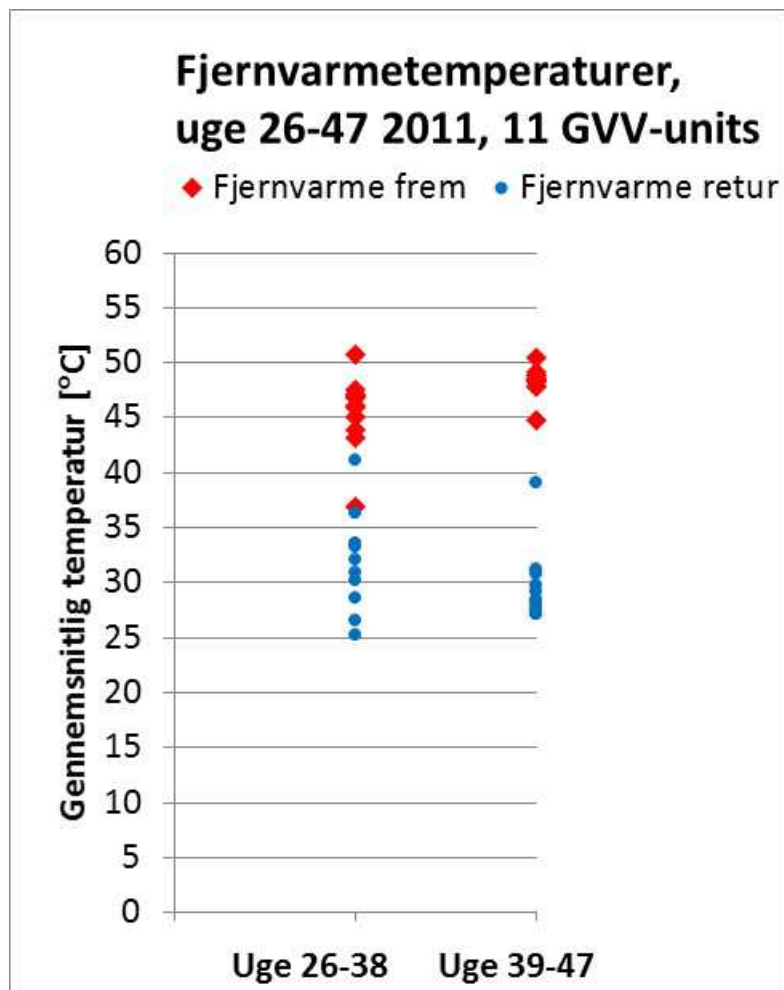
#### 4.2.2 Gennemstrømningsvandvarmere

I tabel 3 ses årsforbrug og temperaturer målt med en bimåler for strengen med 11 fjernvarmeenheder med gennemstrømningsvandvarmere (GVV). Det fremgår, at i både 2011 og 2012 har returtemperaturen været lige godt 30 °C. Det ses også at den gennemsnitlige fremløbstemperatur til strengen har været ca. 1 °C lavere i 2012, hvilket resulterer i en ca. 1 °C højere returtemperatur. De pågældende fjernvarmeenheder forsyner radiatorer og vandvarmer med fjernvarme direkte, altså uden fremløbstemperaturstyring, så den lavere fremløbstemperatur slår direkte igennem på returtemperaturen. Sammenlignet med de 11 fjernvarmebeholderenheder, tabel 2, er afkølingen 4-5°C bedre for de 11 gennemstrømningsvandvarmere.

	<b>Bimåler for 11 units med gennemstrømningsvandvarmer, GVV</b>				
	Volumen m <sup>3</sup>	Fjernvarme MWh	T-frem °C	T-retur °C	Delta-T °C
<b>2011</b>	2364	63,9	53,6	30,0	23,6
<b>2012</b>	2806	68,1	52,4	31,2	21,2

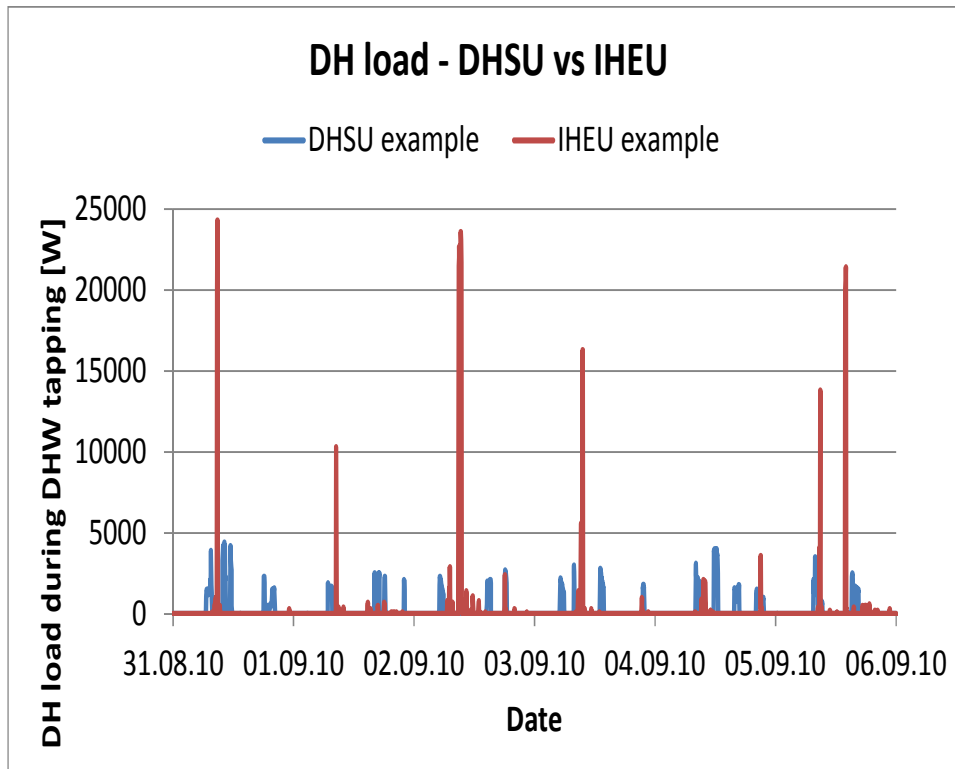
Tabel 3 - Driftsdata for bimåler for streng med 11 fjernvarmeunits med gennemstrømningsvandvarmer

På figur 8 ses fremløbs- og returtemperatur for de enkelte boliger for fjernvarmeunits med gennemstrømningsvandvarmer for 2 perioder i 2011: Det termostatiske bypass er sat til 35 °C i boligerne, så i sommerperioden er det udelukkende når der tappes varmt brugsvand, at fremløbstemperaturen stiger til over 50 °C. I uge 26-38 resulterer det i en gennemsnitlig fremløbstemperatur på omkring 45 °C. Det fremgår, at den gennemsnitlige fremløbstemperatur stiger, når der kommer varmebehov i husene i uge 39-47. Det skyldes at perioderne, hvor det udelukkende er det termostatiske bypass, der forsyner boligen med fjernvarme reduceres. Som det fremgår af tabel 3 er den gennemsnitlige årlige fremløbstemperatur til strengen til de 11 GVV-units over 52 °C. Det fremgår også, at den gennemsnitlige returtemperatur bliver mere ensartet, når varmesæsonen begynder i uge 39-47. En enkelt unit har en defekt eller en indreguleringsfejl med en resulterende høj returtemperatur.



Figur 8 - Fremløbstemperaturer (◆) og returtemperaturer (●) for 11 fjernvarmeunits med gennemstrømningsvandvarmer i perioderne uge 26-38 og 39-47, 2011

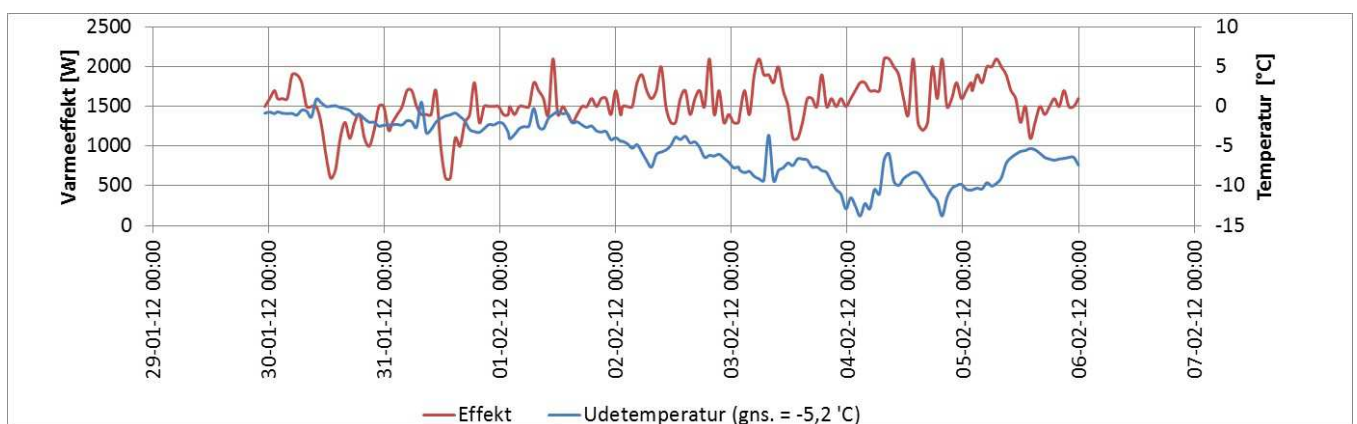
Det typiske effekttræk for units med gennemstrømningsvandvarmer er registreret til knap 25 kW i bebyggelsen. Til sammenligning er effekttrækket for fjernvarmebeholderunitten typisk i størrelsesorden 3-4 kW. Et eksempel på effekttræk fra de to forskellige unittyper ses på figur 9 for en periode i sommersæsonen.



Figur 9 - Forskel på effektræk for varmt brugsvandsproduktion for FVB (DHSU example) og GVV units (IHEU example).

#### 4.2.3 Radiatoranlæg

Generelt har der ikke været klager over manglende varme i bebyggelsen. I figur 10 og 11 ses varmeeffektrækket for en bolig af C2-typen med GVV-unit i uge 5 2012, hvor den gennemsnitlige udetemperatur var  $-5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Brugsvandsspiderne er filtreret fra ved at lægge et filter ind, der svarer til radiatorkapaciteten bestemt ud fra logaritmisk middeltemperatur baseret på de faktisk frem- og returtemperaturer, en rumtemperatur på  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  og en radiatoreksponent på ca. 1,3.



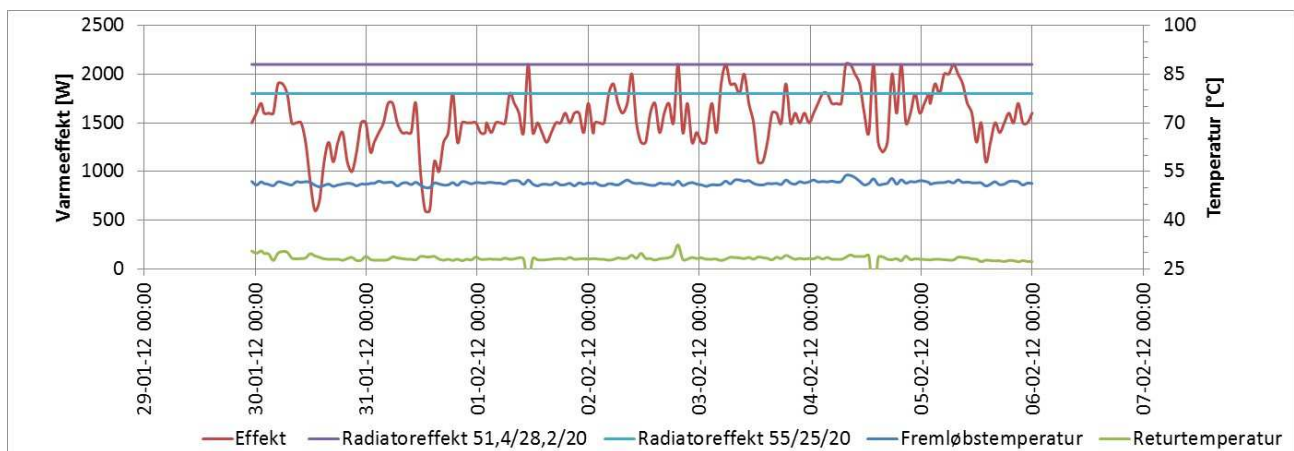
Figur 10 - Effektræk med brugsvandsspider filtreret fra sammenholdt med udetemperatur.

De gennemsnitlige fremløbs- og returtemperaturer for perioden er hhv.  $51,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  og  $28,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , se figur 11, hvilket ved  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  giver en logaritmisk middeltemperatur på  $17,3$  mod  $15,4$ , hvis tem-



peratursættet havde været 55/25/20 °C. Den højere middeltemperatur svarer til en ydelse, der er ca. 16 % større end for designtemperaturerne. Er rumtemperaturen imidlertid 22 °C fås en logaritmisk middeltemperatur på 14,9 °C for temperatursættet 51,4/28,2/22 °C, hvilket svarer til en ydelse, der er 4 % mindre end ved designtemperaturerne.

Der er ingen oplysninger om den faktiske rumtemperatur i boligen eller om alle radiatorer har været anvendt i uge 5 (det tyder effekttrækket dog på). Gulvvarmen i badeværelset indgår desuden i effekttrækket. Det er imidlertid tydeligt at den faktiske leverede effekt og de opnåelige returtemperaturer er meget følsomme over for fremløbs- og rumtemperatur og at det i praksis kan være svært at opnå en returtemperatur på 25 °C.



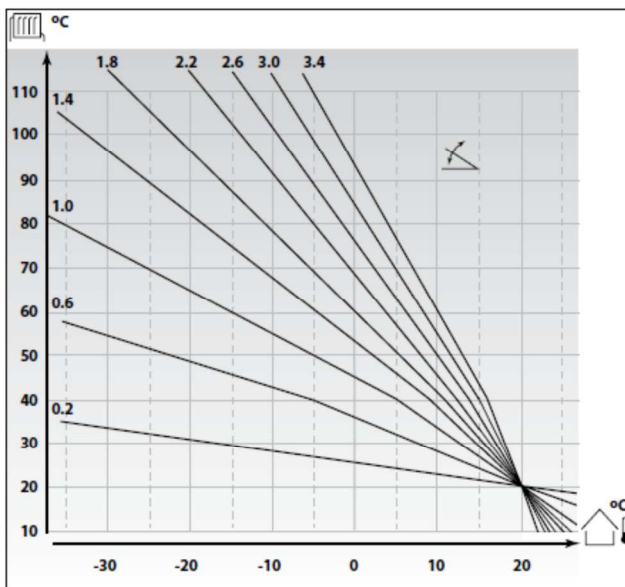
Figur 11 - Driftsdata for bolig type C2 med GVV-unit

Den relative afkøling er et udtryk for den faktiske afkøling i forhold til den teoretisk mulige afkøling ved uendelig stor radiatorflade. Ved temperatursæt 70/40/20 °C er den relative afkøling  $(70-40)/(70-20) = 60\%$ ; ved temperatursæt 55/25/20 °C er den relative afkøling  $(55-25)/(55-20) = 86\%$ . I en relateret artikel /5/ vises, at katalogværdier for panelradiatorer, som typisk er beregnet ud fra den aritmetiske middeltemperatur giver rimeligt pålidelige værdier, hvis den relative afkøling er mindre end ca. 65 %; hvis den relative afkøling er større, kan det imidlertid give store afvigelser på ydelsen at anvende katalogværdierne. En vigtig pointe og lære er derfor, at man ved lavtemperaturanlæg med panelradiatorer altid skal sikre sig, at de radiatorydelse, der specificeres er beregnet med logaritmisk middeltemperatur, som i øvrigt anvist i DS 469.

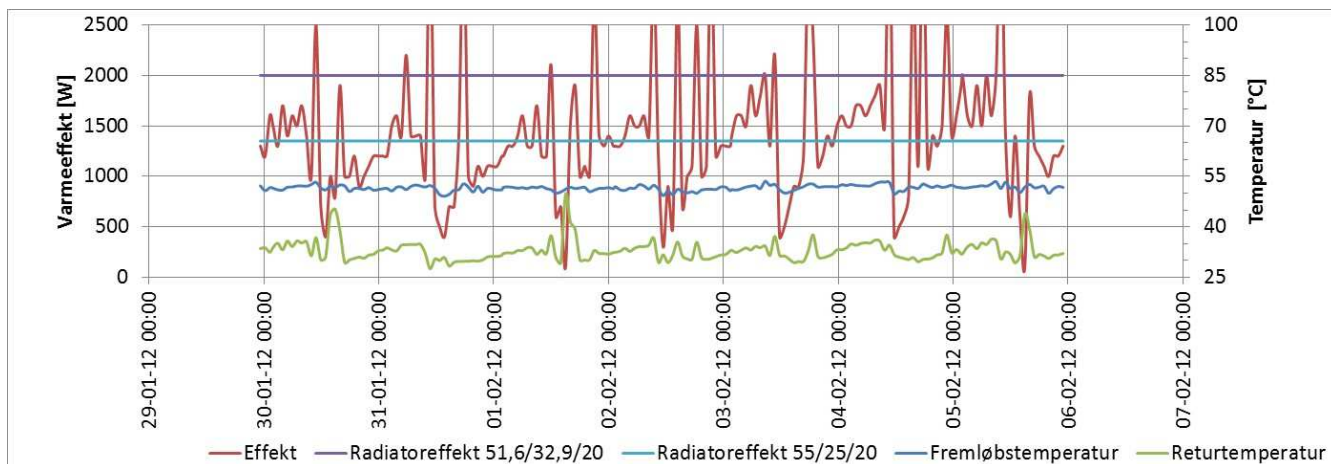
#### 4.2.4 Fremløbstemperaturstyring

De 11 fjernvarmebeholderunits er alle udstyret med fremløbstemperaturstyring af typen Danfoss ECL 300. Hældningen på varmekurven er valgt til 1,0 uden parallelforskydning og med en udkoblingstemperatur for varmen på 20 °C, se figur 12. Det fremgår, at en udetemperatur på -10 °C svarer til en fremløbstemperatur på 55 °C. I figur 13 ses effekttrækket for en bolig af C1-typen med fjernvarmebeholderunit i uge 5 2012, hvor den gennemsnitlige udetemperatur var -5,2 °C (se også figur 10) og hvor fjernvarmefremløbstemperaturen i gennemsnit var 51,6 °C. Varmekurven vil ved -5 °C svare til en fremløbstemperatur på 50 °C, så under disse forhold må forventes at fjernvarmefremlevandet løber ublandet til radiatoranlægget. Under de givne temperaturforhold kan radiatorerne yde ca. 2000 W – denne radiatoreffekt er lagt ind i figur 13 som et filter sådan, at når der er effektspidser over linjen, så er det fordi, at fjernvarmebehol-

deren lades. Den gennemsnitlige fjernvarme returtemperatur er 32,9 °C, men som det fremgår stiger den i korte perioder i forbindelse med beholderladning helt op til ca. 45 °C, så returtemperaturen fra radiatoranlægget er lavere; her vurderet til ca. 1 °C lavere svarende til en returtemperatur på ca. 32 °C. Den høje returtemperatur kan i det givne tilfælde dog ikke tilskrives fremløbstemperaturstyringen, men må formodes at være et resultat af den generelle følsomhed, der også refereredes til i afsnit 4.2.3.



Figur 12 - Standard varmekurver for Danfoss ECL 300 styring



Figur 13 - Driftsdata for bolig type C1 med FVB-unit

I en rapport fra SBI /6/ er varmebesparelsen ved fremløbstemperaturstyring beregnet til 3,9 kWh/m<sup>2</sup> for et lavenergihus Klasse 1 med et 2-strengs radiatoranlæg med designtemperaturer 50/35/20 °C. Det er forhold, som er meget lig dem i Lærkehaven i Lystrup. For en C1-bolig svarer det til en energibesparelse på 335 kWh/år og for en C2-bolig 425 kWh/år. Til gengæld er der ved fremløbstemperaturstyring et elforbrug til pumpen i blandekredsen, som typisk er i størrelsesordenen 50-100 kWh/år og som ikke er der for den traditionelle GVV-unit som også anvendes i Lystrup. Der er generelt tale om små størrelser, der imidlertid i lavenergibyggeri

har en relativ stor betydning. Da fremløbstemperaturstyringerne i projektet udelukkende har været monteret på fjernvarmebeholderunits (FVB), som i forvejen har et større, ikke præcist opgjort, varmetab end GVV-units har det ikke været muligt at udlede konklusioner om besparelserne ved fremløbstemperaturstyring.

Generelt er der i projektet gjort en del erfaringer omkring varmetabene fra installationers betydning for forbruget i lavenergiboliger. Sideløbende er der kommet regler i DS 469, som foreskriver fremløbstemperaturstyring af små varmeanlæg (< 300 m<sup>2</sup>). På den baggrund er der i en enkelt bolig i 2013 demonstreret den lavtemperaturfjernvarmeunit, som bl.a. er resultatet af nærværende projekt, se figur 14.



*Figur 14 - Fjernvarmeunit fra Redan type LES fuldisoleret og med fremløbstemperaturstyring. Underliggende installationer ikke isoleret pga. igangværende demonstration med ekstra målere.*

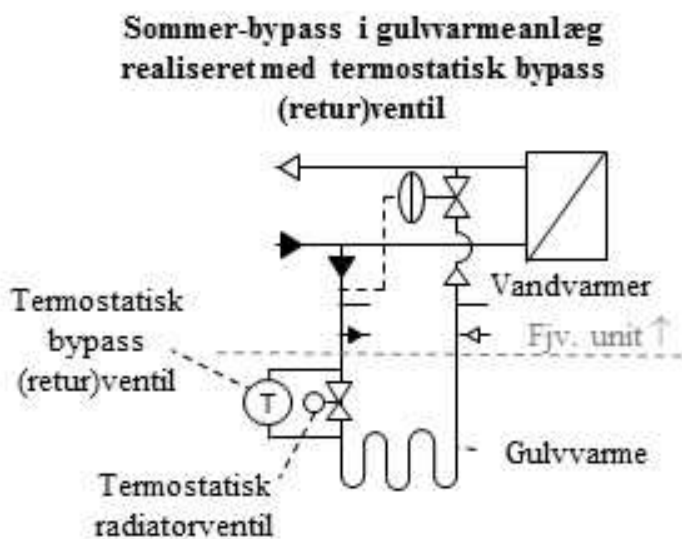
Fjernvarmeuniten har fremløbstemperaturstyring, hvor varmekurven er indstillet med en hældning på 0,9 og en udkoblingstemperatur for varmen på 18°C. Ideelt set for bebyggelsen kunne udkoblingstemperaturen være ca. 13 °C, men målingerne har vist, at der er store variationer mellem boligerne samt forskellige rumtemperaturbehov. For en boligforening med mange individuelle anlæg er det hensigtsmæssigt for varmemesteren, at alle er indstillet ens – det udelukker dog ikke, at der kan eksperimenteres med lavere udkoblingstemperaturer fremadrettet.

#### 4.2.5 Sommerbypass i gulvvarmeanlæg

Selvom indbyggede bypass i fjernvarmeunits med gennemstrømningsvandvarmere kan holde en lav gennemsnitlig returtemperatur er det af komfortsyn vanskelig at indstille bypass-termostatens sætpunkt meget lavere end 35°C. I forbindelse med projektet har DTU-Byg kigget på en ny måde at lave bypass på, som anvender gulvvarmesystemet i badeværelser som bypass om sommeren – konceptet er beskrevet i artiklen /4/. Idéen er skitseret i figur 14. I stedet for at have det traditionelle bypass med en returventil (FJVR) placeret før vandvarmeren i fjernvarmeunitten, så flyttes FJVR-ventilen ned på fremløbet til badeværelsets gulvvarmekreds. FJVR-ventilen indstilles på 35 °C, sådan at ventilen åbner, hvis fremløbstemperaturen kommer under den indstillede temperatur. Når ventilen åbner løber fjernvarmevandet igennem gulvvarmeslangen og afkøles væsentligt mere end med det traditionelle bypass. Systemet er udelukkende tænkt til at reducere returtemperaturen om sommeren og for anlæg, hvor badeværelsesgulvet normalt kun opvarmes i fyringssæsonen (som det er tilfældet i de fleste boliger i Lystrup). I fyringssæsonen skal gulvvarmeanlægget styres af en almindelig rumføler og termostatventil i badeværelset (som vist på figur 14) eller med en FJVR-ventil på returen fra gulvvarmekredsen, som er den måde gulvvarmen reguleres på i Lystrup.

Der er lavet en simulering for fjernvarmesystemet og de 40 boliger i Lystrup med det nye sommer-bypass i badeværelsernes gulvvarmeanlæg. Sammenlignet med det traditionelle bypass i fjernvarmeunitten kan resultaterne kort opsummeres:

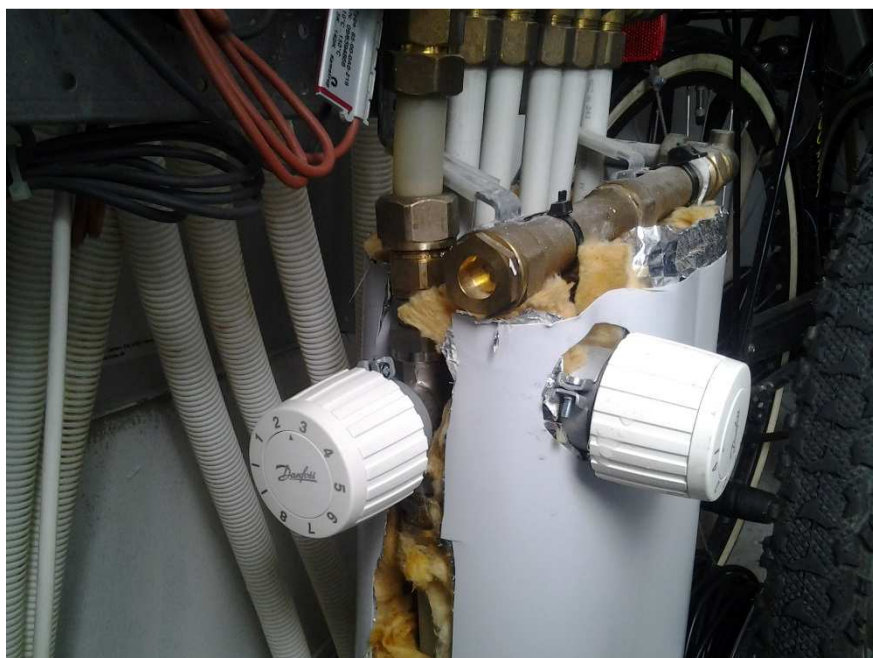
- Overfladetemperaturen på badeværelsesgulvet hæves mellem 0,6 og 2,2 °C
- Den operative temperatur i badeværelserne hæves mellem 0,3 og 1,0 °C, hvilket medvirker til at reducere den relative fugtighed i badeværelset
- Returtemperaturen sænkes til mellem 23,2 og 25,6 °C afhængigt af boligens placering i fjernvarmenettet. I gennemsnit betyder det en reduktion af returtemperaturen i sommerperioden på 3,9 °C for hele området med de 40 boliger
- Det medfører en reduktion af ledningstab på 13 %
- Det sparede ledningstab svarer til 40 % af det fjernvarmeforbrug, der er ved at operere med sommer-bypass i gulvvarmeanlæg, så artiklen foreslår, at forbrugeren kun skal betale de 60% af udgifterne.
- Følges dette forslag vil udgiften ved at have sommer-bypass i gulvvarmeanlægget være 60-220 kr. afhængigt af placering af boligen i fjernvarmenettet – der foreslås en ensartet pris for alle forbrugere.



Figur 15 Principskitse af koncept for sommer-bypass i gulvarmeanlæg

Konceptet med sommer-bypass i gulvarmeanlæg om sommeren forventes at være mest fordelagtigt i traditionelle bygninger, hvor den mængde vand, der cirkuleres i bypasset vil være større.

I Lystrup er der udført forsøg på 2 installationer, som har bidraget til udvikling og demonstration af konceptet, se forsøgsopstilling figur 15. Forsøgene har bekræftet konceptet.



Figur 16 Opstilling til realisering af sommerbypass med FJVR-ventil placeret på både fremløb og retur til gulvarmekredsen. Isolering brudt op på grund af demonstration.

## 4.3 Brugeradfærd

### 4.3.1 Fjernvarmeforbrug

Boligforeningen Ringårdens 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.

I tabel 4 ses det faktiske fjernvarmeforbrug og standardafvigelsen for hhv. C1- og C2-boligerne for 2 kalenderår, 2011 og 2012. Der er ikke lavet nogen form for graddagekorrektion af data. Fjernvarmeforbruget er målt på målere i de enkelte boliger og indeholder således både forbrug til rumopvarmning og varmt brugsvand samt tab fra brugerinstallationerne. Tallene indeholder ikke varmetabet fra det lokale fjernvarmenet, som fordelt ud på de enkelte boliger, udgør ca. 1,2-1,3 MWh pr. bolig. I tabel 5 er fjernvarmeforbruget angivet pr. kvadratmeter boligareal.

Uge	C1 (21 boliger)	C1 (21 boliger)	C2 (19 boliger)	C2 (19 boliger)
	Middel MWh	Std. afvg. MWh	Middel MWh	Std. afvg. MWh
1-52, 2011	5,19	1,30	5,93	0,91
1-52, 2012	5,26	1,25	6,53	1,11

Tabel 4 - Middel fjernvarmeforbrug og spredning for de 2 boligtyper C1 og C2.

For bolig C1 ses en middelværdi omkring 60 kWh/m<sup>2</sup> med en spredning på 24-25 %. For C2-boligerne er kvadratmeterforbruget generelt lidt lavere og spredningen er på 15-19 %.

Uge	C1 (21 boliger) Middel kWh/m <sup>2</sup>	C1 (21 boliger) Std. afvg. kWh/m <sup>2</sup>	C2 (19 boliger) Middel kWh/m <sup>2</sup>	C2 (19 boliger) Std. afvg. kWh/m <sup>2</sup>	Alle 40 boliger Middel kWh/m <sup>2</sup>	Alle 40 boliger Std. afvg. kWh/m <sup>2</sup>
1-52, 2011	60,3	15,1	54,4	8,3	57,5	12,7
1-52, 2012	61,2	14,5	59,9	10,2	60,6	12,7

Tabel 5 - Middel fjernvarmeforbrug og spredning pr. kvadratmeter boligareal for de 2 boligtyper C1 og C2.

Set i lyset af den afhængighed, som varmeforbruget i lavenergibyggeri har af rumtemperaturen – typisk i størrelsesordenen 20 % pr. grad højere/lavere rumtemperatur /2/ - er spredningen ikke overraskende. En række andre forhold kan desuden have indflydelse på spredningen i fjernvarmeforbruget:

- enkelte boliger har gulvarme på i badeværelset om sommeren
- der er forskel på tomgangstabet fra de to typer fjernvarmeunits anvendt
- spredningen på brugsvandsforbruget indgår også i spredningen for fjernvarmeforbruget

Derudover kan der være yderligere forhold som kan have en nok mindre indvirkning på spredningen fx orientering af rækkehusene i forhold til solindfald, varmetransmission mellem lejlighederne samt endebeligheden. Det har ikke været muligt og heller ikke formålet i projektet at tage stilling til middelforbruget i huset, herunder analyse af klimaskærm og andre installationer.

#### 4.3.2 Brugsvandsforbrug

I 22 af de 40 boliger har der været installeret en energimåler til det varme brugsvand. I tabel 6 ses for det varme brugsvand målt gennemsnitligt nettoenergiforbrug og brugsvandstemperatur samt det samlede fjernvarmeforbrug for årene 2011 og 2012.

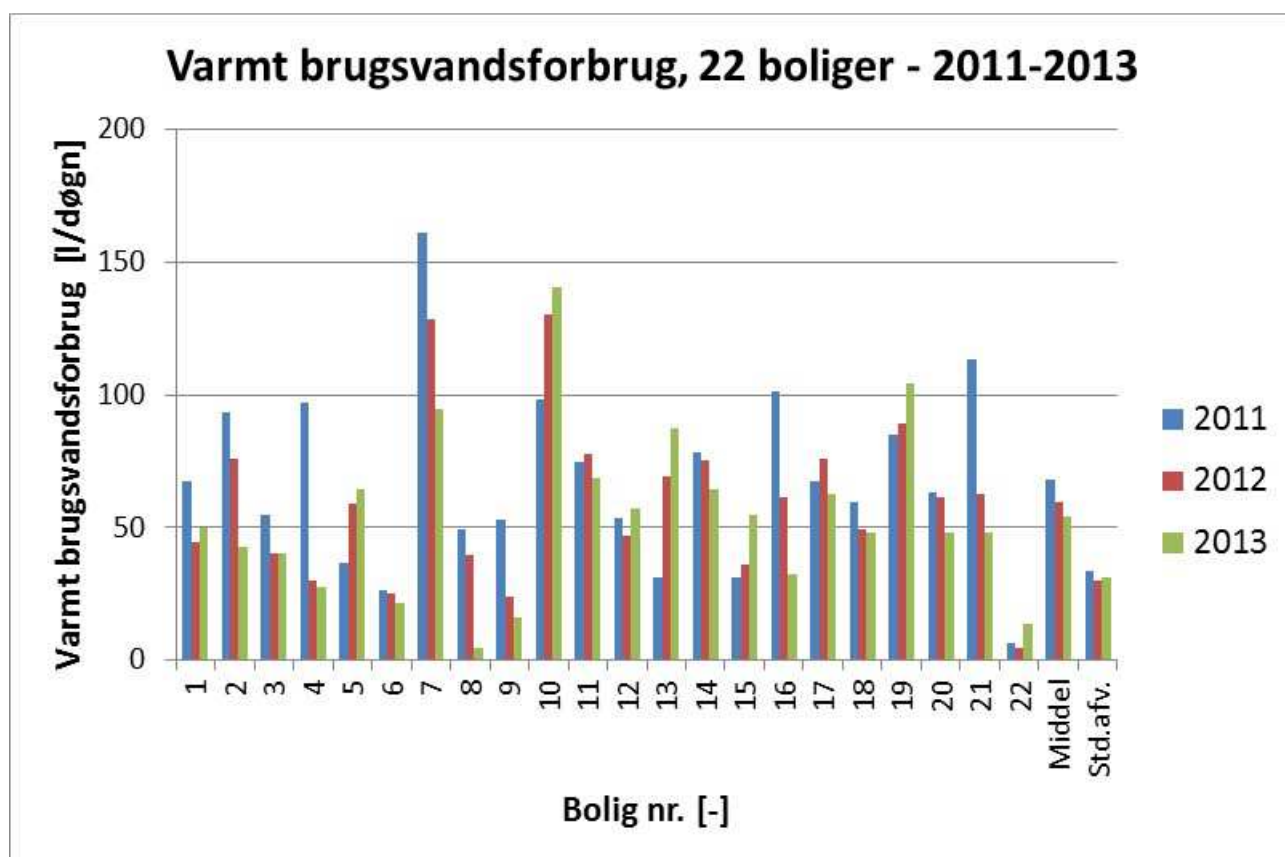
Uge	Fjernvarme		Varmt brugsvand, nettoforbrug		Varmt brugsvand, temperatur	
	22 boliger Middel kWh/m <sup>2</sup>	22 boliger Std. afvg. kWh/m <sup>2</sup>	22 boliger Middel kWh/m <sup>2</sup>	22 boliger Std. afvg. kWh/m <sup>2</sup>	22 boliger Middel °C	22 boliger Std. afvg. °C
1-52, 2011	58,4	14,0	8,8	4,5	42,1	1,9
1-52, 2012	60,0	12,3	7,4	4,0	42,0	2,0

Tabel 6 - Målt fjernvarmeforbrug sammenholdt med målt varmt brugsvandsforbrug og -temperatur for 22 boliger – middelværdier og spredning pr. kvadratmeter boligareal.

Spredningen på nettoenergiforbruget til varmt brugsvand ligger i størrelsen 52-53 %. Den målte gennemsnitlige varme brugsvandstemperatur er 42 °C for de 22 boliger med en spredning på 2 °C. Det generelle temperaturniveau er bl.a. et udtryk for fordelingen mellem korte og lange tapninger. Ved lange tapninger vil brugsvandstemperaturen nå sætpunkttemperatu-

ren (højere end 42 °C) - ved korte tapninger vil brugsvandstemperaturen blive lavere (lavere end 42 °C).

Målingerne på det varme brugsvand er foretaget med en energimåler, der er indstillet, så den integrerer for hver liter vand, der løber igennem. Temperaturføleren til det varme brugsvand er placeret i vandstrømmen i måleren, hvorimod føleren til den kolde temperatur på grund af begrænset plads i de respektive fjernvarmeunits måtte placeres uden på rør (med god kontakt og isoleret). Det betyder, at den faktiske koldt vandstemperatur kan have været et par grader lavere end den målte. På baggrund af de registrerede flow, se figur 17, er nettoforbruget til varmt brugsvand genberegnet med en temperaturredifferens på 32 K, se tabel 7. Det resulterer i et 12-14% større nettoforbrug end målt.



Figur 17 - varmt brugsvandsforbrug i liter pr. døgn for 22 boliger for årene 2011, 2012 og 2013 inkl. middelværdi og standardafvigelse.



Uge	Varmt brugsvand, nettoforbrug, korrigeret til temp. diff. 32K	
	22 boliger Middel kWh/m <sup>2</sup>	22 boliger Std. afvg. kWh/m <sup>2</sup>
1-52, 2011	9,8	5,1
1-52, 2012	8,5	4,4

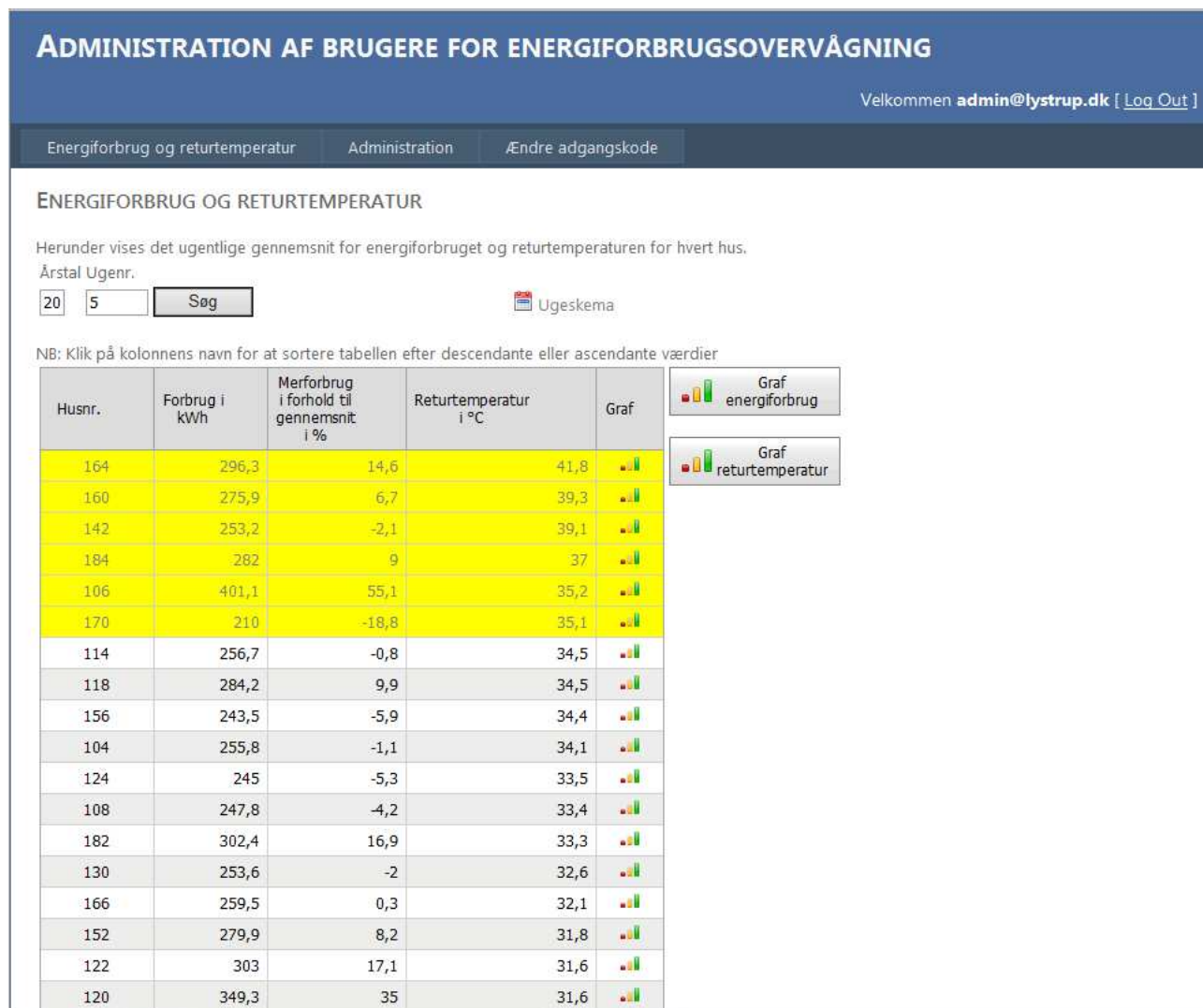
Tabel 7 - Korrigeret varmt brugsvandsforbrug for 22 boliger – middelværdier og spredning pr. kvadratmeter boligareal ved temperaturdifferens 32 K.

### 4.3.3 Energistyring

Som det fremgår af afsnit 4.3.1 og 4.3.2 er der en relativ lille spredning, i størrelsesordenen 15-25 %, på det samlede fjernvarmeforbrug. Der er derimod en stor spredning på returtemperaturen som det fremgår af afsnit 4.2.1 og 4.2.2. Med henblik på at undersøge brugeradfærd og de forskellige installationers drift, er der udviklet et brugerinterface til energidata, som varmemesteren kan bruge. Forbrugerne har i princippet også adgang til data, men der blev valgt en model, hvor det er varmemesteren der fulgte op på højt forbrug og returtemperatur ved at kontakte de relevante forbrugere.

I brugerinterfacet bliver forbrug og returtemperatur opgivet pr. uge, og det er muligt at indlægge alarmer for høj returtemperatur. I figur 18 og 19 ses hhv. login-side og samlet oversigtsbillede for boligerne. På oversigtsbilledet er indlagt en alarm for returtemperaturer over 35°C – 6 boliger er markeret på billedet, som følge af for høj returtemperatur.

Figur 18 - Login-side til brugerinterfacet.



Figur 19 - Oversigtsbillede fra brugerinterface.

Med hjælp fra brugerinterfacet har varmemesteren fundet og vejledt lejerne i anvendelse af varme anlægget samt indreguleret og serviceret fjernvarmeunits, hvor muligt.

## 5 Referencer

- /1/ CO<sub>2</sub>-reductions in low energy buildings and communities by implementation of low temperature district heating systems. Demonstration cases in Boligforeningen Ringgården and EnergyFlexHouse Lystrup, Rapport, EUDP 2008-II, 2011
- /2/ Udvikling og demonstration af lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri, Rapport, EFP 2007, 2009
- /3/ Results and experiences from a 2-year study with measurements on a new low-temperature district heating system for low-energy buildings, artikel, C.H.Christiansen et. al., 13<sup>th</sup> Symposium on District heating and cooling, København, 2012.
- /4/ Energy-efficient and cost-effective in-house substations bypass for Improving thermal and DHW (domestic hot water) comfort in bathrooms in low-energy buildings supplied by low-temperature district heating, Artikel, Energy, Marek Brand\*, Alessandro Dalla Rosa, Svend Svendsen, 2014
- /5/ Dimensionering af radiatorer til lavtemperatursystemer, Otto Paulsen & Filip Rosenberg, Artikel, HVAC-Bladet nr. 1, 2012
- /6/ Automatisk fremløbstemperaturstyring til varmeinstallationer, Rapport, SBI 2012:11, Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, 2012