Delrapport 2

Energistyrelsen - EUDP 2008-II

DEMONSTRATION AF LAVENERGIFJERNVARME TIL LAVENERGIBYGGERI I BOLIGFORENINGEN RINGGÅRDENS AFD. 34 I LYSTRUP

Maj 2011



TEKNOLOGISK INSTITUT

LOGSTOR

DTU Civil Engineering
Department of Civil Engineering

COWI

Danfoss

ENERGITJENESTEN



Kamstrup
- metering solutions

Boligforeningen Ringgården



AFFALDVARME ÅRHUS



Høje Taastrup Fjernvarme A.m.b.A

Forord

Projektet "*CO_2-reductions in low energy buildings and communities by implementation of low temperature district heating systems. Demonstration cases in EnergyFlexHouse and Boligforeningen Ringgården"* er støttet af Energistyrelsen gennem energiforskningsprogrammet EUDP 2008-II og gennemført af følgende projektkonsortium med Energitjenesten som projektleder og Teknologisk Institut som taskleder på delopgave 1 og 2:

Energitjenesten:	Jacob Worm
Boligforeningen Ringgården:	Holger Jørgensen
Danfoss A/S:	Jan Eric Thorsen & Jan Bennetsen
LOGSTOR A/S:	Christian Ting Larsen
Kamstrup A/S:	Ole Juhl & Søren Lang
Ribe Jernindustri A/S:	Filip Rosenberg
COWI A/S:	Peter Kaarup Olsen & Henning Lambertsen
DTU-BYG:	Svend Svendsen & Marek Brand
Høje Taastrup Fjernvarme A.m.b.a.:	Rudi Bjerregård
Affaldvarme Århus:	Mette Rude
Teknologisk Institut:	Christian H. Christiansen, Lars Hansen & Sandie B. Nielsen

Denne rapport er en sammenfatning af resultaterne for projektets delopgave 2: *Demonstration af lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri i Boligforeningen Ringgårdens afd. 34 i Lystrup* ved Århus.

Projektkonsortiet vil benytte lejligheden til at takke Boligforeningen Ringgården for at give mulighed for at demonstrere konceptet for lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri og for det gode samarbejde ved implementeringen. I den forbindelse også en stor tak til Henrik Pedersen og Helle Villumsen, som har hjulpet med det praktiske i afd. 34 i demonstrationsperioden.

En speciel tak til Ph.D. studerende Marek Brand, BYG-DTU, der har bidraget til detaljerede analyser af de forskellige fjernvarmeunits.

Maj 2011, Teknologisk Institut, Christian Holm Christiansen, Taskleder

Summary

The project has completed the first demonstration of a new concept for energy efficient district heating (DH) for low energy buildings where the supplied district heating temperature delivered at the consumer is down to 50 ° C. The concept is developed in a previous energy research project, supported by the Danish Energy Agency and involves new types of DH building substations and DH twin pipes in very small dimensions. Demonstration area is Dept. 34 of the housing association Boligforeningen Ringgården near Aarhus in Denmark, which consists of 7 row houses with in total 40 dwellings, low-energy building, class 1 according to the Danish building code and built 2009-2010. The dwellings have a built area 87-110 m2, and are inhabited by mostly older people without children or families with small children. The purpose of the demonstration was to show that the concept works in practice and to further develop and refine the technology behind the concept. To fulfill that, measuring equipment was installed and a large measurement program was conducted during weeks 26-47, 2010 focusing on 1) consumption and operation temperatures, 2) simultaneity and simultaneity factors and 3) heat loss from district heating network and electricity consumption of network booster pump. DH consumption of the individual consumer is measured and combined with measurements of temperature in individual homes, it is confirmed that it is reasonable to assume a room temperature of at least 22 ° C in the calculation of heating demand. Based on an energy signature the annual consumption per dwelling was estimated to approx. 5.8 MWh for a reference year, corresponding to a measured heat density of 0.3 MWh/m network line and 14 kWh/m^2 field. The results also show that it is possible to supply customers with temperature just above 50°C, with a DH supply temperature to the area of approx. 56 °C. Detailed measurements show that the domestic hot water can be produced at temperature of just 3 °C below the primary supply temperature, e.g. 47 °C at a DH supply temperature of 50 °C. In the measuring period is achieved average domestic hot water temperature of 40-45 °C. The simultaneity factors of 2 types of DH building substations, district heating tank unit (FVB) with reservoirs at primary side and unit with instantaneous water heater (GVV) is analyzed. Curves were drafted for the simultaneity factor up to 10 users. Factor, e (1), corresponding to the heat power of one consumer is determined to 4.7 kW of FVB-units and 24.3 kW for GVV-units. Factor e (1) for GVV is lower than previous work and the 32.3 kW, normally sized for. This result must also be seen in relation to housing type and inhabitants. The analysis points towards that dimensioning district heating systems need a much better basis for simultaneity factors and that in future a far greater consideration must be given to housing types and installations for the establishment of optimal systems. The measured heat loss for the entire network is very low, but in line with expected heat loss calculated in the design phase. Estimated heat losses in this low temperature network are approx. 50,000 kWh / year. Had the same network been laid out with a traditional design with single pipes and a temperature set of 80/40 ° C, the corresponding calculated heat loss would be approx. 200,000 kWh. This means that heat loss compared to a conventional network is reduced to approx. ¼. On the other hand, this gives a smaller increase in electricity consumption for booster pumping estimated at approx. 2,600 kWh per year. Heat loss is annually around. 1.2 MWh per dwelling corresponding to approx. 17% of the energy supplied to the area. Overall, the demonstration showed that concept works, also confirmed by the fact that there were no complaints from residents about the lack of heat or hot water. A new project granted under the Danish research program, EUDP 2010-II, will bring the concept one step further

and expand the dissemination potential significantly. In this context continuing measurements will take place in Dept. 34 of Boligforeningen Ringgården.

Resumé

I projektet er gennemført den første demonstration af et nyt koncept til lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri, hvor den leverede fjernvarmetemperatur til forbrugerne er helt ned til 50°C. Konceptet er udviklet i et tidligere energiforskningsprojekt under EFP-2007-programmet og indebærer bl.a. nye typer fjernvarmeunits og twinrør i meget små dimensioner. Demonstrationsområdet er Boligforeningen Ringgårdens afd. 34 i Lystrup ved Århus, som består af en rækkehusbebyggelse med 40 boliger og et fælleshus, lavenergi-byggeri klasse 1, fordelt på 7 blokke og opført i perioden 2009-2010. Boligerne har et areal på ca. 87-110 m^2 og er beboet af fortrinsvis ældre uden børn eller familier med små børn. Formålet med demonstrationen har været at vise at konceptet virker i praksis og at videre-udvikle og finpudse teknologien bag konceptet. Til det formål er der installeret måleudstyr og gennemført et stort måleprogram i perioden uge 26-47, 2010 med fokus på 1) forbrug og anlægstemperaturer, 2) samtidighed og samtidighedsfaktorer og 3) varmetab fra fjernvarme-nettet samt elforbrug fra fælles boosterpumpe. Fjernvarmeforbruget hos den enkelte forbruger er målt og kombineret med målinger af rumtemperaturen i enkelte boliger er det bekræftet, at det er rimeligt at antage en rumtemperatur på mindst 22 °C ved beregning af varmebehov. På baggrund af en energisignatur er årligt fjernvarmeforbrug pr. bolig for et referenceår bestemt til ca. 5,8 MWh svarende til en målt varmetæthed baseret på ledningsstrækning og grundareal på hhv. 0,3 MWh/m og 14 kWh/m^2 for området. Resultaterne viser desuden, at det er muligt at levere en fremløbstemperatur på mindst de forudsatte 50°C hos forbrugeren med en fremløbstemperatur til området på ca. 56°C. Detaljerede målinger viser at der kan leveres varmt brugsvand ved en temperatur på 3°C under fjernvarmefremløbstemperaturen, dvs. 47 °C ved en fjernvarmefremløbstemperatur på 50°C. I måleperioden er der er opnået gennemsnitlige varmtvandstemperatur på mellem 40-45°C. Samtidigheden for 2 typer fjernvarmeunits, fjernvarmebeholderunit (FVB) med beholder på fjernvarmsiden (primær side) og unit med gennemstrømningsvandvarmer (GVV) er analyseret. Der er udarbejdet kurver for samtidighedsfaktoren op til 10 forbrugere. Faktorerne, e(1), svarende til den beregningsmæssige effekt, hvis der kun skal forsynes en forbruger, er bestemt til 4,7 kW for FVB-units og 24,3 kW for GVV-units. Punktet for e(1) for GVV ligger lavere end tidligere arbejde og de 32,3 kW, der normalt dimensioneres for, men dette skal også ses i forhold til boligtypen. Analyserne peger frem mod, at der til dimensionering af fjernvarmesystemer er brug for et meget bedre grundlag for samtidighed og at der i fremtiden i langt højere grad bør tages hensyn til boligtyper og installationer for at få etableret optimale systemer. Det målte varmetab for hele ledningsnettet er meget lavt, men på niveau med forventet varmetab beregnet i designfasen. Forventet ledningstab i dette lavtemperaturnet udgør ca. 50.000 kWh/år. Havde samme ledningsnet været udlagt med et traditionelt design med enkeltrør og et temperatur-sæt på 80/40°C ville det tilsvarende beregnede varmetab være ca. 200.000 kWh. Det vil sige at varmetabet i forhold til et traditionelt fjernvarmesystem reduceres til ca. ¼ med det udviklede koncept. På den anden side fås et mindre øget elforbrug til boosterpumpning estimeret til ca. 2.600 kWh om året. Varmetabet udgør på årsbasis ca. 1,2 MWh pr. bolig svarende til ca. 17% af den leverede energi til området. Generelt har demonstrationen vist at konceptet virker, bl.a. bekræftet ved, at der ingen klager har været fra beboerne over manglende varme eller varmt brugsvand. Et nyt projekt bevilget under EUDP 2010-II programmet skal bringe konceptet et trin videre og udvide udbredelsespotentialet markant. I den forbindelse fortsættes målingerne i afd. 34 i Lystrup.

Indholdsfortegnelse

Side

Summary **3**
Resumé **5**
1 Indledning **8**
1.1 Baggrund 8
1.2 Formål 9
1.3 Beskrivelse af opgaven 9
2 Bebyggelsen og fjernvarmesystemet **11**
2.1 Koordinering og planlægning 11
2.2 Bebyggelsen 11
2.2.1 Dimensionerende fjernvarmeeffekter 12
2.2.1 Varmeanlæg 13
2.3 Brugerinstallationen 14
2.4 Fjernvarmesystemet 18
2.4.1 Dimensionsberegninger 20
3 Måleudstyr og dataopsamling **27**
3.1 Måleudstyr 27
3.1.1 Måling af varmtvandsforbrug og brugsvandstemperaturer 27
3.1.2 Måling af fjernvarmeforbrug og fjernvarmetemperatur hos forbrugeren 27
3.1.3 Måling af samtidighed og varmetab fra ledningsnettet 27
3.1.4 Måling af samlet forbrug til ledningsnettet og elforbrug til boosterpumpe 27
3.1.5 Andre registreringer 28
3.2 Dataopsamling 28
3.3 Måleprogram 29
4 Forbrug og anlægstemperaturer **31**
4.1 Varmtvandsforbrug 31
4.2 Fjernvarmeforbrug 31
4.3 Anlægstemperaturer 34
4.3.1 Hovedmåler og bi-målere 34
4.3.2 Fjernvarmetemperaturer i de enkelte boliger 36
4.3.3 Brugsvandstemperaturer i de enkelte boliger 37
4.4 Detaljerede driftsforhold 38
4.4.1 Fjernvarmebeholderunit - FVB 38
4.4.2 DH substation with heat exchanger for domestic hot water - GVV 41
4.4.3 Dansk sammendrag af konklusioner og anbefalinger for GVV-units 52
4.5 Varmebehov og pumpeeffekt 53
5 Samtidighed **56**
5.1 Diskussion af metode 56
5.2 Metode 56
5.3 Samtidighedsfaktor for lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri baseret på målingerne i Lystrup 60
6 Ledningsnet **62**
6.1 Ledningstab 62
6.1.1 Fjernvarmebeholderunit 63
6.1.2 Unit med gennemstrømningsvandvarmer 64
6.1.3 Fjernvarmebeholderunit kontra unit med gennemstrømingsvandvarmer 65
6.2 Hydraulik 66
6.3 Årsberegning 67
7 Konklusion **69**
7.1 Demonstration af forbrug og anlægstemperaturer 69
7.2 Demonstration af samtidighed og analyse af samtidighedsfaktorer 70

7.3 Demonstration af ledningstab og elforbrug til boosterpumpe 70
7.4 Videreudvikling og nye anvendelser 71
8 Referencer 72
9 Appendiks 73

1 Indledning

1.1 Baggrund

Der er de senere år fremlagt flere forskellige forslag til, hvordan Danmark kan gøre sig fri af fossile brændsler bl.a. [1], [2]. Ens for dem er, at de inddrager en væsentlig reduktion af energiforbruget i bygninger og en fortsat udnyttelse af fjernvarme til opvarmning i stor udstrækning.

Ønsket om reduceret energiforbrug i bygninger afspejles også i Bygningsreglementet [3], [4], der har indført specielle krav til lavenergibyggeri og i 2010 skærpet det generelle krav til bygningers energiforbrug.

De meget lave energiforbrug i bygninger stiller fjernvarmen overfor en række udfordringer, hvor en af de væsentligste er varmetab i ledningsnettet, der i forhold til forbruget vil blive forholdsvist stort, hvis der ikke ændres radikalt på den måde ledningsnettet designes på. Denne udfordring vil være mest udtalt i områder med lav varmetæthed – typisk områder med enfamiliehuse eller tæt-lav bebyggelse

I EFP 2007-projektet "Lavenergifjernvarme til Lavenergibyggeri" [5] er der udviklet et nyt koncept til forsyning af lavenergibygninger med fjernvarme. Konceptet tager udgangspunkt i optimering af hele kæden startende med varmefordelingssystem, fjernvarmeunits, ledningsdesign, fjernvarmerør og drift. De væsentligste elementer i konceptet er:

- Forsyning af lavenergibyggeri, klasse 1/klasse 2015 jf. Bygningsreglementet.
- Forsyning af en mindre enklave/område af bygninger, hvor der kan opnås ensartede driftsforhold
- Nye typer fjernvarmeunits bl.a. fjernvarmebeholderunit, der kan udjævne belastningen i nettet og levere varmt brugsvand tæt på fremløbstemperaturen hos forbrugeren.
- Varmeanlæg udlagt for lav temperatur - gulvvarme og/eller radiatoranlæg udlagt til temperatursæt 55°C /25°C
- Lave fjernvarmetemperaturer med fremløbstemperaturer hos forbrugeren ned til 50 °C og returtemperaturer ned til 25°C.
- Boosterpumpe og blandekreds for enklave/område af bygninger for at opnå mindre ledningsdimensioner og fremløbstemperatur.
- Brug af twinrør i alle ledningsstørrelser - serie 2 eller bedre

I EFP-2007-projektet blev konceptet analyseret i forhold til et planlagt område med 92 enfamiliehuse i Ullerødbyen ved Hillerød. Analyserne viste at ledningstabet teoretisk kan reduceres til blot 12% i området og at det også samfundsøkonomisk er fornuftigt at forsyne lavenergibyggeri med fjernvarme. Til sammenligning fremgik det af analyserne at et traditionelt fjernvarmedesign ville have givet anledning til et teoretisk varmetab på 36% for det givne referenceområde. I projektet blev der udviklet og produceret prototyper for fjernvarmeunits og stikledninger. Fjernvarmeunitten har en beholder på primærsiden (fjernvarmesiden), der medvirker til at udjævne belastningen og stikledningen er et twinrør med medierør på 14 mm udvendig diameter og 10 mm indvendig diameter samt kapperør på 110 mm svarende til serie 2.

Der blev desuden udpeget 2 nye demonstrationsområder for konceptet, da udviklingen i Ullerødbyen kom til at gå langsommere end forventet. Det ene område er Teknologisk Instituts EnergyFlexHouse (se delrapport 1) og det andet er Boligforeningen Ringgårdens afd. 34 i Lystrup ved Århus, som denne rapport omhandler (delrapport 2).

1.2 Formål

Formålet med demonstrationen i Boligforeningen Ringgårdens afd. 34 i Lystrup ved Århus er at vise, at de lave varmetab fundet i EFP 2007-projektet "Lavenergifjernvarme til Lavenergibyggeri" kan opnås i praksis samt at videreudvikle og finpudse teknologien bag konceptet. Demonstrationsområdet er en rækkehusbebyggelse bestående af 40 boliger samt et fælleshus i et plan, lavenergibyggeri klasse 1, fordelt på 7 blokke.

Udover målinger af fjernvarmeunits og ledningsnettets effektivitet er det også formålet at undersøge forhold omkring samtidighedsfaktorer, da det nuværende grundlag, som stammer fra 1980'erne ikke længere er tilstrækkeligt som følge af:

1) Fjernvarmeunits og driftsforhold har ændret sig
2) Der er behov for mere præcise vurderinger af behov for kapacitet i forhold til fjernvarmeforbrug i lavenergibyggeri
3) Bedre måle- og analysemetoder er tilgængelige i dag

1.3 Beskrivelse af opgaven

Projektet har været inddelt i en række delopgaver, som beskrevet i det følgende

1. **Koordinering med bygherre og udførende**
   Koordinering, planlægning og implementering af konceptet i bebyggelsen i Lystrup inkl. løbende opfølgning og møder med bygherre og udførende.

2. **Konceptuelt layout og beskrivelse af bebyggelsen, varmeanlæg, brugerinstallationer og fjernvarmesystem**
   Udlægning og beskrivelse af fjernvarmesystem, varmeanlæg og brugerinstallationer efter det udviklede koncept i bebyggelsen i Lystrup. Produktion af prototyper af fjernvarmunits til installation. Til projektet er produceret 11 fjernvarmeunits af

fjernvarmebeholdertypen (FVB) og 30 af gennemstrømningstypen (GVV) og stikledningen produceret i EFP-2007-projektet er anvendt, hvor der var muligt (dvs. til boliger med FVB, hvortil effektbehovet var lavest).

3. **Opsætning af måleudstyr og dataopsamling**
   Valg af målepunkter og måleudstyr, installering af måleudstyr og etablering af et operationelt dataopsamlingssystem. Derudover løbende evaluering af anlæggets drift samt fejlfinding

4. **Demonstration af forbrug og anlægstemperaturer**
   Generel vurdering af varme- og brugsvandsforbrug i boligerne og sammenligning af de to typer fjernvarmeunits. Vurdering af driftstemperaturer og brugsvandstemperatur på brugerinstallationerne inkl. radiatoranlæggene.

5. **Demonstration af samtidighed og analyse af samtidighedsfaktorer**
   Forbrugsprofilerne for 11 huse med fjernvarmebeholderunit sammenlignes med 11 huse med gennemstrømningsvandvarmer. Samtidigheden analyseres og forslag til samtidighedsfaktorer udarbejdes.

6. **Demonstration af ledningstab og elforbrug til boosterpumpe i ledningsnet**
   Målt varmetab sammenlignes med beregnet varmetab. På baggrund af måledata beregnes forbrug, varmetab i ledningsnet og elforbrug til boosterpumpe for et referenceår.

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

2 Bebyggelsen og fjernvarmesystemet

2.1 Koordinering og planlægning

Demonstrationsområdet i Lystrup er fundet i samarbejde med Boligforeningen Ringgården. Området var langt hen ad vejen færdigprojekteret, da projektgruppen fik mulighed for at implementere konceptet for lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri. Det betød at en lang række forhold skulle ændres i det oprindelige projekt:

- Ledningsnettet til fjernvarme blev nydesignet med bl.a. twinrør og boosterpumpe ifølge konceptet. Det oprindelige projekt forudsatte enkeltrør.
- Der blev valgt nye prototyper af units i stedet for standardunits
- Radiatoranlægget blev udlagt til temperatursæt 55°C/25°C i stedet for 70°C/40°C
- Afregningsmålere i de enkelte lejligheder blev opgraderet og forbundet i et dataopsamlingsnetværk

En del ressourcer blev derfor indledningsvis lagt i at koordinere, planlægge og implementere konceptet i bebyggelsen.

Beboerne flyttede ind i bebyggelsen i perioden januar-april 2010.

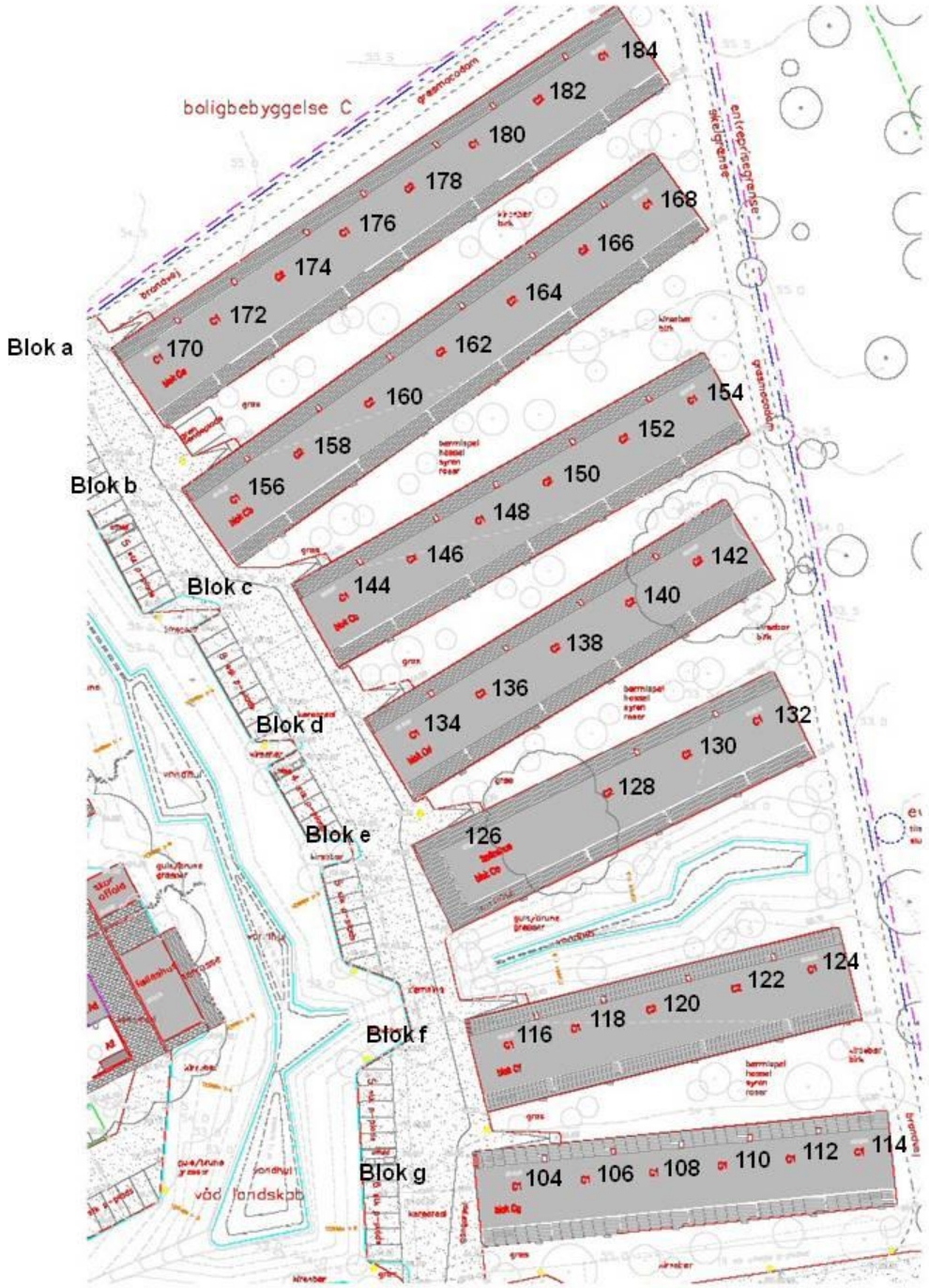
2.2 Bebyggelsen

Demonstrationsområdet har fået navnet afdeling 34, og er placeret ved siden af to andre nybebyggelser, afdeling 33 og 35. Afdeling 33 er tilsluttet fjernvarme, mens afdeling 35 har individuel varmeforsyning. Forsyningsledningen til afdeling 34 er derfor ikke forberedt til forsyning af afdeling 35.

Afdeling 34 består af syv blokke, der samlet har 40 boliger og ét fælleshus, se figur 1. Boligerne findes i to størrelser: C1 og C2. C1 har 2 værelser, køkken-alrum, badeværelse og teknikrum og er på ca. 87 m². C2 har et ekstra værelse og er på ca. 110 m². De samlede blokstørrelser er følgende:

Blok a = 771 m², 8 boliger (5 x C1 og 3 x C2)
Blok b = 727 m², 7 boliger (2 x C1 og 5 x C2)
Blok c = 594 m², 6 boliger (3 x C1 og 3 x C2)
Blok d = 528 m², 5 boliger (1 x C1 og 4 x C2)
Blok e = 479 m², 3 boliger (1 x C1 og 2 x C2) + fælleshus
Blok f = 484 m², 5 boliger (3 x C1 og 2 x C2)
Blok g =532 m², 6 boliger (6 x C1)

Hele boliggruppen er opført som lavenergibyggeri klasse 1 med undtagelse af fælleshuset, der bygges som lavenergibyggeri klasse 2. Grundarealet inkl. vej er på ca. 16.600 m^2.



Figur 1 Oversigt over bebyggelse med lavtemperaturfjervarme, Boligforeningen Ringgårdens afdeling 34 i Lystrup.

2.2.1 Dimensionerende fjernvarmeeffekter

Der er kun udført Be06-energirammeberegning for én af de syv blokke, og det er blok C f. Energiberegningen er udført af Trema Rådgivende Ingeniører, Århus, som del af den almindelige projektering. Fra energiberegningen haves et dimensionerende varmetab for den pågældende blok på 11,16 kW. På baggrund af antal boliger og arealstørrelser i

blokken er der estimeret et effektbehov til rumvarme for de to forskellige boligstørrelser. Til rumvarmebehovet tillægges ekstra effekt, idet Be06-beregningen tager udgangspunkt i, at indetemperaturen kun er 20 °C. Ofte har folk i dag 22 °C inde og 24 °C på badeværelset. Ved analyse i Be06-beregningen og sammenholdelse med data fra et andet lavenergiklasse 1 byggeri vurderes det, at det er rimeligt at antage en ekstra effekt på 0,2 kW til de pågældende boligstørrelser.

I de 11 boliger med fjernvarmebeholderunit er effektbehovet til rumvarme med til at være dimensionsgivende for fjernvarmen, se tabel 1. Dette skyldes, at effekten til brugsvandsopvarmning udjævnes over døgnet ved hjælp af beholderen.

Rumvarmeeffekt	2,2	2,6
Ekstra rumvarmeeffekt pga. højere indetemperatur	0,2	0,2
Brugsvand	0,5	0,5
Total (Dimensionerede effekt)	**2,9**	**3,3**

Tabel 1 Dimensionerende effekt pr bolig med fjernvarmebeholderunit - FVB:

Brugsvandseffekten i tabel 1 er beregnet ud fra, at 115 liter 45 °C varmt brugsvand skal kunne opvarmes på 12 timer, og at volumen på fjernvarmebeholder er ca. 100 liter.

Den dimensionerende effekt for brugsvand for fjernvarmebeholderunitten afhænger dels af beholdervolumen, dels af det forventede daglige forbrug. Ud fra disse parametre blev der i det forudgående EFP-projekt [5] fastlagt forskellige dimensionerende primærflow med udgangspunkt i et tappeprogram baseret på DS 439 og et varmtvandsforbrug på 368 liter 45 °C varmt brugsvand i døgnet. Ved et sådant forbrug er brugsvandseffekten i størrelsesordenen 3 kW for en beholder på ca. 100 liter. I afsnit 2.3 motiveres faktisk valg af beholderstørrelse og indstilling af primærflow yderligere.

For boliger med en gennemstrømningsvandvarmerunit (GVV) antages den dimensionerede effekt til 32 kW.

2.2.1 Varmeanlæg

Der er i alle boligerne installeret RIO panelradiatorer af typen PKII dimensioneret til temperatursæt 55°C/25°C. På grund af bygningernes lave varmebehov bliver radiatorerne ikke væsentligt større end i traditionelt byggeri, se figur 2.



Figur 2 Foto af radiator i køkken-alrum i lavenergibolig i Lystrup

I boligerne type C1 er der installeret 4 radiatorer, i bolig type C2 er der installeret 5 radiatorer, se Appendiks 2 for nærmere specificering af ydelser.

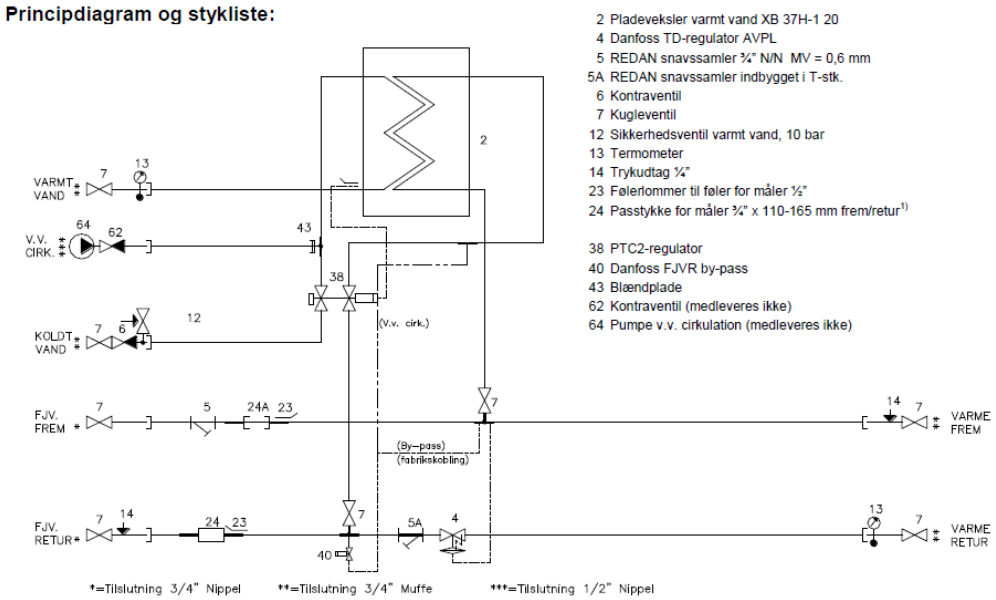
I badeværelset er der gulvvarme med returventil.

2.3 Brugerinstallationen

Der er installeret to typer lavtemperaturtilpassede brugerinstallationer, som primært adskiller sig ved brugsvandssystemet. Den ene type (Danfoss Redan Akva Lux TD-unit special) er baseret på det kendte gennemstrømningsvandvarmer princip (GVV), hvor veksleren er udviklet specielt til den lave temperaturdifferens og det højere flow på primærsiden, der fås ved lavtemperaturdrift med en fremløbstemperatur på ned til 50 °C.

Den anden type (Danfoss Redan Comfort LGM120L) er baseret på et beholderprincip, hvor det er fjernvarmevandet der er akkumuleret i beholderen, også benævnt fjernvarmebeholderunit (FVB). FVB'en er koblet til en veksler som opvarmer brugsvandet efter GVV princippet. Baggrunden herfor er de lave fjernvarmetemperaturer som systemet opereres ved, hvorfor en akkumulering af brugsvand i en traditionel varmtvandsbeholder (VVB) er fravalgt af hygiejniske årsager (risiko for legionellabakterier, hvis der i en længere periode ikke tappes varmt vand).

GVV unitten er skitseret på figur 3 og vist med et foto på figur 4.

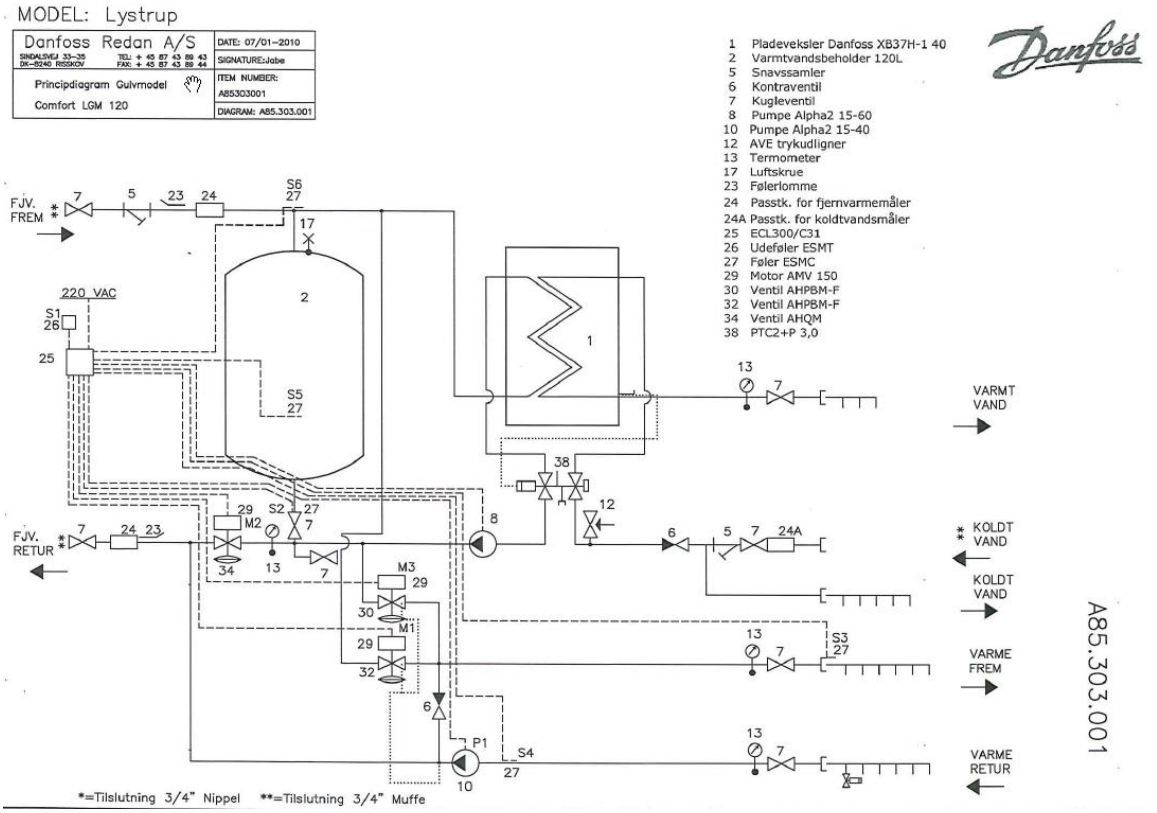


Figur 3 Principdiagram for GVV-unit

Specielt at fremhæve er veksleren, som har en længere termisk længde end normalt anvendt i GVV units. Det dimensionerende temperatursæt ved 32 kW er 50/20°C – 10/45°C, hvilket svarer til et primært flow på ca. 920 l/h. Brugsvandsregulatorventilen er en kombineret temperatur og trykstyret ventil, af "normalt lukket" typen. Dvs. veksleren holdes kold når der ikke tappes brugsvand. 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 Foto af den rå GVV-unit, hvor energimåler, isolering og kabinet endnu ikke er monteret.



Figur 5 Principdiagram for FVB-unit

Princip for FVB-unitten er skitseret på figur 5 og figur 6 viser et foto af prototypen. Formålet med FVB-unitprincippet er at reducere den hydrauliske belastning på fjernvarmenettet for derved at kunne reducere fjernvarmenettets dimensioner. Ved beholdervolumen på 120 liter skal den primære flowkapacitet være ca. 75 l/h for at tilgodese tappemønstret iht. DS439 for enfamiliehus uden karbad**.** Volumen på 120 liter er valgt ud fra et kompromis mellem unit størrelse og hydraulisk belastning af nettet. Med de nuværende tilgængelige mindste fjernvarme stikdimensioner er der stadig overkapacitet i stikledningerne, hvorfor der ud fra den betragtning kan vælges et mindre volumen på beholderen. På den anden side ønskes belastningen også udjævnet over døgnet, hvorfor der kan argumenteres for en større beholder. En unit med 120 liter beholdervolumen, hvor rør og automatik er indenfor kabinettet, forekommer her som grænsen for, hvad der med rimelighed stadig kan håndteres i praksis.

Et vigtigt forhold omkring beholderen, som er adresseret, er den stigende returtemperatur i den sidste del af beholderladningsperioden. Med henvisning til figur 5 fungerer det på følgende måde: En ventil (30) er indført, således at efterkøling af beholderreturvandet kan ske gennem varmekredsen, når temperaturforholdene tillader dette. Ventilerne (34-beholderladning), (32-varmekreds fremløbsstyring) og (30-beholder efterkøling) er med indbygget flowbegrænser, således at det på forhånd indstillede maksimale flow ikke kan overskrides. Dette gælder også ved varierende differenstryk fra netsiden. På varmesiden er maksimalflowet indstillet til 100 l/h, svarende til en maksimal dimensionerende effekt på 3 kW. I FVB unitten er anvendt en elektronisk regulator til beholderladestyringen samt til at operere varmekredsen vejrkompenseret.

Brugsvandsveksleren og regulatoren er identisk med den anvendt i GVV unitten. UA værdien for FVB unitten er ca. 4 W/C°. Dette er tidligere målt til 149 W = 5 W/°C ved dT=30°C. Forskellen kan forklares med forskellen i temperaturniveau for de enkelte komponenter af unitten. Her var valgt at varme alle dele op til 50 °C. I Lystrup og i drift er store dele af unitten koldere, hvilket forklarer forskellen.



Figur 6 Foto af prototype af FVB-unit. hvor kabinet ikke er lakeret og frontpladen er afmonteret

2.4 Fjernvarmesystemet

Afd. 34 forsynes med fjernvarme fra Lystrup Fjernvarme via en forsyningsledning og en hovedmåler, der er placeret i bebyggelsens fælleshus. Fra fælleshuset og frem til de 40 boliger er der udlagt et lokalt ledningsnet efter konceptet for lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri.

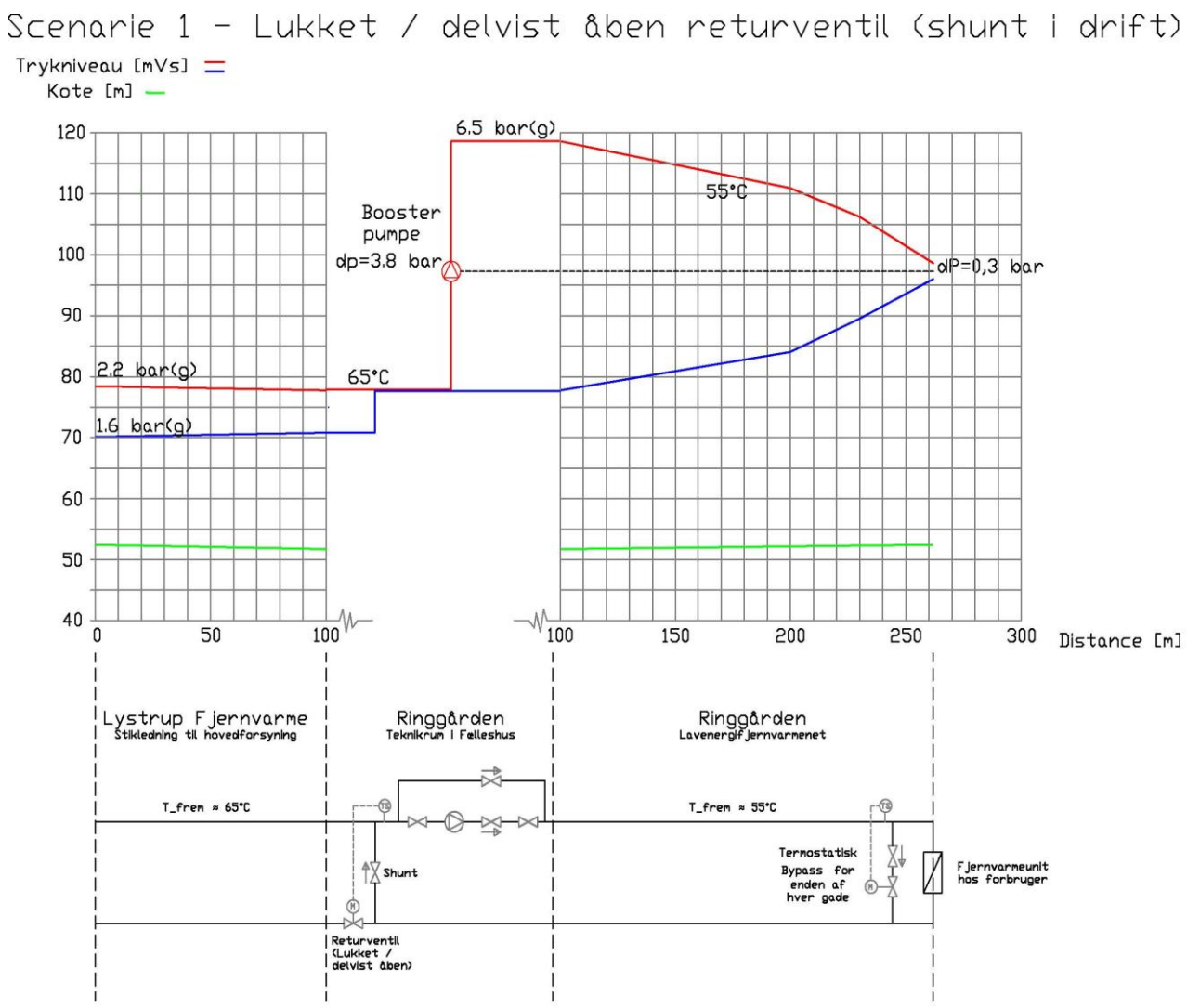
Systemkonceptet består overordnet i at reducere varmetabet i ledningsnettet ved hjælp af:

- Mindre ledningsdimensioner
- Lavere fjernvarmetemperaturer
- Twinrør frem for enkeltrør.

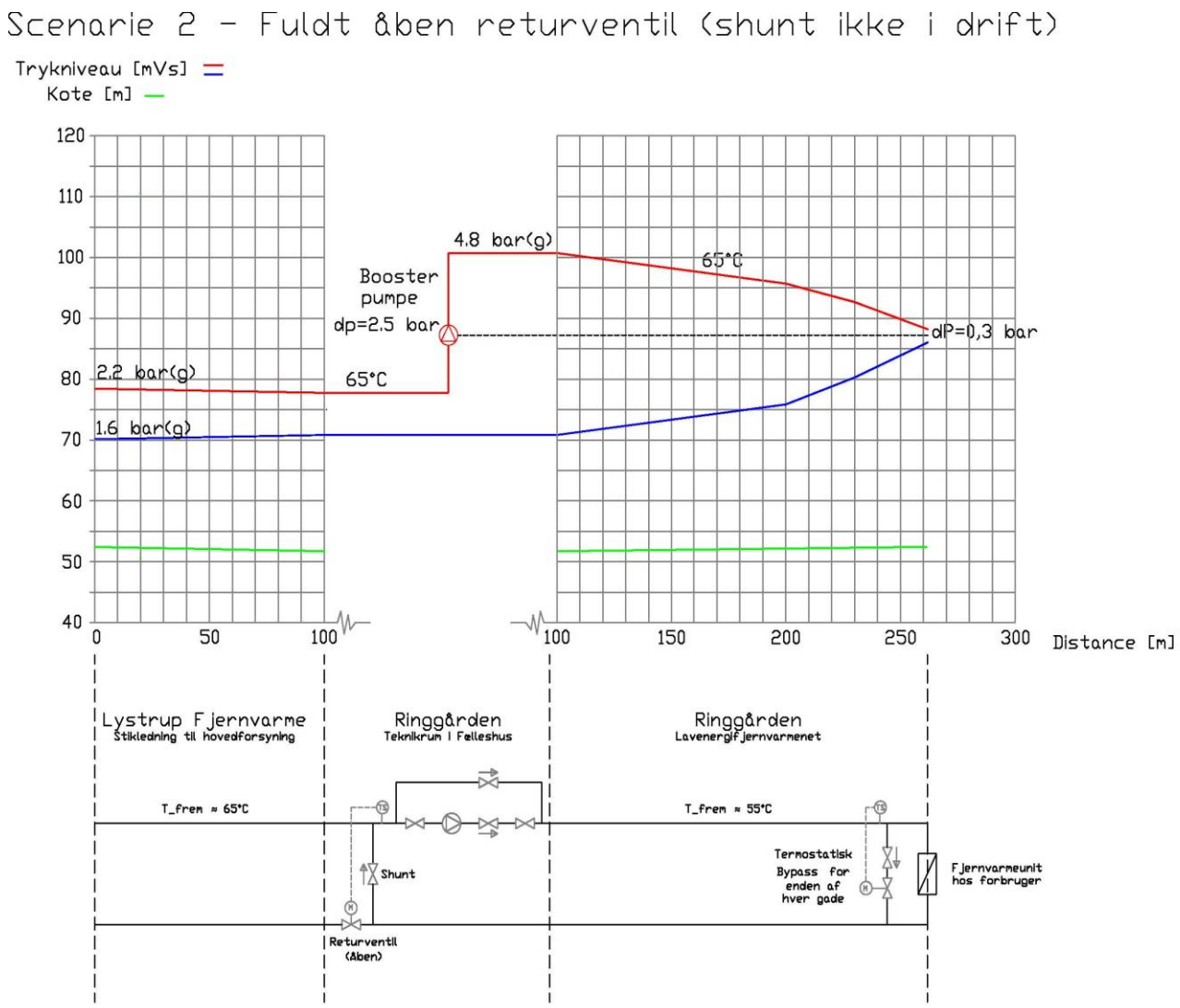
Mindre ledningsdimensioner opnås ved at anvende:

- FVB-units, som sikrer lavt kontinuerligt flow og dermed mindre ledninger i den yderste del af nettet.
- Boosterpumpe i fælleshus, som sikrer et højt differenstryk i området. Pumpen skal kunne styres efter kritisk differenstryk i nettet (jf. afsnit med ledningsdimensionering).

De lavere fjernvarmetemperaturer opnås ved, at der i fælleshuset placeres en blandesløjfe/shunt, der blander den leverede fjernvarmetemperatur ned. Blandesløjfen styres af en temperaturføler i fremløbsledningen. Temperaturføleren i fremløbsledningen styrer en ventil i returledningen. Når ventilen i returen lukker, vil returvandet blandes med fremløbsvandet i kraft af, at boosterpumpen i fremløbsledningen vil fungere som cirkulationspumpe. Det er vigtigt, at boosterpumpen placeres i fremløbsledningen. Konceptet er vist i et simplificeret flow- og P&I-diagram i figur 7 og 8 herunder:



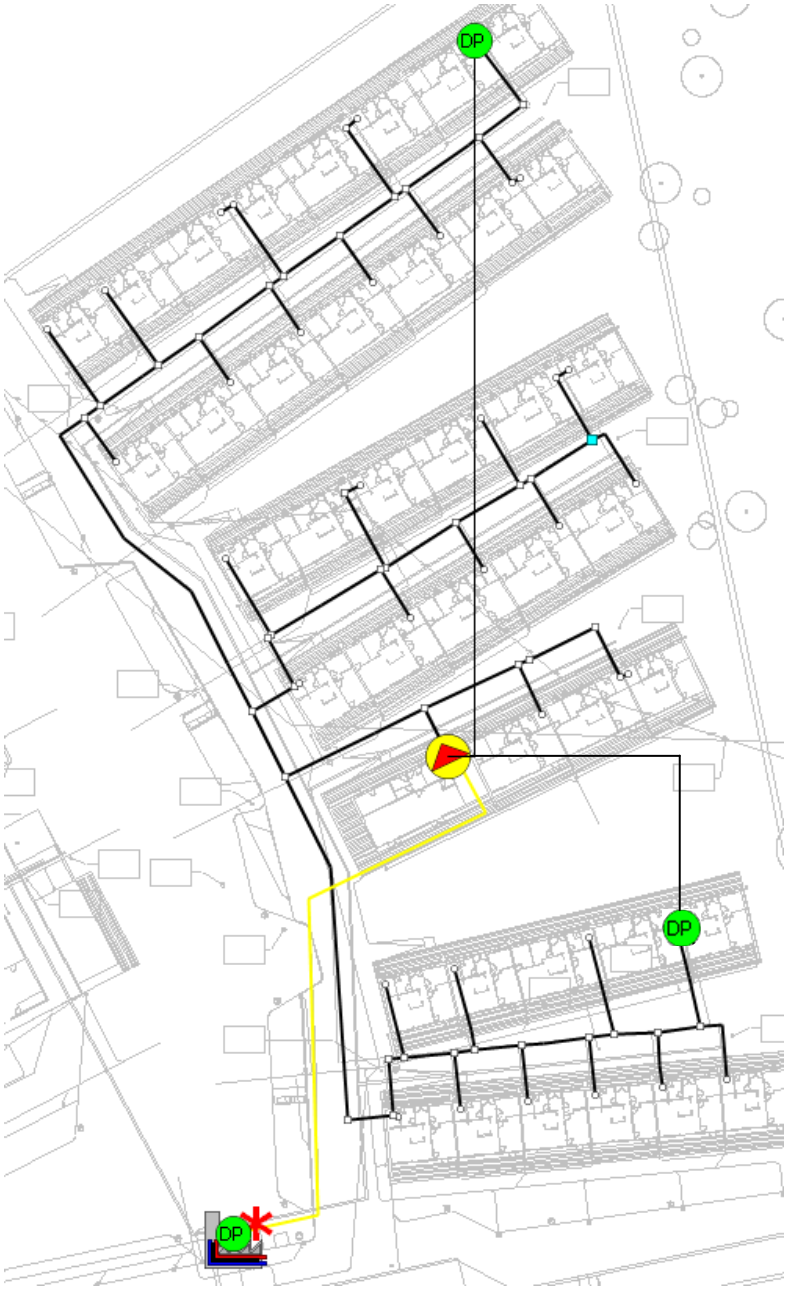
Figur 7 Simplificeret flow- og P&I-diagram for Ringgården (i en situation, hvor blandesløjfen er i drift, delvis åben/lukket returventil)



Figur 8 Simplificeret flow- og P&I-diagram for Ringgården (i en situation, hvor blandesløjfen ikke er i drift, fuldt åben returventil)

2.4.1 Dimensionsberegninger

Formålet er at dimensionere ledningsnettet efter ovenfor nævnte forudsætninger. Tracé for ledningsnet kan ses i figur 9 herunder.



Figur 9 Ledningsnet til lavenergifjernvarme i Ringgården (gule ledninger er forsyningsledning fra Lystrup fjernvarme).

Som det fremgår af figuren ovenfor, skal pumpen styres efter 2 forskellige differenstrykmålinger i nettet, hvor minimum differenstryk er 0,3 bar. Det er den optimale strategi, men i praksis er det valgt at styre efter 1 differenstryksmåler placeret ved den kritiske strækning for fjernvarmebeholderunits.

Metode
Ovenfor nævnte antagelser implementeres i en stationær hydraulisk model. Herefter dimensioneres ledningerne til det mindst mulige under forudsætning af, at trykniveau ikke overstiger 10 bar(g), og at hastighederne ikke overstiger 2,0 m/s.

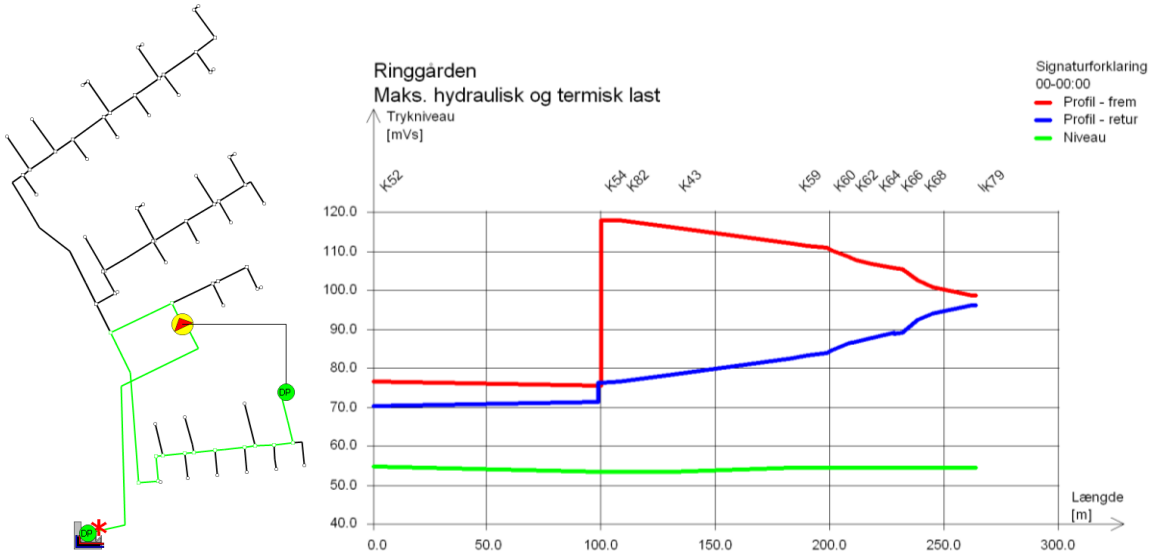
Et 10 bar(g) system trykprøves til 1,2 eller 1,5 gange designtryk afhængig af bestemmelser/krav i udbud. Dette betyder, at der er en sikkerhedsmargin indbygget i systemet ud over de 10 bar(g) på en faktor 1,2 eller 1,5. Desuden er der tale om en spidslastsituation, der meget sjældent opstår (-12 °C). Derfor designes ledningsnettet så småt, at der ved en maksimum hydraulisk belastning opnås et trykniveau marginalt under 10 bar(g).

Hos Ringgården har Lystrup fjernvarme oplyst, at der er et returtrykniveau på ca. 1,5 bar(g), hvilket giver et "spillerum" på 8,5 bar op til trykgrænsen på 10 bar(g). Det er yderst usædvanligt med et spillerum på 8,5 bar til ledningstab i et område med "kun" 41 forbrugere. Dette er kraftigt medvirkende til, at ledningsdimensioner og dermed tab kan formindskes i forhold til traditionelt fjernvarmedesign.

Ledningerne dimensioneres til det mindste uden at tage hensyn til de store krav til differenstryk, som dette kræver.

Systemet med fjernvarmebeholderunits og units med gennemstrømningsvandvarmer designes til at kunne køre med en fremløbstemperatur på 50 °C hos den kritiske forbruger. Systemet kan køre med den lave fremløbstemperatur hele året, hvilket betyder, at der er indbygget en "sikkerhedsfaktor" i temperaturen. Således kan fremløbstemperaturen hæves i tilfælde af problemer med varmeleverance. Den lave fremløbstemperatur betyder, at bypass vil køre mere end i et "traditionelt" fjernvarmesystem, også i varmesæsonen. Konsekvensen af at køre mere med bypass er dog beskeden i forhold til i et traditionelt system. Varmetabet vil samlet set stadig øges, men varmere returvand i en twinledning vil mindske varmetabet i fremledningen.

Resultater
Når nettet i en spidslastsituation minimeres mest muligt, ser trykprofil fra tilkobling ved Lystrup Fjernvarme til den kritiske forbruger (minimum differenstryk) således ud, se figur 10:



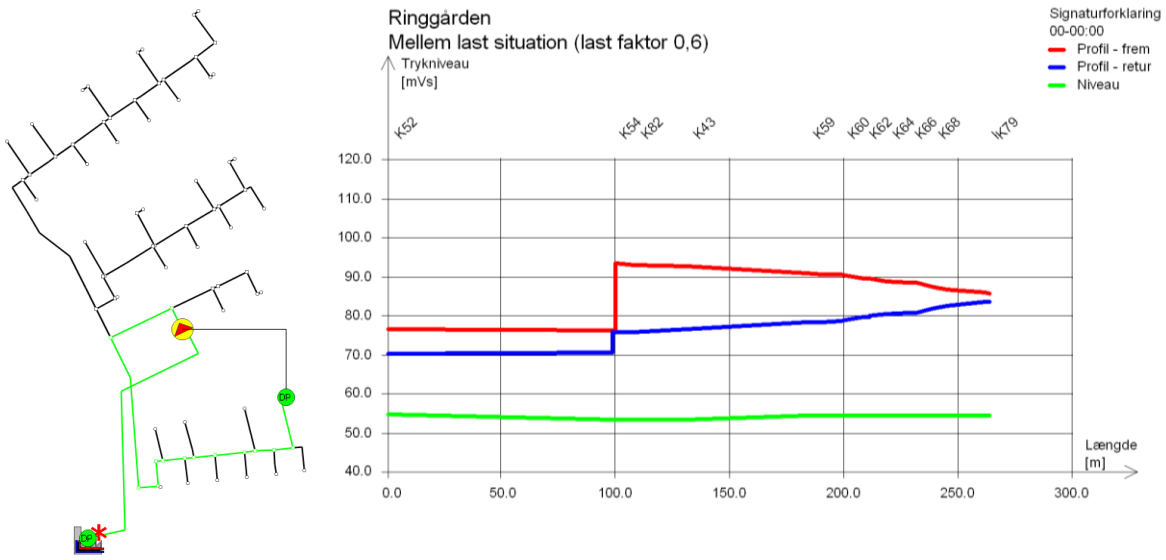
Figur 10 Kritisk rute i nettet og trykprofil fra tilkobling til fælleshus med pumpe og ud til kritiske forbruger (mindst differenstryk). Den grønne niveaulinie angiver kote.

Maksimum tryk i fremløb er på 6,4 bar(g) (116 mVs – kote; kote=52 mVs). Minimum tryk er på 1,9 bar(g), begge ved fælleshuset. Tryk i fremløb er 3,6 bar under designkriteriet på 10,0 bar(g), hvilket også giver en sikkerhedsmargin med hensyn til levering af tilstrækkelig mængde fjernvarme. Maksimum vandhastighed er 1,6 m/s.

Stikledningerne til fjernvarmebeholderunits er prototyperør produceret af LOGSTOR i forbindelse med det forudgående EFP 2007 projekt [5]. Rørtypen er et fleksiblet alupex twinrør med medierør af aluminium coated indvendigt med PEX og udvendigt med PE, hvilket sikrer 100% imod luft og vand-indtrængen i isoleringsmaterialet og generelt gør røret mere stabilt i forbindelse med monterings-/installationsarbejdet. Ligeledes er der en diffusionsspærre uden på isoleringslaget, der forhindrer cellegassen i PUR-skummet i at diffundere ud gennem den ydre rørkappe med forringelse af fjernvarmerørets isoleringsegenskaber over tid til følge. Rørdimensionen er Alx 14/14, med en indre diameter på 10 mm. På trods af denne lille dimension, er stikledningen ikke hårdt belastet, idet der kun haves en hastighed på 0,28 m/s. Stikledningen til 1 stk. unit med gennemstrømningsvandvarmer er en Alx 20/20 med en hastighed på 1,75 m/s, og stikledningen til 2 stk. unit med gennemstrømningsvandvarmer er en Alx 26/26 med en hastighed på 1,36 m/s.

Mellemlast drift

Belastningen for mellemlast situationen er antaget til 60 % af fuld last. Trykprofilet for en mellembelastning ser således ud:



Figur 11 Kritisk rute i nettet og tryk profil fra tilkobling til fælleshus med pumpe og ud til kritiske forbruger (mindst differenstryk). Den grønne niveaulinje angiver kote.

Maksimum tryk er 4,0 bar(g), og minimum tryk er 1,7 bar(g), begge ved fælleshus. Ledningsnettet vil langt det meste af året belastes langt under grænsen på de 10,0 bar(g).

Ledningsdimensioner

De hydrauliske resultater indikerer et sikkert og robust system, hvor flere sikkerhedsfaktorer er indregnet i tilfælde af problemer med varmeleverance. Ledningsdimensionerne kan ses i oversigtstabellen herunder, tabel 2:

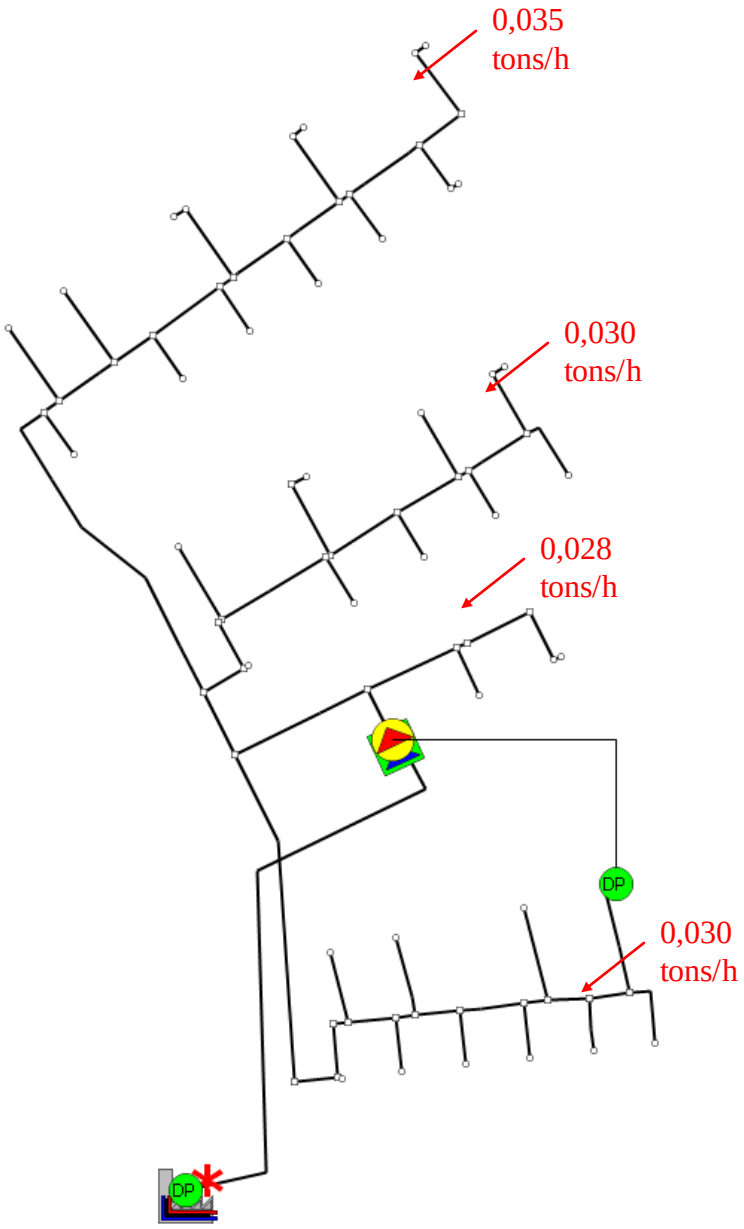
Ledningsdimensioner	[m tracé]
Alx 14/14-110 (16-16/110)	115
Alx 20/20-110	187
Alx 26/26-125	163
Alx 32/32-125	127
TWS-DN32 (42-42 /180)	89
TWS-DN40 (48-48/180)	34
TWS-DN50 (60-60/225)	8
I alt	723

Tabel 2 Ledningskatalog - Ringgården (ca. tracé længde) eksklusiv forsyningsledning fra Lystrup Fjernvarme

Alle ledninger er LOGSTOR twinrør, serie 2. For de mindste dimensioners vedkommende med alupex-medierør og diffusionsspærre ved kapperør.

Termostatiske omløb (bypass)

For at opretholde temperaturen på 50 °C hos forbrugerne skal der normalt placeres termostatisk styret omløb for enden af hver vej eller hos den sidste forbruger på hver streng. Omløbet vil hæve returtemperaturen, men dette er af begrænset betydning for varmetabet i twinrør, hvor højere returtemperatur vil øge varmetabet i returledning, men mindske varmetabet i fremløbsledningen. Samlet varmetab vil forøges som konsekvens af omløb, men i mindre grad end for enkeltrør. Figuren herunder, figur 12, viser kravet til omløb (forholdsvist stort) i minimum belastningssituationen.



Figur 12 Krav til bypassflow for at opretholde en temperatur på 50 °C i gadeledning i en sommersituation.

Det er hensigten at ovenfornævnte flow i omløb skal finde sted i den sidste unit på hver vej. Hvis dette ikke er muligt på grund af relativt høje flow i omløbene, skal der placeres et termostatisk omløb i det sidste teknikum på hver vej. Som udgangspunkt skal der opretholdes en temperatur på 50 °C, og dermed er flowkravet som nævnt i figuren ovenfor. I

praksis vil der dog anbefales forsøg med lavere temperaturkrav til standby / sommersituationer og dermed også lavere krav til flowomløb.

I projektet er der implementeret følgende praktiske løsning:

For GVV-units benyttes det indbyggede by-pass, hvor termostatventilen indstilles til følgende temperaturer:

- Alle boliger, bypass-ventil i position 2,5 svarende til: 35°C
- Sidste forbruger på streng, bypass-ventil i position 3 svarende til: 40°C

For FVB-units er der ikke etableret bypass. Heller ikke hos den sidste forbruger ud fra forudsætningen, at varmetabet fra beholderen er med til at holde systemet i gang i perioder uden forbrug.

Pumpe
Boosterpumpen skal sikre et højt differenstryk i området, og kravet til booster-pumpen er, at den skal kunne løfte fra 0 til 6 bar ved et flow på 1-15 m3/h. Dette er et stort løft til et lavt flow, og i samarbejde med Grundfos er der fundet en standardpumpe, hvortil der også skal installeres en frekvensstyring.

Der er installeret en Grundfos pumpe type CR-15-6-A-F-A-E, HQQE med frekvensomformer CUE 5,5 kW. Frekvensomformeren styres ved hjælp af en fast kablet trykdifferensmåler type DPI 0-1,0 bar placeret i blok f, lejlighed nummer 124.

3 Måleudstyr og dataopsamling

3.1 Måleudstyr

Måleudstyret i bebyggelsen skal give mulighed for at undersøge og dokumentere en række forskellige forhold, som defineret i opgavebeskrivelsen, afsnit 1.3:

- Forbrug og anlægstemperaturer
- Samtidighed
- Ledningstab
- Elforbrug til boosterpumpe

Til alle termiske forhold er anvendt Kamstrup Multical 601 energimåler, som giver mulighed for at udtrække alle væsentlige parametre. Måleren er blevet leveret i en specialudgave, der gør det muligt at registrere volumen med en opløsning på 1 liter. Lystrup Fjernvarme afregner forbrug med en hovedmåler af typen Kamstrup Multical 801. Til måling af elforbrug for Boosterpumpe er anvendt en Kamstrup 382 elmåler.

Forskellige forhold gør sig gældende omkring målere og føleres placering.

3.1.1 Måling af varmtvandsforbrug og brugsvandstemperaturer

Der er installeret energimålere på brugsvandssiden i 11 FVB-units og 11 GVV-units. Flowenheden er monteret på varmtvandssiden af vandvarmeren. På grund af den begrænsede plads i kabinetterne har det været nødvendigt at montere temperaturfølerne på ydersiden af hhv. koldtvands- og varmtvandsrør. Følerne er fikserede for at skabe god kontakt og er efterisoleret med en rørskål. Denne fremgangsmåde vurderes at give et rimeligt billede af temperaturniveauerne på brugsvandssiden, men vil underestimere energien til varmt vand en smule.

3.1.2 Måling af fjernvarmeforbrug og fjernvarmetemperatur hos forbrugeren

Der er installeret energimålere i alle 40 lejligheder samt i fælleshuset til fordeling af individuelt fjernvarmeforbrug. Det vil sige målerne måler totalforbruget til både rumvarme og varmt brugsvand inkl. varmetab fra installationer på forbrugerens side af måleren. Temperaturfølerne er placeret i dertil indrettede følerlommer.

3.1.3 Måling af samtidighed og varmetab fra ledningsnettet

En væsentlig del af projektets formål er at demonstrere lavt varmetab og analysere samtidighed for ledningsnet med de 2 unittyper, der indgår i projektet. For at kunne gøre det, er der installeret 2 ekstra energimålere (bimålere), der måler på 2 afgreninger af ledningsnettet med hhv. 11 FVB-units og 11 GVV-units.

3.1.4 Måling af samlet forbrug til ledningsnettet og elforbrug til boosterpumpe

Hovedmåleren til afregning med Lystrup Fjernvarme er placeret centralt i fælleshuset sammen med måleren til måling af elforbruget til boosterpumpen. Der er ikke installeret en selvstændig måler til fordelingsnettet, men den blandede fremløbstemperatur til bebyggelsen registreres.

3.1.5 Andre registreringer

I forhold til vurdering af designforudsætninger for varmebehov registreres ligeledes rumtemperaturen i køkken-alrum i 22 lejligheder og udetemperaturen på baggrund af DMI's vejrarkiver [7]. Rumføleren er en specialudgave af en Danfoss ESM-10 med Pt 500-føler tilsluttet energimålerens terminal T3 - se Appendiks 2.

3.2 Dataopsamling

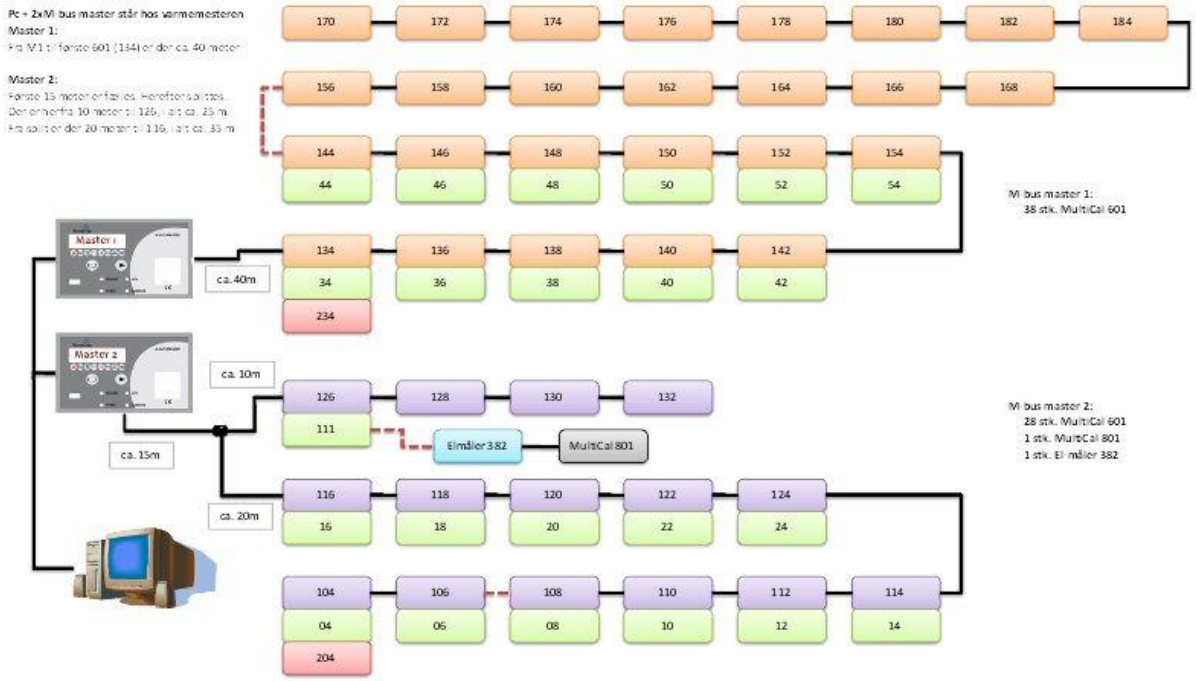
Alle energimålere er leveret med M-Bus moduler og bundet op på et M-Bus-netværk med 2 mastere. Data samles op via computer placeret i fælleshus og sendes til en central server hos Teknologisk Institut. Et oversigtbillede for dataopsamlingssystemet er vist på figur 13.

Fra hver energimåler opsamles følgende data:

- Flow, Q [l/h]
- Akkumuleret volumen, V [l]
- Energi [Wh]
- Fremløbstemperatur, T1 [°C]
- Returtemperatur, T2 [°C]
- Temperaturforskel, T1-T2 [°C]
- Termisk effekt, P [W]
- 'Energi frem', E8 (m3 x T1)
- 'Energi retur', E9 (m3 x T2)

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

Der er i alt tilsluttet 68 energimålere, som aftastes med 4 minutters tidsinterval.



Figur 13 Skitse af dataopsamlingssystemet med følgende farvekoder: orange/lilla=energimåler til forbrug, grøn=energimåler til varmt brugsvand, rød=energimåler til måling af afgrening med 11 units, lysblå=elmåler, grå=hovedmåler til afregning

3.3 Måleprogram

Måleforløbet har været relativt kort, da indflytning i bebyggelsen først fandt sted i perioden januar-april 2010. Det har dog været muligt at måle i så lang en periode, at det giver et godt indtryk af systemets drift. Måleforløbet har været delt ind i 2 perioder, som afspejler hhv. sommerdrift og drift i fyringssæson:

- Sommer: Uge 26-38 (28. juni til 26. september 2010)
- Fyringssæson: Uge 39-47 (27. september til 28. november 2010)

Fyringssæsonens start er bestemt ud fra en registrering af målt varmeforbrug i de enkelte lejligheder og starter den 27. september. Til sammenligning startede Teknologisk Instituts graddagetælling den 28. september 2010.

På ugebasis er der analyseret og beregnet følgende gennemsnitsværdier i de enkelte boliger (2x11) til videre behandling:

Fjernvarmeforbrug:

- Volumen, V_{fjv} [m3]
- Energi, E_{fjv} [MWh]
- Fremløbstemperatur, T_{frem} [°C]
- Returtemperatur, T_{retur} [°C]

Forbrug af varmt brugsvand:

- Volumen, V_{vv} [m3]
- Energi, E_{vv} [MWh]
- Varmtvandstemperatur, T_{varm} [°C]
- Koldvandstemperatur, T_{kold} [°C]

Forbrug til dækning af rumvarmebehov og varmetab fra installationer:

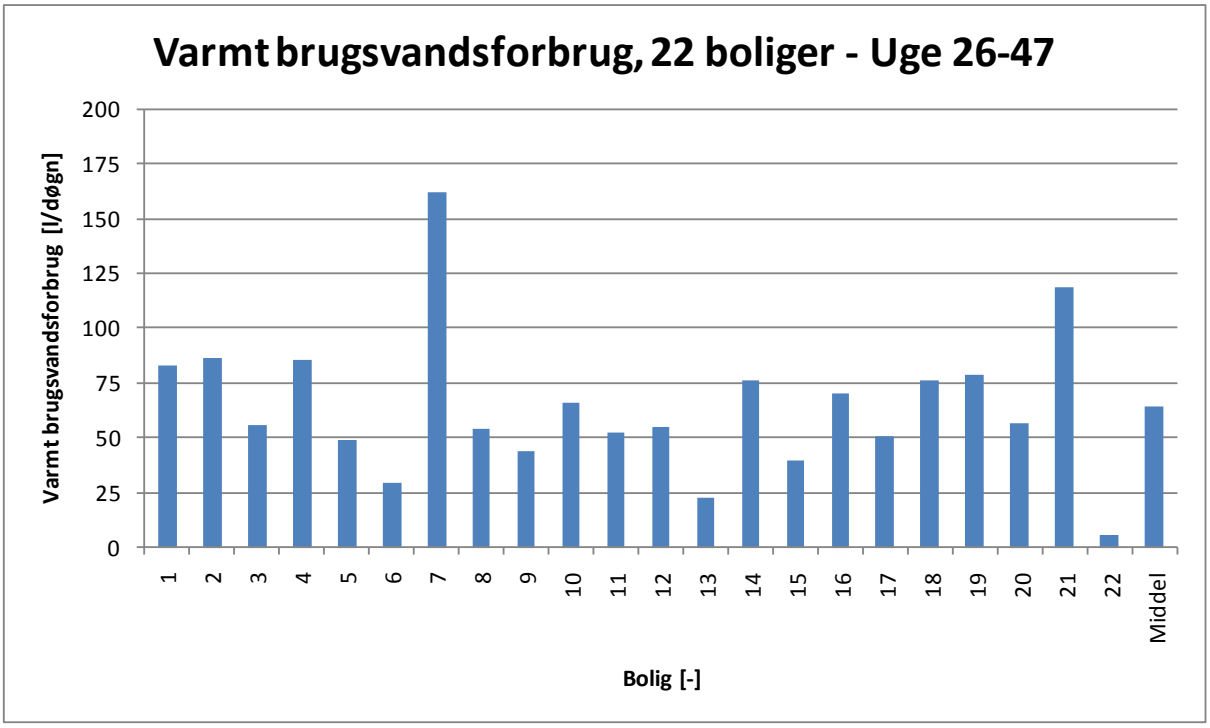
- Forskellen mellem energi til fjernvarme of energi til varmt brugsvand, ΔE [MWh]
- Varmeeffekt til dækning af rumvarmebehov og varmetab fra installationer, q [W]

Andre registreringer
Hovedmåler, elmåler og ekstra energimålere (bimålere) til måling på afgreninger samt rumtemperatur er ligeledes opgivet på ugebasis. Sidstnævnte registreres ikke i dataopsamlingssystemet, men udelukkende i den enkelte målers register, som derfor er aftastet manuelt ved måleperiodens afslutning.

4 Forbrug og anlægstemperaturer

4.1 Varmtvandsforbrug

Boligerne er beboet af fortrinsvis ældre uden børn eller med familier med små børn. På figur 14 ses forbruget af varmt brugsvand i boligerne i perioden uge 26-47.

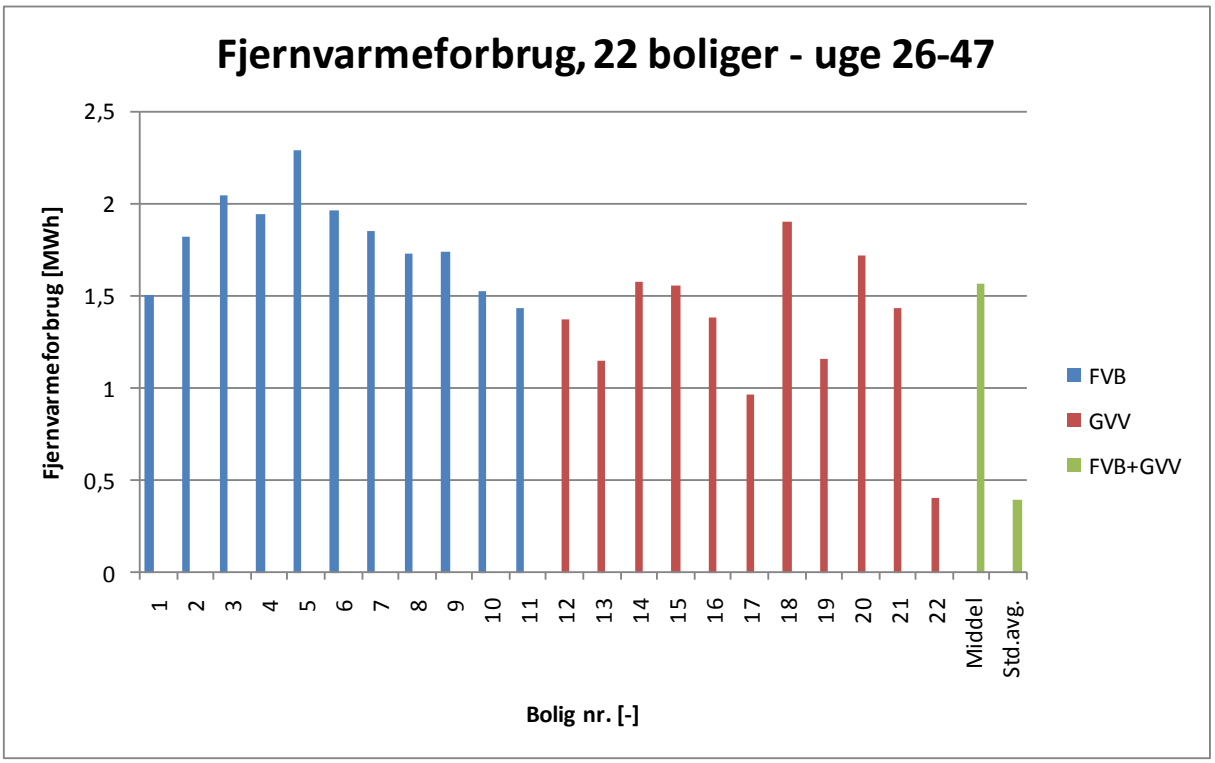


Figur 14 Gennemsnitligt varmt brugsvandsforbrug i perioden uge 26-47 pr. bolig og midlet.

Det gennemsnitlige forbrug til varmt brugsvand er målt til 65 liter pr. døgn pr. bolig for de 22 boliger i måleperioden. Det er et lavt varmtvandsforbrug, som dog skal ses i relation til beboernes antal og sammensætning. På baggrund af et estimat for antal beboere i boligerne vurderes det varme brugsvandsforbrug til ca. 28 liter/døgn pr. person. I den sammenhæng skal det bemærkes at den gennemsnitlige koldvandstemperatur har ligget på ca. 15 °C og den gennemsnitlige varme brugsvandstemperatur på omkring 40-45°C i perioden, altså en temperaturforskel mellem varmt og koldt vand på 25-30 K. Det lave forbrug understreges af, at anden litteratur vurderer et typisk varmtvandsforbrug til 30-40 liter/døgn pr. person ved en temperaturforskel mellem kold- og varmtvandstemperatur på ca. 40 K [8].

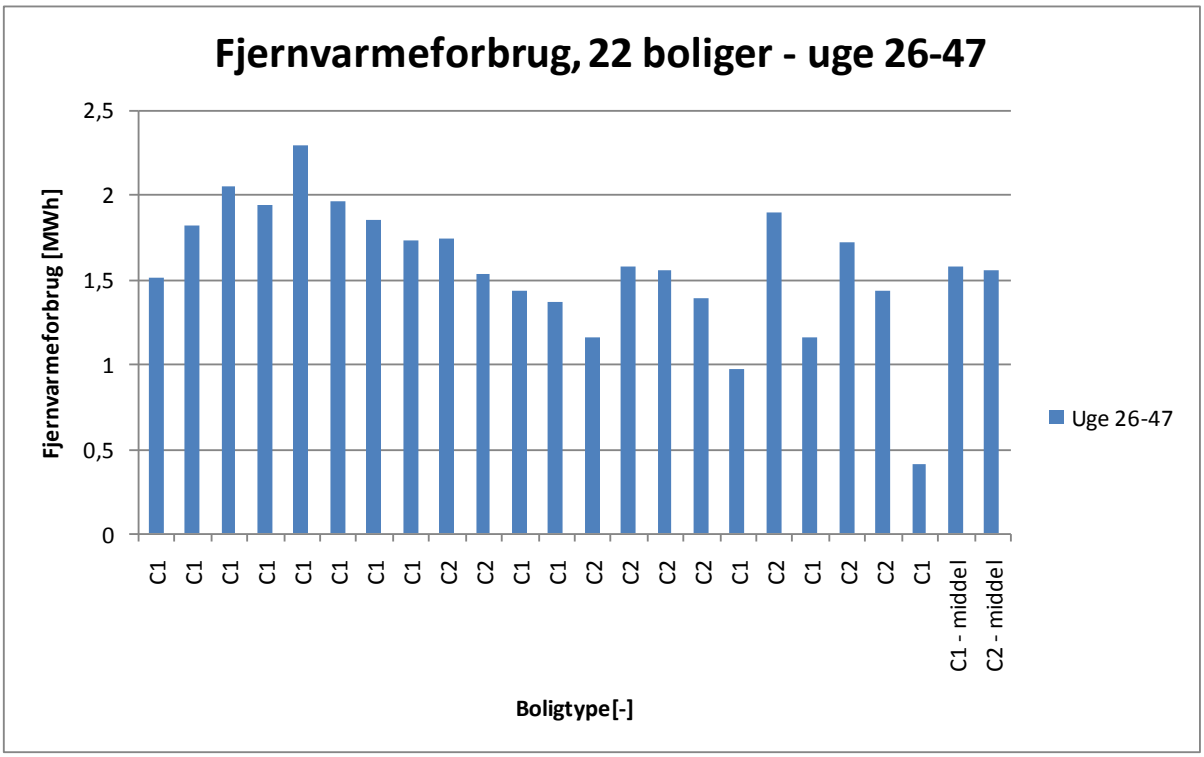
4.2 Fjernvarmeforbrug

Det fremgår af figur 15 at fjernvarmeforbruget for de enkelte boliger målt i ugerne 26-47 varierer noget. Der er en enkelt bolig med meget lavt forbrug, 0,4 MWh og en anden bolig med meget højt forbrug, 2,3 MWh. Middelværdien er 1,6 MWh med en standardafvigelse på 0,4 MWh målt i ugerne 26-47. Da målingerne af fjernvarmeforbruget kun dækker ca. 5 måneder og vintermånederne ikke indgår heri, forventes der et væsentligt højere forbrug på årsbasis. Et estimat af årsforbruget vil blive beregnet i afsnit 6.



Figur 15 Fjernvarmeforbrug i perioden uge 26-47 pr. bolig og midlet.

I bebyggelsen er der 2 forskellige boligtyper, type C1 på ca. 87 m² bruttoareal og type C2 på ca. 110 m² bruttoareal. På figur 16 ses fjernvarmeforbruget fordelt på de 2 boligtyper. Middelværdien af fjernvarmeforbruget til type C1 og C2 er bestemt til hhv. 1,58 MWh og 1,55 MWh – altså meget lille forskel. Det kan dog til en hvis grad forklares med, at der i C1-boligerne fortrinsvis er installeret fjernvarmebeholderunits (FVB), der har et højere varmetab end unitten med gennemstrømningsvandvarmer (GVV), men en række andre forhold kan også have indflydelse.



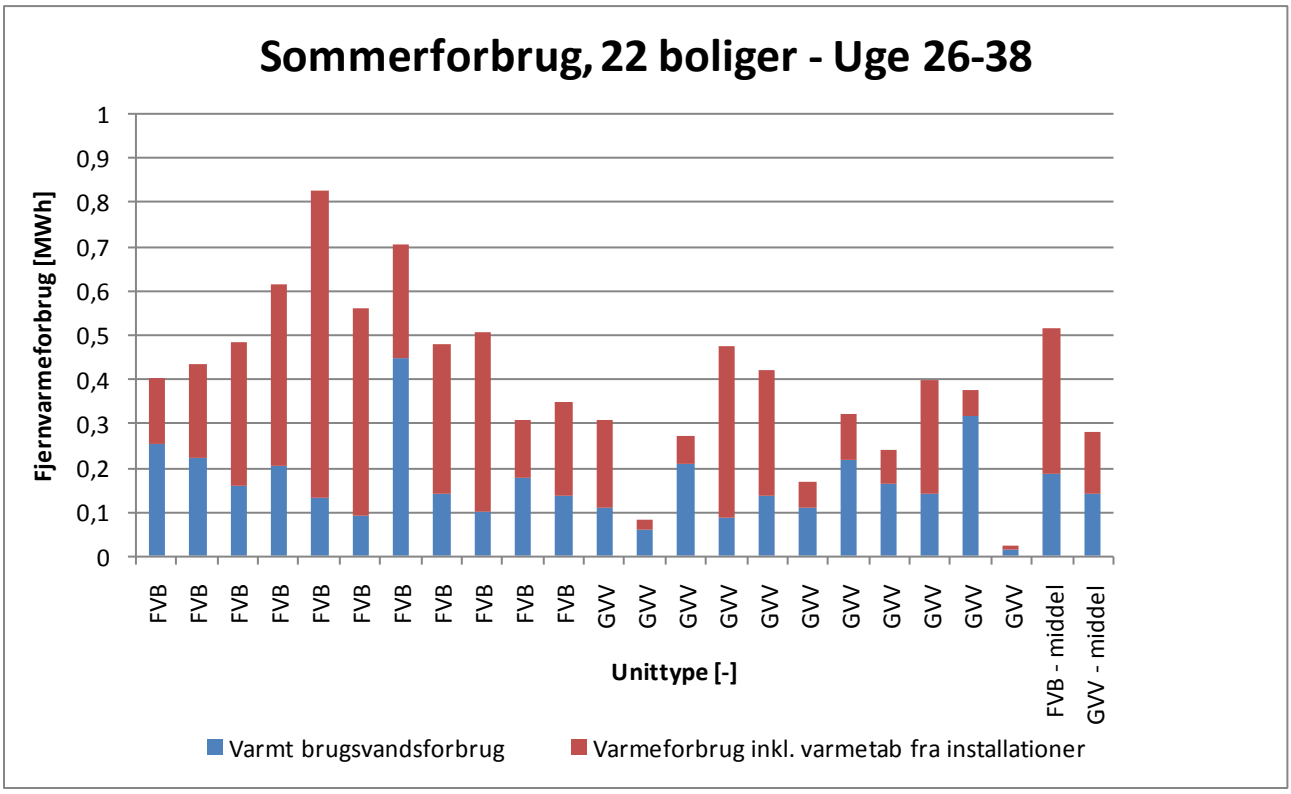
Figur 16 Fjernvarmeforbrug for uge 26-47 fordelt på boligtype pr, bolig og midlet. C1 har et areal på ca. 87 m^2 og C2 et areal på ca. 110 m^2

I alle boligerne er der gulvvarme på badeværelserne og radiatorer i de resterende rum. Gulvvarmesystemet er lavet med én kreds og returtermostat. Det er altså ikke muligt direkte at regulere rumtemperaturen i badeværelset. Et besøg i bebyggelsen først på sommeren 2010 viste, at nogle af gulvvarmeanlæggene var i drift.

En anden kilde til sommerforbrug har været fejl på enkelte af fjernvarmeunit-prototyperne, der har medført en meget lille afkøling og dermed et generelt forhøjet temperaturniveau og dermed forhøjet varmetab. Fejlene bliver løbende udbedret, men i udbedringsperioderne kan låger til kabinetter mv. have været fjernet og medført yderligere varmetab.

I figur 17 er sommerforbruget i ugerne 26-38 vist for de 22 boliger delt op på boliger med hhv. FVB-units og GVV-units. Figuren viser fjernvarmeforbrug dels til brugsvandsopvarmning, dels til rumvarme inkl. varmetab fra installationer. Summen af varme til brugsvandsopvarmning og til rumvarme inkl. installationer er lig fjernvarmeforbruget i perioden.

Det fremgår, at varmeforbruget inkl. installationer i størrelsesorden er på højde med eller større end forbruget til varmt brugsvand. For boligerne med GVV-units er varmeforbruget inkl. installationer generelt mindre.



Figur 17 Fjernvarmeforbrug i sommerperioden uge 26-38 fordel på FVB og GVV pr. bolig og midlet. Fjernvarmeforbruget er delt op på varmt brugsvand og varmeforbrug inkl. varmetab fra installationer.

Hvis der ses bort fra værdier, hvor der tydeligvis har været et varmeforbrug eller fejl på installationen, kan forbruget til tab fra installationer i sommerperioden uge 26-38 (2184 timer) estimeres til:

- FVB-units (baseret på målinger på 4 units):	0,178 MWh el. 81 W pr. unit
- GVV-units (baseret på målinger på 5 units):	0,057 MWh el. 26 W pr. unit

I varmetab pr. uge svarer det til hhv. 13,7 kWh/unit for FVB og 4,4 kWh/unit for GVV.

4.3 Anlægstemperaturer

Forudsætningen for et lavt varmetab fra ledningsnettet er at det faktisk er muligt at drive fjernvarmenettet ved de forudsatte temperaturer. I det følgende gennemgås derfor fjernvarmetemperaturer målt forskellige steder i nettet samt fjernvarme- og brugsvandstemperaturer målt i de enkelte boliger.

4.3.1 Hovedmåler og bi-målere

Tabel 3 viser akkumuleret volumen, energiforbrug samt gennemsnitlige fremløbs- og returtemperaturer ved hovedmåler og de 2 bi-målere, der måler på afgreningerne med 11 FVB–units og 11 GVV-units. For hovedmålerens vedkommende er fremløbstemperaturen målt før blandesløjfen. Resultaterne er vist for sommerperioden (uge 26-38), for perioden i fyringssæsonen (uge 39-47) og for den samlede periode (uge 26-47).

Hovedmåler - afregning med Lystrup Fjernvarme				
115	Volumen	Energi	T-frem	T-retur
Uge	m3	MWh	'C	'C
26-38	1425,3	27,1	63,3	46,6
39-47	1932,3	58,3	65,1	38,6
26-47	3357,6	85,4	64,3	42,0
Bimåler - forsyning af 11 FVB-units				
204	Volumen	Energi	T-frem	T-retur
Uge	m3	MWh	'C	'C
26-38	529,1	7,1	55,4	43,6
39-47	704,6	15,6	55,6	36,3
26-47	1233,7	22,7	55,5	39,4
Bimåler - forsyning af 11 GVV-units				
234	Volumen	Energi	T-frem	T-retur
Uge	m3	MWh	'C	'C
26-38	318,3	5,7	55,9	40,3
39-47	477,7	13,7	56,0	31,0
26-47	796,0	19,3	55,9	34,7

Tabel 3 Oversigtstabel med akkumuleret volumen, energiforbrug, fremløbs- og returtemperatur for hovedmåler og bimålerne til hhv. 11 FVB-units og 11 GVV-units

For de 11 boliger med FVB-units har den gennemsnitlige returtemperatur været 39,4 °C for uge 26-47. I sommerperioden, uge 26-38, var den gennemsnitlige returtemperatur 43,6 °C. Den høje returtemperatur skyldes først og fremmest en enkelt unit, hvor der har været tekniske problemer og dermed afkølingen. På en anden unit er der registreret en returtemperatur på ca. 29 °C i sommerperioden, så det er generelt muligt at sænke returtemperatur mere ved yderligere trimning af installationerne.

For de 11 boliger med GVV har den gennemsnitlige returtemperatur været 34,7 °C for uge 26-47. I sommerperioden, uge 26-38 var den gennemsnitlige returtemperatur 40,3 °C. Den høje returtemperatur skyldes først og fremmest 2 units, hvor reguleringsventilerne ikke har virket efter hensigten. For en enkelt unit er der registreret en returtemperatur på ca. 26 °C i sommerperioden, så også for GVV-units er det muligt at forbedre driften.

Generelt ses en lavere returtemperatur i fyringssæsonen (uge 39-47), hvilket er med til at bekræfte at radiatoranlægget leverer en lav returtemperatur, som forventet.

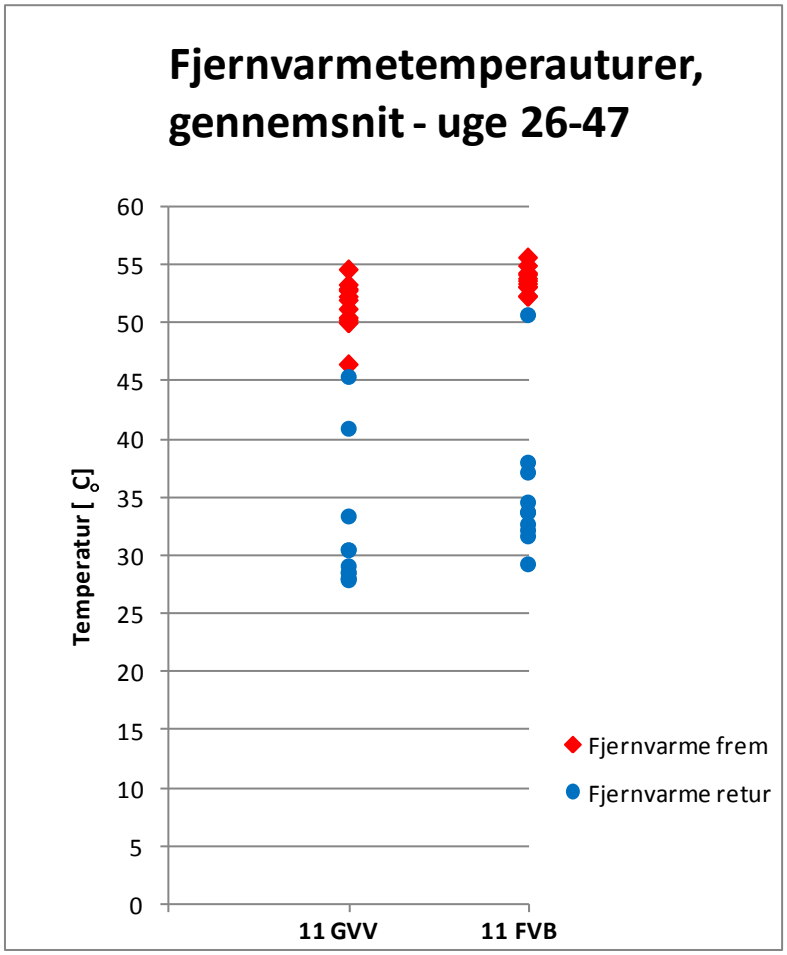
For hovedmåleren er den gennemsnitlige returtemperatur for den samlede måleperiode målt til 42 °C, hvilket er højere end de returtemperaturer, der registreres på de 2 bi-målere, som tilsammen dækker 22 boliger. Årsagen er lokaliseret til en af de øvrige 19 fjernvarmeunits i bebyggelsen, hvor der har været en defekt reguleringsventil, som har resulteret i et meget stort uafkølet flow.

Det er også værd at bemærke at fjernvarmen fra Lystrup Fjernvarme er leveret med en fremløbstemperatur på ca. 64°C i måleperioden og er blandet ned til ca. 56°C i den centrale blandesløjfe.

4.3.2 Fjernvarmetemperaturer i de enkelte boliger

Figur 18 viser de gennemsnitlige fjernvarmetemperaturer i hele måleperioden for hhv. de 11 boliger med FVB og de 11 boliger med GVV. Generelt er der ingen problemer med at levere en fremløbstemperatur mellem 50-55°C hos forbrugerne. Dog ligger temperaturen lidt lavere for GVV og i et enkelt tilfælde helt nede ved 46°C. Dette tilfælde kan dog forklares med et ekstremt lavt fjernvarme- og brugsvandsforbrug, som betyder, at bypass-temperaturen får stor indflydelse på den gennemsnitlige fremløbstemperatur.

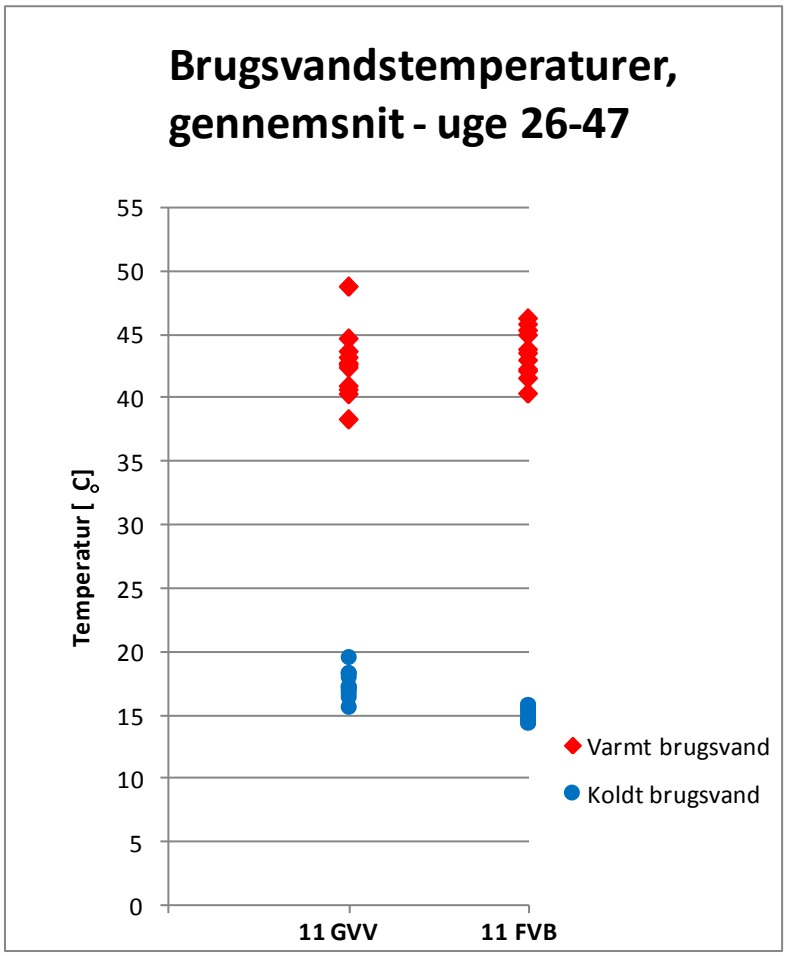
Der tegner sig også et billede af en lavere returtemperatur for GVV-units end for FVB-units. De tidligere omtalte tekniske problemer betyder at returtemperaturen for enkelte units bliver meget høj.



Figur 18 Fjernvarmetemperaturer, frem og retur, målt i de enkelte boliger som gennemsnit over målerperioden uge 26-47. For hver bolig er der et mærke for fremløbstemperatur og et mærke for returtemperatur. Resultaterne er yderligere fordelt på de 11 boliger med GVV og de 11 boliger med FVB.

4.3.3 Brugsvandstemperaturer i de enkelte boliger

De gennemsnitlige temperaturer for varmt og koldt brugsvand er vist på figur 19.



Figur 19 Brugsvandstemperaturer, varm og kold, målt i de enkelte boliger som gennemsnit over målerperioden uge 26-47. For hver bolig er der et mærke for varmtvandstemperatur og et mærke for koldtvandstemperatur. Resultaterne er yderligere fordelt på de 11 boliger med GVV og de 11 boliger med FVB.

En væsentlig konklusion er at det er muligt at opnå en gennemsnitlig varmtvandstemperatur på mellem 40-45°C. Ved korte tapninger af varmt brugsvand vil temperaturen typisk ikke nå den mulige maksimumtemperatur. Til gengæld vil temperaturen ved lange tapninger komme meget tæt på fremløbstemperaturen på fjernvarmevandet – for FVB-unitten dog begrænset af beholderens kapacitet, som betyder, at fremløbstemperaturen falder efterhånden som beholderen tømmes. Der er registreret temperaturer over 50 °C.

Den kolde brugsvandstemperatur har i måleperioden været noget varmere end de 10 °C, der forudsættes i de teoretiske beregninger af returtemperaturen ved varm brugsvandsproduktion. Der er registreret koldtvandstemperaturer for hele perioden uge 26-47 på ca. 15°C og endnu højere temperaturer i sommerperioden. Det har nogen indvirkning på den returtemperatur, det er muligt at opnå i praksis.

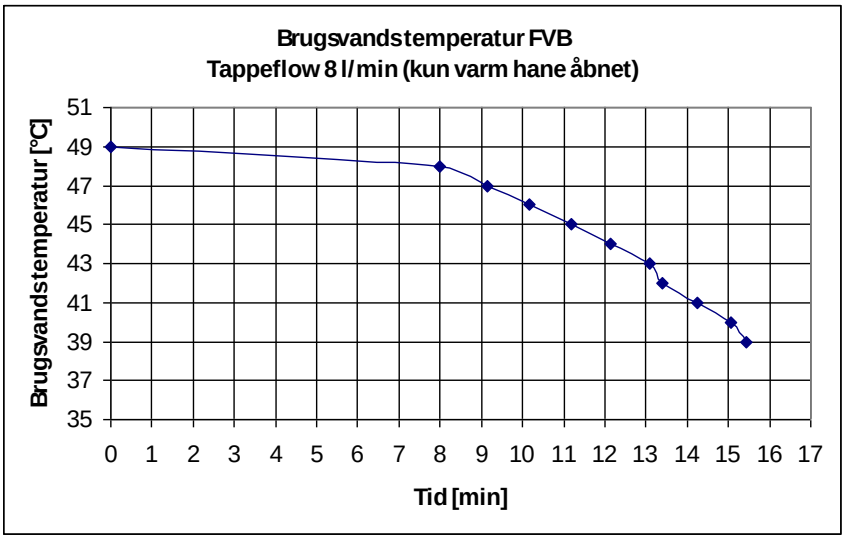
4.4 Detaljerede driftsforhold

I det følgende undersøges forskellige driftsforhold nærmere for de 2 typer fjernvarmeunits med henblik på at dokumentere og optimere prototyperne yderligere. En del af undersøgelsen er foretaget af Ph.D-studerende Marek Brand og beskrevet på engelsk i afsnit 4.4.2. En sammenfatning på dansk er givet i afsnit 4.4.3.

4.4.1 Fjernvarmebeholderunit - FVB

FVB-unitten er udstyret med en Danfoss ECL-styring og en avanceret driftsstrategi. Udover målingerne fra energimåleren er der foretaget målinger direkte på ECL regulatoren på én af FVB unitterne (lejlighed 7). Formålet med dette er, at vurdere om tankstyringen fungerer efter hensigten, samt at have et grundlag for at optimere driftsstrategien.

Brugsvandstemperatur og kapacitet er vurderet i løbet af november 2010, hvor der blev foretaget en kapacitetsmåling. Nedenstående figur 20 viser tappetemperaturen som funktion af tiden for et tappeflow på 8 l/min.



Figur 20 FVB måling i lejlighed 7, konstant tapning, brugsvandstemperatur som funktion af tappetiden. Regulatorindstilling er her 2 omdrejninger fra maksimum

Det ses, at der holdes en tappetemperatur ved hanen på over 45°C de første 11 minutter. Endvidere ses, at temperaturen begynder at falde efter ca. 9 minutter. Her vurderes det, at oversiden af lagdelingen i tanken giver sig til kende. Det skal dog bemærkes, at et egentligt bad ville kunne fortsættes til en temperatur på ca. 38°C, som vil svare til en brusetid på ca. 16 minutter (ekstrapoleret). Tages der højde for at tappetemperaturen over hele perioden kunne have været på 37°C, svarer dette til en tappetid på 22 minutter ved et blandet tappeflow på 8 l/min.

Beboerne i denne lejlighed oplyser at kapaciteten af varmt brugsvand er tilstrækkelig. Kun i enkelte tilfælde, hvor der har været gæster på besøg, som også brugte bruseren efterfølgende, blev der konstateret kapacitetsproblemer.

Dernæst er det vurderet, hvor meget vand, der tappes af beholderen på primærsiden. Volumen tappet af beholderen i løbet af de første 9 minutter er 73 liter (Eller ca. 60% af

beholdervolumenet på 120 liter). Dette er foreneligt med, at føleren er placeret ca. en tredjedel fra bunden af beholderen og at den lader til en følertemperatur på 48°C.

Beregning:
V=(48°C-15°C)/(53°C-25°C)*9min*8 l/min = 33/28*9min*8l/min = 85 liter, fratrækkes ladeflowet fås 85l-100l/h/60min/h*7min = 85 l – 12 l = 73 liter

Forklaring:

Tappeflow (kun varm hane åben):	8 l/min
Temperatur fra beholder under tapning (primær fjernvarmetemperaturen):	ca. 53°C
Vurderet koldvandstemperatur:	15°C
Tappetemperatur for første 9 min, middelværdi:	48°C
brugsvandsvekslerens returtemperatur	ca. 25°C

Ladningen startede med 2 minutters forsinkelse, derfor er anvendt 7 minutter for varigheden af ladningen på primærsiden.

Efter 73 liters tapning fra beholderen ses således de første tegn på, at temperaturen fra beholderen under tapning reduceres. Det kan konkluderes at brugsvandsregulatorens setpunkt med fordel kan sænkes, idet en tappetemperatur på 49°C er unødvendig høj, resulterende i reduceret tappetid grundet høj aftapningsrate af beholder samt forhøjet returtemperatur fra brugsvandsveksleren.

Af den grund er der efterfølgende for lejlighed 7 valgt at reducere setpunktet for brugsvandsregulatoren med 1 omdrejning (tidligere indstilling var 2 omdrejninger fra maks.), svarende til ca. 2°C reduceret tappetemperatur. Endvidere er beholderens ladeindstilling ændret således, at ladning startes ved en følertemperatur på 42°C og afsluttes ved en følertemperatur på 46°C (denne indstilling var tidligere og ellers generelt, 42°C hhv. 48°C).

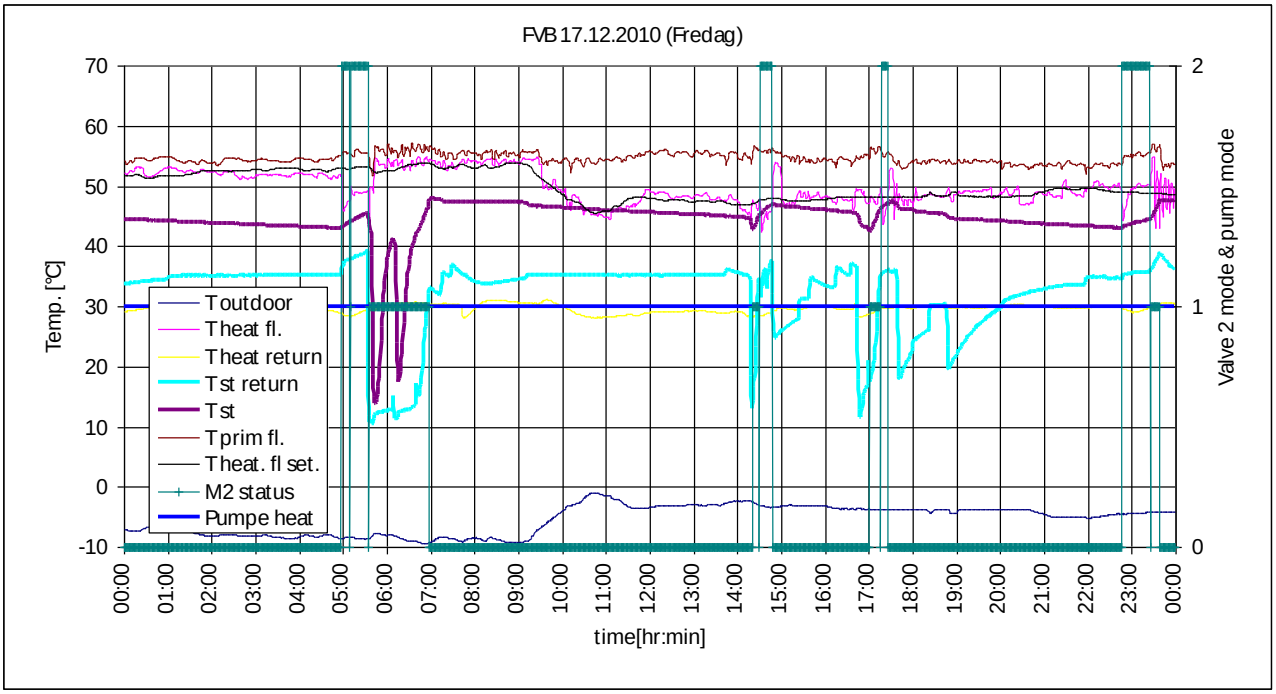
Endelig er FVB-unittens styringsstrategi vurderet ud fra detaljerede målinger på 2 dage i december 2010. For at kunne læse nedenstående kurver, figur 21 og 22, forklares M2, som angiver hvilken momentan ladestatus fjernvarmebeholderen har:

M2=0	Ingen ladning af fjernvarmebeholder
M2=1	Der lades normalt, dvs. beholderen returvand ledes til fjernvarmeretur
M2=2	Returvandet fra fjernvarmebeholderen efterafkøles i varmekredsen

M2 angives på figurernes højre lodrette akse.

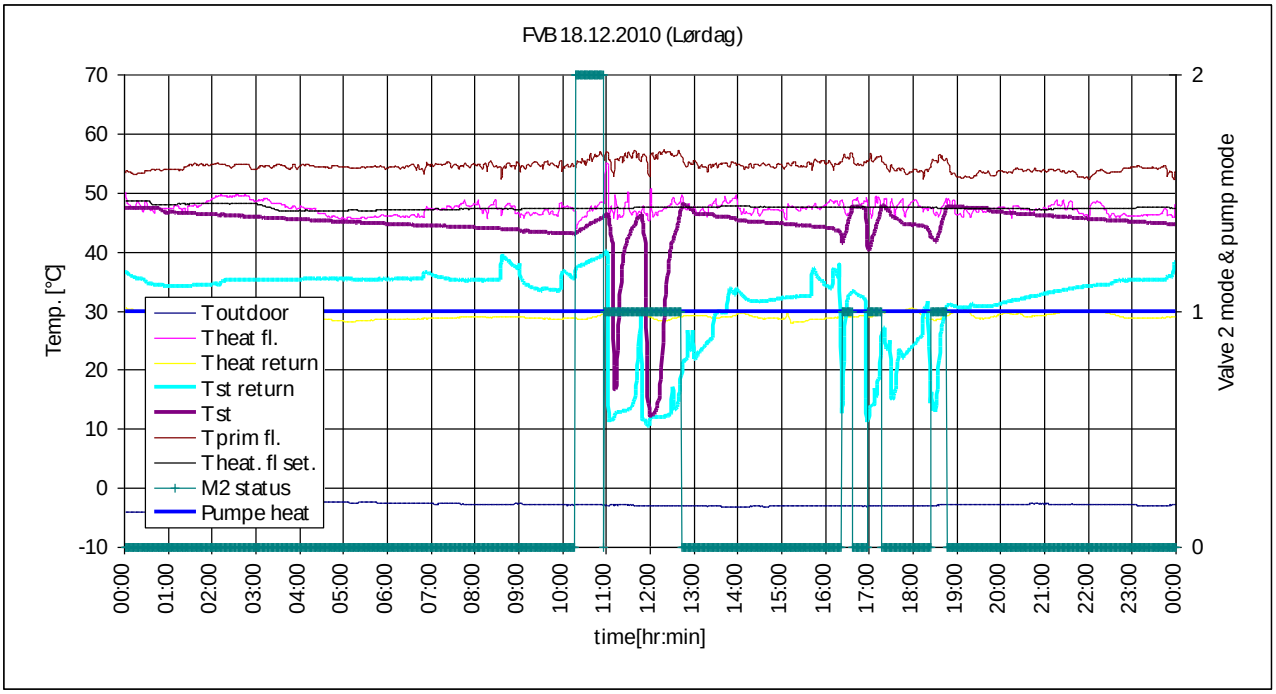
Forklaring til øvrige kurver i nedenstående figurer 21 og 22:

T outdoor:	Udetemperaturen
T hest fl.:	Fremløbstemperaturen til varmekredsen
T heat return:	Returtemperaturen fra varmekredsen
T st retur:	Udløbstemperaturen fra brugsvandstanken
T st:	Beholdertemperaturen (ECL beholdertemperaturføleren)
T prim. fl.:	Primær fjernvarmefremløbstemperaturen
T heat fl. Set.	Ønsket varmefremløbstemperatur
Pumpe heat:	Om varmekredsen er aktiv, Aktiv = 1, ikke aktiv = 0.



Figur 21 FVB måling i lejlighed 7, på en hverdag

Af figur 21 er ladetiden bestemt til ca. 3,7 timer. Den gennemsnitlige returtemperatur fra beholderen (T st retur) er ca. 26,7°C under ladning, (Dette er tilfældet hvor M2=1 eller M2=2, grøn kurve).



Figur 22 FVB måling i lejlighed 7, i weekend

Af figur 22 er ladetiden bestemt til ca. 3,4 timer. Den gennemsnitlige returtemperatur fra beholderen er ca. 21,1°C under ladning.

Det ses, at der i ca. 1/3 af ladetiden er efterkøling i varmekredsen. I den tid reduceres fjernvarmebeholderens returtemperatur ca. 6°C under efterkølingen. Denne værdi afhænger naturligvis af, hvad returtemperaturen for varmekredsen i sig selv er. Med det her realiserede varmeanlæg giver efterkølingsfunktionen således en klar reduktion af returtemperaturen, svarende til gennemsnitlig 2°C over hele ladeperioden i varmesæsonen. Det skal erindres, at efterkølingen ikke vil komme i funktion udenfor varmesæsonen, ifald der ikke anvendes gulvvarme uden for varmesæsonen.

Det ses endvidere, at de laveste værdier for T st retur ligger på ca. 11-12°C. Dette er lavt og kan givetvis ikke kun tilskrives vekslerens effektivitet, men må også være et resultat af en lav koldvandstemperatur, vurderet i størrelsesorden 5-7°C for dataopsamlingen foretaget i december måned.

Ladeflowet til beholderen og til varmeveksleren under tapning er begrænset til 100 l/time, hvilket betyder, at der i løbet af et døgn lades et volumen på ca. 100 l/time*3.5 timer = 350 l.

4.4.2 DH substation with heat exchanger for domestic hot water - GVV

Although an extensive measuring system is installed in Lystrup, it does not cover detailed measurements with short sampling rates, of the performance of the DH substations. The main detailed measurements for GVV are recovery time of the substation, i.e. time needed for the substation to produce DHW with desired temperature after tapping is started, stability of DHW and proper cooling of DH water during operation. Detailed measurements are important for the evaluation of the level of users' comfort for DHW. The reason why these measurements are not taken by the main measuring system in Lystrup is that the measuring system should log a huge amount of data, and thus data from individual substations can be measured only once every 4 minutes, which is not enough for an evaluation of the dynamic behaviour of the substation. For the FVB unit, some data evaluating dynamic behaviour of the substation can be read directly from the ECL controller, but in case of GVV, the ECL controller is not used.

The detailed operation conditions of dynamic behaviour of GVV were measured experimentally in the laboratory of Technical University of Denmark (DTU) in Lyngby. The results from the measurements are reported in the conference article "A Direct Heat Exchanger Unit used for Domestic Hot Water supply in a single-family house supplied by Low Energy District Heating" presented on 12th International Symposium on District Heating and Cooling in Estonia [9]. The article is a part of the report, Appendix 1.

For detailed description of both types of district heating units, we refer to chapter 2.2.

4.4.2.1 Importance of dynamic behaviour for GVV

When comparing both types of substations used for low-temperature DH, a dynamic behaviour related to the level of user comfort is more critical for GVV than for FVB. Both units use the same HEX and control system for DHW preparation, but in case of FVB, district heating water is, at the beginning of each tapping, taken directly from the buffer tank, where it is stored with the desired temperature and thus immediately enters HEX and

produces DHW. For GVV district heating water is taken from the branch pipe which, after a long idle period (period without tapping DHW or without need for space heating), can be cooled down, and it takes some time to replace cooled water from the branch pipe and supply HEX with "new" DH water with 50°C from the distribution pipe in the street.

While for FVB, unit charging and discharging characteristics are important (charging flow rate, capacity test and return temperature), the main focus for GVV is on the time needed for SUB to prepare DHW with desired temperature (so called recovery time) because this time is additionally affected by the influence of the branch pipe.

For comfort delivery of DHW in accordance with former DS439, DHW with temperature 45°C/40°C (and 0.2 l/s) should be provided from a tap in 10 sec from the moment when tapping is started. The time needed for DHW delivery after a tap is opened is in the following text called "tap delay" and it consists of:

- transportation time and influence of thermal capacity on **branch pipe** on the primary side
- recovery time, meaning time delay in **DH substation**
- transportation time and influence of thermal capacity on the secondary side, i.e. in DHW **feeding pipes** for individual taps

In the following text, short considerations about tap delay in the individual parts of the system are presented to give an insight in this topic.

4.4.2.1.1 Tap delay on the secondary side – DHW installations in the building

The secondary side consists of the individual feeding pipes connecting substation with DHW taps. LTDH concept aims to be highly energy efficient and thus it is designed without use of DHW circulation (DHWC) system. The main reason for absence of DHWC is a relatively high energy loss and moreover for DHWC, the return temperature from the circulation loop should be guaranteed above 50°C, which cannot be fulfilled. Since DHWC is not used, the tap delay on the secondary side is defined by the distance between SUB and individual taps, by the inner diameter of the feeding pipes (always 10 mm), by their thermal capacity and by the period passed from last tapping. It means that the only way to reduce the tap delay on the secondary side to a minimum is to plan a distribution of rooms with tapping points as near as possible to SUB, i.e. close to the technical room as it is designed e.g. in Lystrup. The layout of tapping points and lengths and transportation times for individual taps is shown in Figure 23.



fixture	nominal flow (L/min)	length to fixture (m)	volume in pipes (L)	velocity (m/s)	transp. delay (s)
shower	8.4	2.2	0.17	1.8	1.2
basin	3.4	4.1	0.32	0.7	5.8
kitchen	6	6.3	0.49	1.3	4.9

Figure 23 - Example of tapping points designed in proximity of DH substation in Lystrup. In the table are shown lengths of individual feeding pipes (inner diameter 10 mm) and transportation delay for nominal flow are shown

It can be seen that the shortest transportation time is needed for the shower, because of short length of the feeding pipes and relatively high flow rate. It is a sign of proper distribution of the tapping point. In general a shower can be considered as a critical fixture for tap delay, because we can much easier accept longer waiting time for DHW with desired temperature for washing of hands than for showering. Nevertheless the DS439 does not distinguish between suggested values for tap delay and temperatures for different types of fixtures.

For a DHW system without circulation, the tap delay on the primary side and in the substation becomes even more important than for systems with DHW circulation.

4.4.2.1.2 Tap delay on the primary side – branch pipe

Transportation time in BP

GVV is equipped with a PTC2+P combined pressure-temperature controller for DHW preparation. When tapping of DHW starts, the temperature part of the controller asks for the maximal available primary flow, and this situation lasts until the DHW set-point temperature is reached at the output of HEX. For GVV used in Lystrup, the maximal primary flow of roughly 850L/hour (14L/min) is defined by Kv value of the controller. If we consider that average length of branch pipes for GVV in Lystrup is 10 m (maximum length for ALx 20/20/110 is 13.8 m) and inner diameter of the pipe 15 mm, it takes 7.5 sec to transport "new" volume of district heating water with designed temperature from the street pipe to the substation. Detailed values are shown in Table 4.

nominal flow (L/min)	inner diameter of pipe (mm)	branch pipe length (m)	volume in pipes (L)	nominal flow (L/s)	velocity (m/s)	transport delay (s)
14,1	15	10	1,77	0,24	1,3	7,5
14,1	15	13	2,30	0,24	1,3	9,8

Table 4 – transport time of primary water in BP of GVV unit in Lystrup – pure transportation time with no influence of the thermal capacity of the pipes.

During these 7.5 seconds, the cooled water from BP is supplied to the heat exchanger, but the heat exchanger is not working with the design primary temperature until all cooled water from the BP has passed through the heat exchanger.

Cooling down of water in BP during stand-by

The temperature of DH water standing in BP during idling depends on the period of idling (i.e. how long there was no flow in the branch pipe), on the pipe properties (diameter, insulation, configuration) and on the temperature of the ground surrounding the branch pipe.

To investigate temperature drop during idling in the branch pipe, Logstor Aluflex 20/20/110 (inner diameter of media pipes is 15 mm) filled with 50°C hot water was modelled in COMSOL Multiphysics software. The boundary conditions were: no water flow, temperature of the surrounding ground 3°C, 8°C and 14°C and initial temperature of PUR insulation in pipe 15°C (average value for typical conditions). Simulated conditions resemble situation when tapping of DHW is finished and no consumption of DH water occurs for long time. The cooling of BP was simulated for a time period from 0 to 720 min. The cooling down of water standing in the branch pipe during idling is shown in figure 24.

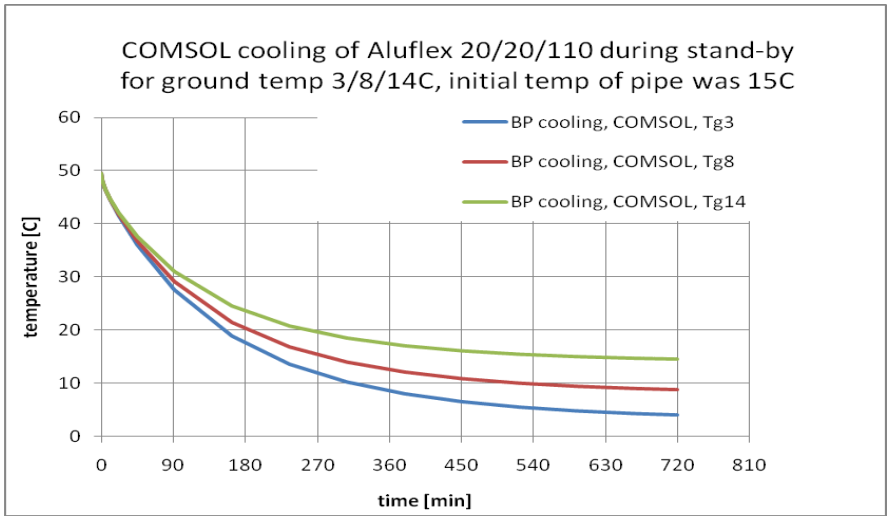


Figure 24 – Cooling down of DH water in branch pipe during idling

It can be seen that for periods without space heating (i.e. for low-energy house approximately 6 months during the year from April to October) with typical average ground temperature between 8°C and 14°C, the water standing in the branch pipe is cooled down to 20°C if there is no tapping of DHW or by-pass flow roughly after 3 and 4 hours for the ground temperatures of 8°C and 14°C respectively.

The cooling down of the BP can be prevented by use of by-pass. The by-pass keeps BP on a higher temperature and reduces the substation recovery time, but it also increases the consumption of heat and the return temperature to the DHN. The GVV in Lystrup is designed with external by-pass, keeping BP on a desired temperature. The set-point temperature for external by-pass is 40°C for customers at the end of a street (end of the street pipe) and 35°C for others.

Influence of the thermal capacity on tap delay in branch pipe

The simple calculation of transportation time in the branch pipe presented before does not count for the influence of its thermal capacity. The importance of the thermal capacity of the pipe on the tap delay was numerically simulated with an in-house developed Matlab code. The code was successfully validated with experimental data.

The influence of the thermal capacity of Aluflex 20/20/110 on a temperature drop of water supplied into the GVV is shown in Figure 25. The curve represents the temperature measured at the inlet of the substation for a 10 m long Aluflex 20/20/110 pipe, surrounded by ground with a temperature of 8°C after 180 minutes of idling (i.e. temperature of the water is around 20°C, see Figure 24) when the tap of DHW is opened again on the secondary side. The primary flow rate is 14 L/min.

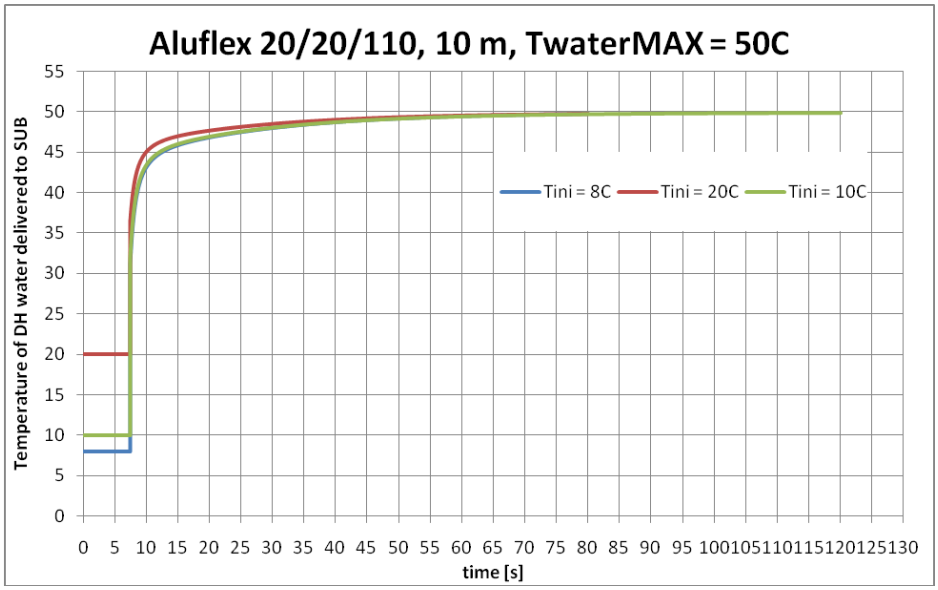


Figure 25 - influence of the thermal capacity of a branch pipe on the temperature of delivered water after stand-by (based on Matlab model developed by Dalla Rosa)

Figure 25 shows that for the case when water in BP is cooled down to 20°C, the transportation time accounts for 7.5 sec (independent of temperature), but the water delivered to HEX at that time is already cooled down by the thermal capacity of the pipe to 37°C. It takes other 2.5 sec, i.e. 10 sec all together to deliver 45°C water and around 40 sec to deliver 49°C to HEX. For case when water in branch pipe is initially cooled down to 10°C, i.e. for ground temperature 8°C after 9 hours, it takes in total 12 sec to supply HEX with 45°C and 46 sec to supply HEX with 49°C. This case can be used as an example what happens with water in the branch pipe during the night outside heating period without DHW consumption.

It shows that outside the heating period and without operation of by-pass, it takes easily 10 sec to start operating HEX with design temperatures.

From Figure 24 can be seen that it is not necessary to run external by-pass with a set-point temperature of 30°C for GVV sooner than 90 minutes after previous tapping, because DH water in the BP is still above the set-point temperature of the by-pass. This is however in contradiction with our experience when external by-pass operates roughly after 30 minutes.

The reason is that the sensor for external by-pass is placed in the substation and cools down faster than water standing in branch pipe. Nevertheless, keeping the short length of pipes in the substation (just before by-pass pipe) on a temperature of 30°C has almost no influence on recovery time of the substation. The optimal solution will be control operation of external by-pass by temperature measured directly in branch pipe.

These examples document that if the requirement of 10 sec tap delay (with nominal flow for fixture, not with 0.2 l/s) should be fulfilled in the Lystrup case, it is necessary that the substation will have a recovery time below 9 sec for showering and below 4 sec for hand washing, taking in consideration the tap delay in the branch pipe.

Nevertheless, for the majority of existing buildings, the transportation times on the secondary side will usually be longer, because of not optimized displacement of tapping points.

4.4.2.1.3 Tap delay in substation – recovery time

The remaining and for sure most important part of the overall tap delay is the time delay in the substation, the so-called recovery time. The recovery time of a DH substation is defined by the type of used control system, thermal capacity of the components, water volume of HEX, level of the insulation of substation, maximum allowed primary flow rate and by period passed from previous tapping. Since the numerical model is quite complicated and it is still under development, the recovery time of the substation was obtained by laboratory measurements, which is described in the following paragraph.

4.4.2.2 Detailed Laboratory measurements of GVV

To evaluate the detail dynamic behaviour of the GVV, we measured the recovery time for producing DHW with temperature 42°C and 47°C. Recovery time is time needed for GVV to produce DHW with desired temperature after tapping was started. Recovery time is measured from the moment when DH water with desired temperature, i.e. 50 °C arrived in inlet of substation. This report presents only main findings, the details can be found in the conference article [9]. The experiments were focused only on dynamic behaviour of the substation related to DHW heating, and thus space heating loop was not connected and space heating valves in the substation were closed.

4.4.2.2.1 Methods

The measurements were carried out in the laboratory of Technical University of Denmark in June 2010. All measurements were performed for flow of DHW 8.4 L/min corresponding to nominal flow for the showering. The tapping was always performed in duration of at least 2 minutes. The showering was chosen as tapping with highest nominal flow rate, i.e. the longest recovery time of the substation. We investigated recovery time of GVV for three different cases, for PCT2+P controller with and without use of external by-pass and for IHPT controller with internal by-pass. Additionally we were focused on temperature stability of DHW and primary return temperature to DH.

The set-point temperature of DHW was set to 47°C for all cases. The 47°C is defined by requirement to deliver 45°C DHW. It can be objected that for showering, 40°C should be enough, but in real conditions the set-point temperature for DHW will be adjusted to satisfy the highest desired temperature in the system, i.e. 45°C for kitchen sink?. The 2°C (45°C+2°C) for set-point temperature were added to cover the temperature drop in the feeding pipes during the first moments of tapping.

The by-pass set-point temperature for external by-pass was 35°C for the general consumers in Lystrup. The measurements of dynamic behaviour were performed for different initial conditions simulating in a realistic way different periods passed from previous tapping of DHW. In this way, the influence of user's behaviour on the recovery time of the substation was simulated. Finally we measured flow rate and frequency of by-pass operation. The GVV unit is in detail described in chapter 2.2.

The substation was connected to the source of DH in such a way that just before the DH pipe enters the substation, the by-pass for redirecting a small amount of DH water to the drain was installed. By this system, it was assured that the substation is always supplied with 50°C DH water immediately after DHW on secondary side is opened, without any waiting time or temperature drop in supply water. In this way, only the operating conditions of the substation excluding the influence of the branch pipe were measured. For example, recovery time measured for the controller with external by-pass does not count for tap delay and dynamic behaviour in the branch pipe, but it is measured only from the moment when DH water of 50°C arrives in the inlet of the SUB.

Measured values:
The temperatures of four different water flows passing through the DH substation were measured. On the primary side, it was the temperature of DH water supplied to the substation (T11) and the temperature of cooled DH water returning back to the DH network (T12), and on the secondary side it was the temperature of cold potable water entering the substation (T21) and the temperature of prepared DHW (T22). All temperatures were measured by thermocouples type T installed directly in pipes, in flowing water, so they do not have any practical time delay for the measurements. The time constant to reach 90% of step change was less than 1 second. The distance of the thermocouples from substation flanges was 5 cm, and thermocouples were previously calibrated. We also measured the surface temperature of HEX in upper (HEX-UP) and bottom part (HEX-DOWN) and the temperature of air in the testing room. Temperatures were measured and collected by multifunction acquisition unit every second.

Experimental procedure
The three different control concepts were measured:

External by-pass (measurement number 2, 3 and 4)
For measurements of the concept with external by-pass, the substation was controlled by a PTC2+P controller and by-pass set point temperature was adjusted to 35°C. This setup is exactly the same as installed in Lystrup. The testing procedure was made in following steps. The substation was left idle in the testing room for a long time, so all components and water in the HEX gained the room temperature. Then we started supply of DH to the substation and DH water with a temperature of 50°C started to flow in the substation and flew through the external by-pass, until closing temperature was reached and by-pass flow stopped. Then

we waited until the by-pass was opened again. The time between two by-pass openings, as well as the volume and temperature of DH water passed through the by-pass was written down, and after the by-pass was closed again, we waited a little bit shorter time than was needed to open the by-pass flow again, and we started the tapping of DHW with flow rate 8.4 L/min. In this way, the most unfavourable condition for a substation with by-pass, i.e. highest recovery time, was measured. After the tapping of DHW was finished, we waited 5 minutes, and then performed one more tapping to simulate short time periods between two subsequent tappings of DHW.

No use of by-pass (measurement number 1)
This procedure was very similar to the previous testing condition. The substation was left idle for a long time to reach the temperature of ambient air and then tapping was performed. To repeat measurement after 5 minutes was not necessary, as the conditions are the same as in the case 3.

Internal by-pass (measurement 5,6)
For measurement of the internal bypass concept, IHPT controller was used. An internal by-pass concept means that the HEX in the substation is always kept at the desired temperature. This solution provides the highest level of comfort, but on the other hand it has very high energy consumption. Moreover temperature of returning primary water is increased significantly during idling. It should be mentioned that this (IHPT) controller is normally not used for low-temperature application and its testing was only informative.

In case of IHPT, the by-pass set point temperature cannot be adjusted independently, and it is defined by the desired temperature of DHW, i.e. in our case 47°C. Due to specifications, the controller can be operated only in DH networks with supply temperature over 60°C, but we performed measurements anyway to find out influence of keeping HEX warm. The testing procedure was similar to measurements with external by-pass. After the supply valve on the primary side of the substation was opened, DH water with a temperature of 50°C started to flow in the substation and slowly heats up the HEX, until the by-pass closing temperature was reached. Then we waited until the by-pass opened again, and we performed tapping of DHW just before the next by-pass opening was expected. In the following steps the measuring procedure was the same as in the case of external by-pass.

4.4.2.2.2 Results - Recovery time, temperature stability of DHW & return temperature to DHN

The results are presented for the 2 controllers, PTC2+P with external bypass and IHPT with internal by-pass.

<u>PTC2+P with external bypass:</u>
The recovery time, stability of DHW temperature and temperature of primary water returning to the DH network for case no. 2, i.e. substation with external by-pass after idling, just before external by-pass was expected to start is shown in figure 26. The tapping started in t=0 sec and it lasted for 2 minutes. It can be seen, that from the moment when DH water of 50°C enters the border of GVV, it takes 5, 10 and 15 sec to produce DHW with a temperature of 35°C, 40°C and 45°C, respectively. To produce DHW with temperature of 42°C and 47°C, the substation needs 11 respectively 22 sec from the moment when 50°C warm DH water enters the substation. The stability of DHW during tapping is satisfactory,

but the final stable temperature of the DHW is not 47°C as was desired, but 46°C. This is however not seen as a problem. It is probably caused by hysteresis of the controller and during next tapping a steady state temperature of DHW can easily reach again 47°C.

The cooling of DH water during the tapping is defined as a difference between T_{11} and T_{22}. The red curve in figure 26 shows steady state return temperature, $T_{22,}$ a little below 20°C. The return temperature slightly exceeds 20°C, but only for 20 sec from the beginning of the tapping before steady state in the substation is established. After reaching steady state conditions, the flow rates on primary and secondary side were equal.

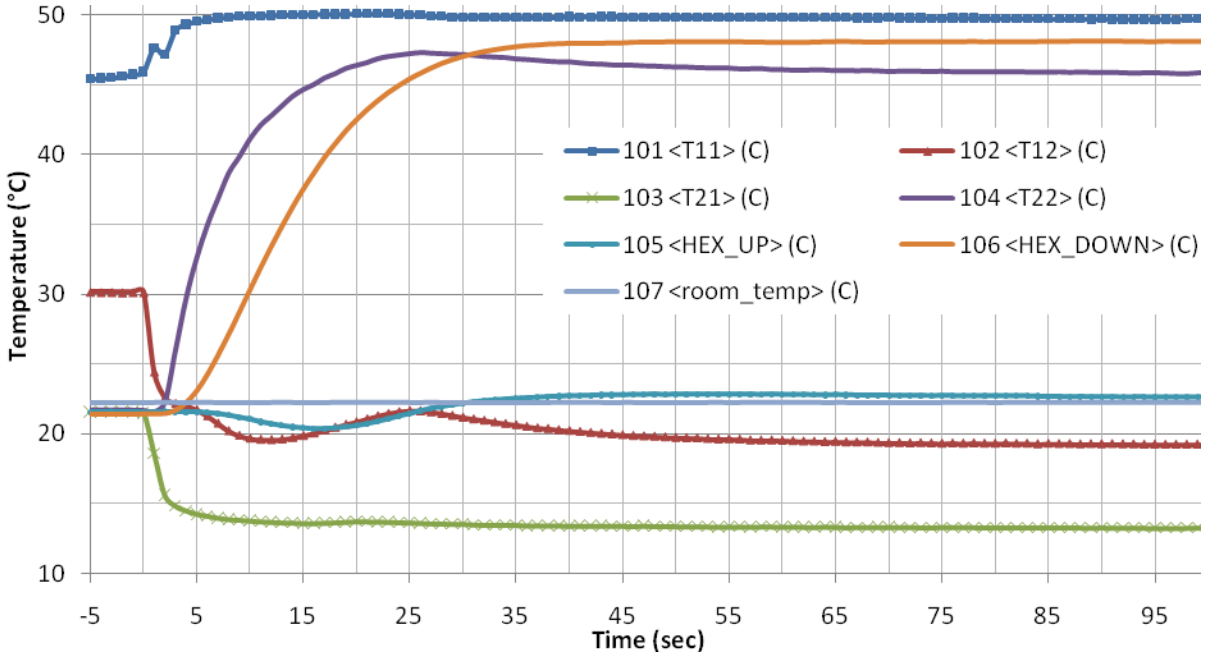


Figure 26 Recovery time for GVV. Case 2 with external bypass (PTC2+P), when tapping is performed just before start of the by-pass flow is expected (set-point temperature 35 °C)

For case 3, the measurement was performed after long idling just after by-pass flow was stopped. The recovery time to produce DHW with 42°C and 47°C decreased to 8.5 and 16.5 seconds. In this measurement, the initial temperature of the substation, and thus water standing in the HEX, was a little higher than ambient air temperature. It is expected that recovery time will be slightly longer, if the substation will have real ambient temperature, but still shorter than in case 2. We also performed measurement of recovery time five minutes after previous DHW tapping was finished. In this case, the recovery time of the substation to produce DHW with temperatures of 42°C and 47°C was shorter, 7 and 14 seconds.

For room temperature around 22°C, external by-pass was opened roughly every 30 minutes. The by-pass was open on average 2.5 minutes, and the volume of DH water needed to close the by-pass was on average 3 L, i.e. when the substation is idle, the by-pass uses 6 L of DH water per hour.

IHPT with internal by-pass:

Recovery time for GVV equipped with IHPT controller with internal by-pass adjusted by requirement of DHW to 47°C was 6 and 14 seconds to reach 42°C and 47°C on outlet of substation for a situation when tapping was performed just before by-pass was expected to open. The measured values can be seen from figure 27.

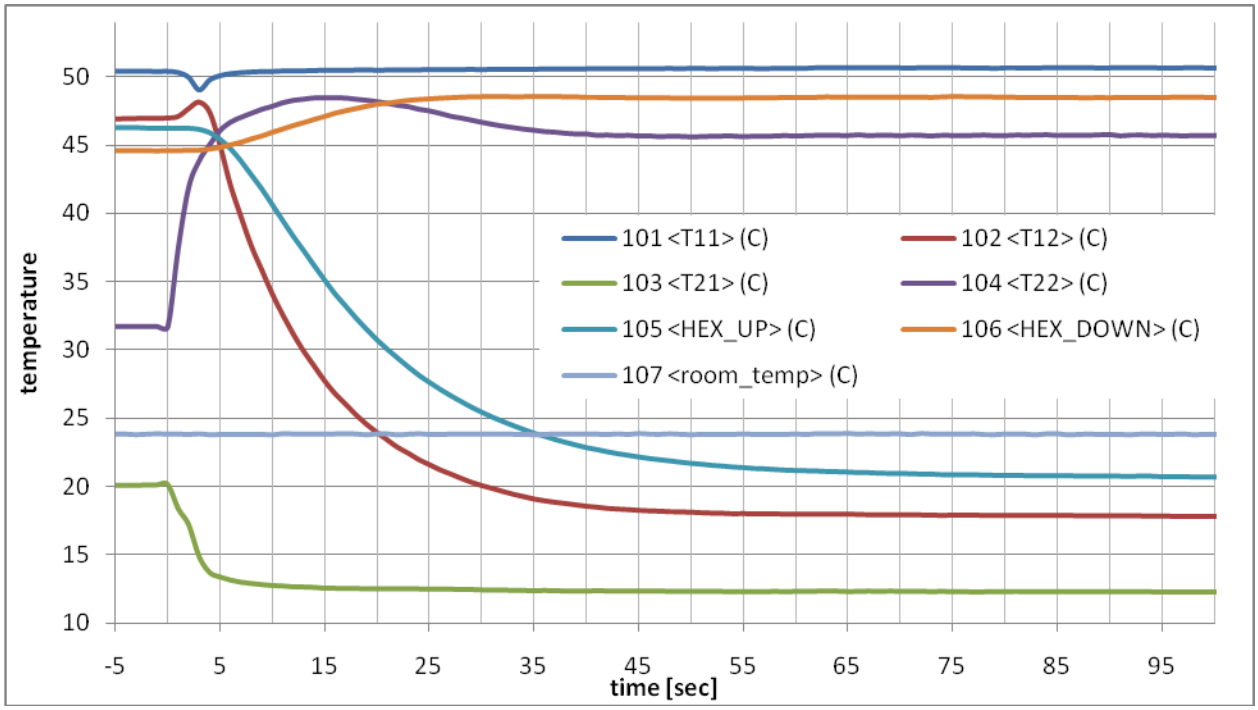


Figure 27 Recovery time for GVV with internal bypass (IHPT), when tapping is performed just before start of the by-pass flow is expected (set-point based on DHW=47°C)

From the curve, T_{22}, it can be seen that even if the HEX in the bottom part (where the outlet pipe for DHW is placed) is filled with DHW with temperature 45°C, it takes 4 sec to transport DHW from the HEX to the outlet of GVV. The primary water returning to the DH is, in this case, cooled down to 18°C which is caused by lower temperature of cold potable water on secondary side (12.5°C).

The internal by-pass opens 3 minutes after previous tapping is finished. Once the internal by-pass is opened it never closes, only when another tapping is performed, but again closes only for 3 minutes. The average flow of internal by-pass was 24 L/hour and average return temperature to DH network was 45°C. When internal by-pass is once opened, the recovery time in substation to produce DHW with temperatures of 42°C and 47°C decreases, substantially to 1.5 and 7 seconds because whole substation is basically kept on temperature 50°C.

The reason for not optimal performance of by-pass for IHPT is caused by fact, that IHPT was originally developed for traditional district heating with supply temperatures of at least 60°C. For IHPT, set-point temperature for DHW should be at least 10K lower than primary supply temperature, which in our measurement and in LTDH concept in general cannot be fulfilled. The measurements were performed to evaluate recovery time for substation with "warm" HEX and to investigate behaviour of traditional IHPT used for LTDH. If IHPT controller will be used for LTDH, should be optimized for LTDH.

The recovery times for all measured cases are listed in table 5:

	case number and description	T_{11} (°C)	τ_{42} (sec)	τ_{45} (sec)	τ_{47} (sec)	T_{12} (°C)	T_{12AVG} (°C)	T_{HEX-UP} (°C)	$T_{HEX-DOWN}$ (°C
NO BY PASS	1 -after long idling, no by-pass (BYP)	50.1	12	18	25	16.2	19.5	20.4	21
EXTERNAL BY-PASS	2 -after long idling, just before BYP was expected to open again	49.6	11	16	22	30.1	19.3	21.5	21.4
	3 - after long idling, just after BYP closed	50.6	8.5	12	16.5	42.6	19	*29*	*26*
	4 - 5 minutes after previous tapping finished	50.8	7	10	14	25	19.1	22.3	37.4
INTERNAL BY-PASS	5 - just before BYP was expected to open (3 min after prev. tapp. finished)	50.5	6	10	14	19.5	19.1	22.6	38
	6 - anytime, when BYP was already in operation	49.3	1.5	3.5	7	47.3	18.4	44	45.5

Table 4 Overview of recovery times on GVV for all measured cases

The temperature T_{11} is average temperature of supplied DH water for the measurement; τ_{xx} denotes the time needed for substation to produce DHW with desired temperature from the moment when SUB received DH water of 50°C; T_{12} is the primary return temperature at time τ=0. From this value it can be seen if the by-pass was in operation just before the measurements. T_{12AVG} is the average return temperature during the tapping and T_{HEX-UP} and $T_{HEX-DOWN}$ are surface temperatures of the HEX.

4.4.2.3 Conclusions

- GVV is working properly, from DH water supplied with temperature 50°C can without problems prepare 47°C DHW.

- GVV has good cooling of DH water, T_{12} < 20°C for T_{21}=14°C. The cooling of primary water returning to DH depends on the temperature of secondary potable water (T21).

- For maximal allowed primary flow rate 14L/min and less favourable condition i.e. long idling without by-pass, GVV produces 42°C DHW in 12 sec after the 50°C DH water enters the border of GVV. The recovery time of the substation to produce 42°C DHW for tapping repeated 5 minutes after the previous tapping is finished is reduced to 7 sec.
- When summing tap delay on primary side (10 sec) and transportation delay in feeding pipes (1.2 sec) with recovery time of GVV to produce 42°C DHW for measurement no. 1 (12 sec), we end with an overall tap delay for DHW for showering of almost 24 sec.

- With operation of external by-pass the tap delay on primary side (in branch pipe) and thus overall tap delay will be reduced, because branch pipe will not cool down. The numerical model is needed to evaluate influence on recovery time of substation. Numerical model is under development.

- The standard version of IHPT controller (with internal by-pass) can not be used for concept of LTDH, because desired temperature levels are out of range for temperature control. For proper working condition of Tset-pointDHW<Tprim-

10K should be fulfilled, which is not possible in concept of LTDH with DHW set-point temperature of 45°C.

4.4.2.4 Recommendations

GVV is properly working concept with good performance, nevertheless its performance can be improved by using of components optimized for LTDH.

- Heat exchanger
  Performance of HEX can be improved by further optimisation of number of plates and reduced distance between them. It will result in higher pressure drop but on the other hand heat transfer will be improved and water content of HEX and its overall size reduced. Furthermore, hydraulic connection of HEX can be improved to fit connection pipes without unnecessary fittings.

- Controllers
  GVV uses controllers designed for traditional DH temperatures. It is suggested to optimize both types of controllers for LTDH concept, i.e. for DH supply temperature 50°C. For reduction of waiting time for DHW produced by GVV, by-pass keeping branch pipe on desired temperature is a solution. The use of by-pass flow in a more energy efficient way should be investigated. Among the possibilities there are: the use by-pass flow for yearly-round bathroom floor heating or the installation of booster pumps that replace by-pass but still allow delivery of DHW with reduced waiting time.

- To decrease heat losses from the GVV to ambient and for some situations also decrease a recovery time it is suggested to insulate heat exchanger or better whole cupboard.

4.4.3 Dansk sammendrag af konklusioner og anbefalinger for GVV-units

Dette afsnit indeholder et dansk sammendrag af konklusioner og anbefalinger præsenteret i afsnit 4.4.2. vedrørende den GVV-unit, der er installeret i Lystrup. Arbejdet er udført af Ph.D-studerende Marek Brand fra DTU-Byg. Der konkluderes følgende:

- GVV-unitten fungerer som forventet. Med en fjernvarmefremløbstemperatur på 50 °C kan den uden problemer leverer 47 °C varmt brugsvand

- GVV-unitten har god afkøling af fjernvarmevandet ved tapning, T12 <20 ° C for T21 = 14 °C. Hvor kold fjernvarmereturtemperaturen (T12) kan blive, afhænger af det kolde brugsvands temperatur (T21).

- Omkring ventetid er følgende fundet for en GVV unit med inaktivt bypass: Ved maksimalt primært flow på 14 l/min producerer GVV-unitten 42 °C varmt brugsvand 12 sekunder efter at 50 °C varmt fjernvarmevand når terminalerne på unitten. Gentages tapningen 5 minutter efter, kan 42° C varmt vand leveres efter 7 sekunder. Medregnes forsinkelse på fjernvarmesiden (primær side) på 10 sekunder og transporttiden frem til

tappestedet på brugsvandssiden (sekundær side) på 1,2 sekunder fås en samlet ventetid på næsten 24 sekunder, hvis der ikke anvendes bypass. Beregningerne er baseret på layoutet i Lystrup.

- Med et bypass reduceres ventetiden og en undersøgelse af disse forhold vil fremadrettet blive foretaget med en numerisk model, da det er vigtigt at kende grænserne for yderligere optimering af GVV-unitten.

Følgende anbefalinger gives for det videre arbejde:

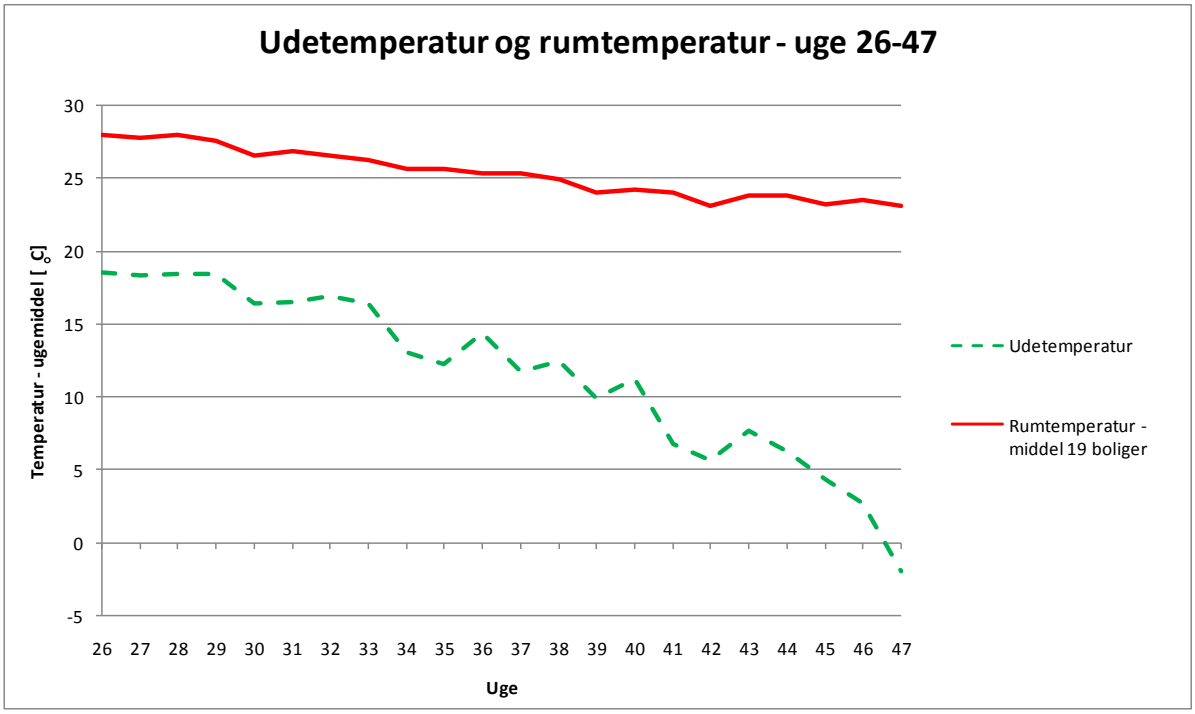
- GVV-unitten fungerer og med gode resultater. Alligevel kan dens præstationer forbedres ved hjælp af komponenter der er optimeret specielt til lavtemperaturfjernvarme.
- Veksleren og dens hydrauliske forbindelse kan forbedres ved yderligere optimering. Ventetiden kan reduceres ved at reducere antallet af plader og dermed vandindholdet i veksleren. Det vil umiddelbart resultere i lidt højere tryktab. På den anden side kan højere hastighed i veksleren og dermed bedre varmeovergang kompensere for det mindre overføringsareal.
- Brug af by-pass flow på en mere energieffektiv måde bør undersøges. En mulighed kan være at bruge by-pass flow for temperering af gulvet i badeværelser med gulvvarme eller i stedet for by-pass at bruge en booster-pumpe.
- Det foreslås at isolere varmeveksleren eller hele unitten for at mindske varmetabet fra GVV til omgivelserne og for i nogle tilfælde også at reducere ventetiden.

Marek Brand vil kigge nærmere på nogle af disse muligheder i sit Ph.D-projekt.

4.5 Varmebehov og pumpeeffekt

En rimelig vurdering af faktisk varmebehov i lavenergibyggeri er vigtig i forhold til at kunne dimensionere installationer og ledningsnet, så forbrugernes ønske om komfort kan tilfredsstilles, uden at det betyder unødvendigt store dimensioner og sikkerhedsfaktorer, men også i forhold til driftsøkonomi for fjernvarmeværket ved tilslutning af lavenergibyggeri.

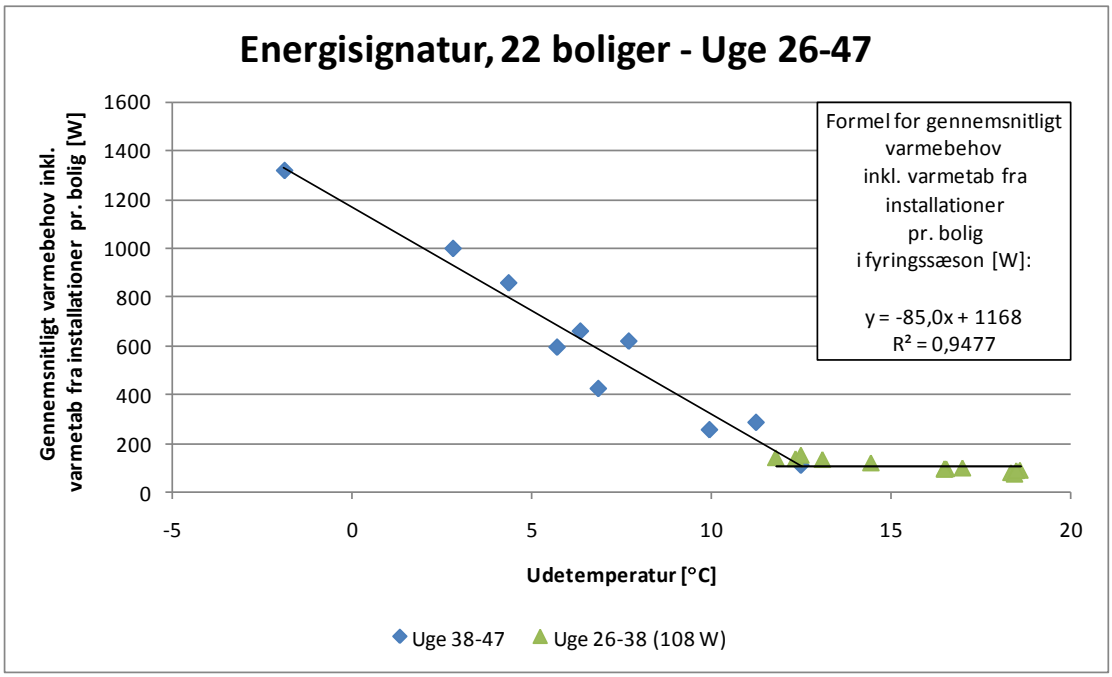
Varmebehovet kan beskrives med en energisignatur, der viser effektbehovet som funktion af udetemperaturen. Varmebehovet er også afhængigt af rumtemperaturen og der er en særlig stor afhængighed i lavenergibyggeri. Derfor er rumtemperaturen aftastet i køkken-alrum i 19 boliger i måleperioden. Udetemperaturen og rumtemperaturen er vist i figur 28.



Figur 28 Udetemperatur samt rumtemperatur i køkken-alrum som ugemiddeltemperaturer pr. uge i måleperioden

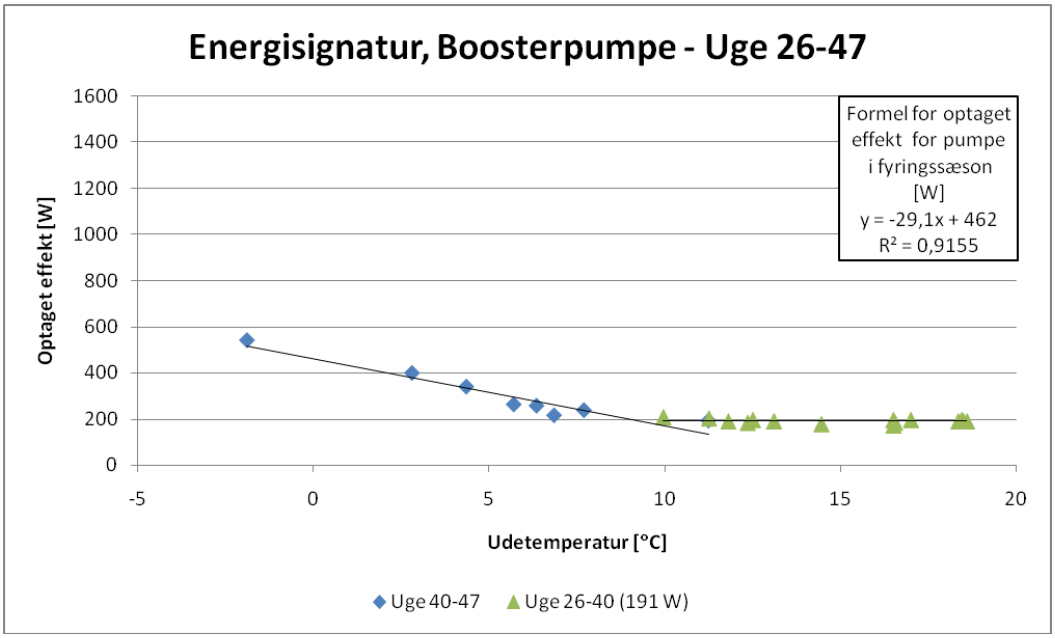
Fyringssæsonen starter i uge 39. Det ses, at rumtemperaturen i fyringssæsonen i gennemsnit ligger på 23-24°C for de 19 boliger. Det er overraskende højt og væsentligt over den temperatur på 20°C, der normalt er dimensionerende og over de 22°C, som er anvendt som grundlag i dette projekt. I uge 47 blev det meget koldt med en ugemiddeltemperatur ude på –1,9°C uden at det tilsyneladende har betydet noget for rumtemperaturen. Varmemesteren har desuden bekræftet, at der ikke har været klager fra beboerne over manglende varme.

På baggrund af måledata fra perioden uge 26-47 er der beregnet en gennemsnitlig energisignatur for de 22 boliger, se figur 29. Energisignaturen dækker én gennemsnitlig bolig. I sommersæsonen er den gennemsnitlige effekt bestemt til 108 W, som dækker varmebehov (gulvvarme mv.) og varmetab fra installationer . Forbrug af varmt brugsvand er altså ikke medregnet i signaturen og skal lægges til særskilt. Ved -12 °C ude beregnes et varmebehov inkl. tab fra installationer på ca. 2,2 kW, hvor der ved udlægning af ledningsnettet for FVB-unitten er regnet med et varmebehov på 2,4-2,8 kW afhængig af lejlighedernes størrelse (varmebehovet på 2,4-2,8 kW er beregnet med udgangspunkt i udetemperaturer igennem året jf. Design Reference Year - DRY).



Figur 29 Gennemsnitlig energisignatur for varmebehov pr. bolig inkl. varmetab fra installationer.

Tilsvarende er der beregnet en energisignatur for boosterpumpen, se figur 30.



Figur 30 Energisignatur for optaget effekt for boosterpumpen

Begge signaturer vil blive anvendt i afsnit 6 til vurdering af bebyggelsens fjernvarmeforbrug og ledningstab på årsbasis

5 Samtidighed

5.1 Diskussion af metode

Regneværket i de anvendte Kamstrup-målere fungerer således at værdierne for flow og effekt er baseret på 10 sekunders middelværdier. Temperaturerne er dog øjebliksværdier. Dermed kan de loggede værdier for flow og effekt betragtes som øjebliksværdier. En for projektet væsentlig tapning er typisk langt over 10 sekunder, derfor vurderes det, at værdierne repræsenterer maksimalværdierne.

Der samples 1 gang. pr. 4 minutter. Dvs. hvert fjerde minut har vi en øjebliksmåling på systemet. Tidsintervallet mellem målingerne kan statistisk opvejes med et øget antal samples, dvs. perioden der måles over. Er denne periode lang nok vil maksimalværdierne være realistisk repræsenteret. Datagrundlaget i denne undersøgelse strækker sig over uge 24 til 38, eller svarende til ca. 38.000 øjebliksværdier.

Metoden for beregning af samtidighederne er baseret på at finde de størst forekommende varmeforbrug pr. bolig for en gruppe af n boliger. Til dette formål er primæreffekt "e" og flow "q" analyseret for de 11 FVB units og de 11 GVV units i sommer perioden, hvorfor indflydelsen fra varmekredsen, baseret på gennemgang af målingerne, er vurderet at være uden betydning.

5.2 Metode

Grundprincippet i aggregeringsmetoden er at finde den maksimale e(n), hhv. q(n) for et givet tidsstempel over måleperioden. For e(2) er princippet vist i nedenstående figur 31:

Tidsstempel:	P1 [kW]	P2 [kW]	P3 [kW]	P4 [kW]	P.. [kW]	P11 [kW]	e(2)=∑Pmax(2)/2 [kW]
0 min	0	4	0	12	..	7	9.5
4 min	2	8	9	4	..	0	8.5
8 min	5	2	0	10	..	12	**11.0**
12 min	2	0	6	10	..	5	8.0
..	..	..	..	..	..	..	..
1 uge	4	5	0	9	..	7	8.0
..	..	..	..	..	..	..	..
hele perioden	..	..	..	..	..	..	..

Figur 31 Grundprincippet for aggregering af samtidighedsdata

Af figur 31 ses, at den maksimale effekt af 2 forbrugere, e(2), forekommer til tidsstemplet 8 min. Effekten er fremkommet på basis af bolig 4 og bolig 11. Beregnes e(3) kan maksimalværdien fremkomme til et andet tidsstempel samt i en kombination af 3 andre boliger. Vigtigt her er, at maksimalværdien e(n) baseres på et givet tidsstempel, hvor maksimalværdien, e(n), set over tidsperioden forekommer.

I dataværdierne skal der skelnes mellem om der er tapning, hhv. ladning af FVB, eller ikke. Der er dertil valgt tærskelværdier for effekt og flow som filter herfor. Det skal erindres, at unitten har et varmeholdningstab samt at der kan være et mindre varmebehov til

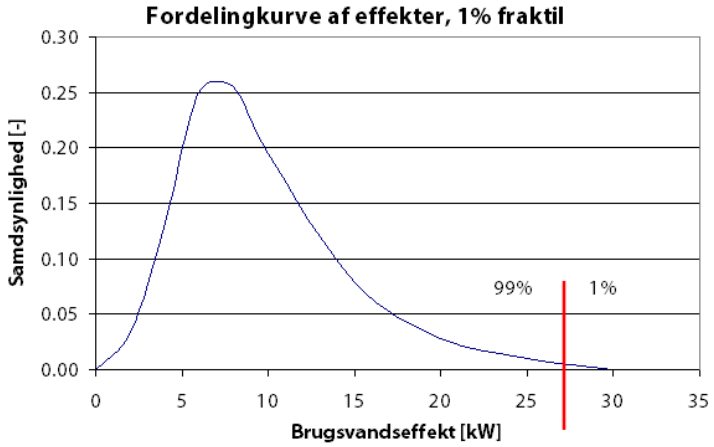
gulvvarmekredsen. De måledata der er tilbage, vil repræsenterer tapning eller ladning af fjernvarmebeholder og benævnes filtrerede data.

Tærskelværdierne er fremkommet som et kompromis ved at analysere datahistorien for flow hhv. effekt for de enkelte boliger. Værdierne er generelle for alle FVB unit og alle GVV units. Flg. værdier er bestemt som tærskelværdier:

FVB: q min = 40 l/hr, P min=500W
GVV: q min = 100 l/hr, P min=500W

Måledata under disse værdier bliver således i princippet sorteret fra. De antages ikke at være i relation til brugsvandsforbruget.

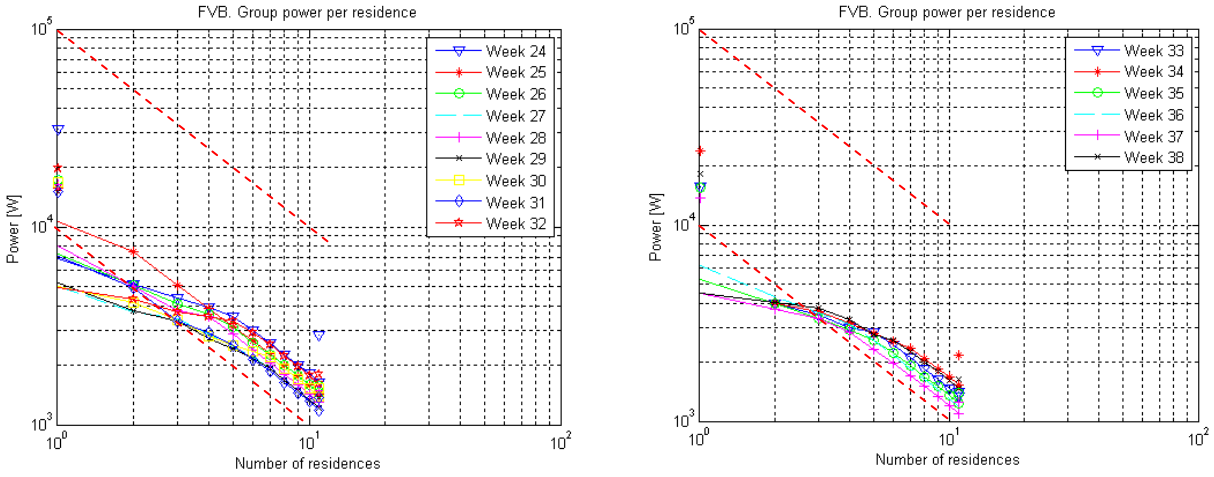
At anvende de maksimalt forekommende værdier over hele perioden kan give unødvendigt høje samtidighedskurver. Disse kurver repræsenterer således "worst case" netbelastning over hele måleperioden. I denne analyse er valgt at acceptere at der i 1% af tilfældene (af gruppen af filtrerede måledata) statistisk set sker en overskridelse af samtidighedskurverne under forudsætning af at der er tapning eller ladning af fjernvarmebeholderen. Formuleret lidt anderledes, så er der 1% sandsynlighed for at den næste datalogning på e(n) eller q(n) overskrider de her forslåede samtidighedskurver, under forudsætning af at der er én eller flere brugsvandstapninger eller ladninger af fjernvarmebeholdere igang. Hvis det ultimativt antages, at der er brugsvandsforbrug i alle døgnets 24 timer så svarer det til, at der må forventes et højere forbrug end 1% fraktilen i 24*60*0.01 = 14.5min eller ca. 15 min pr. døgn.



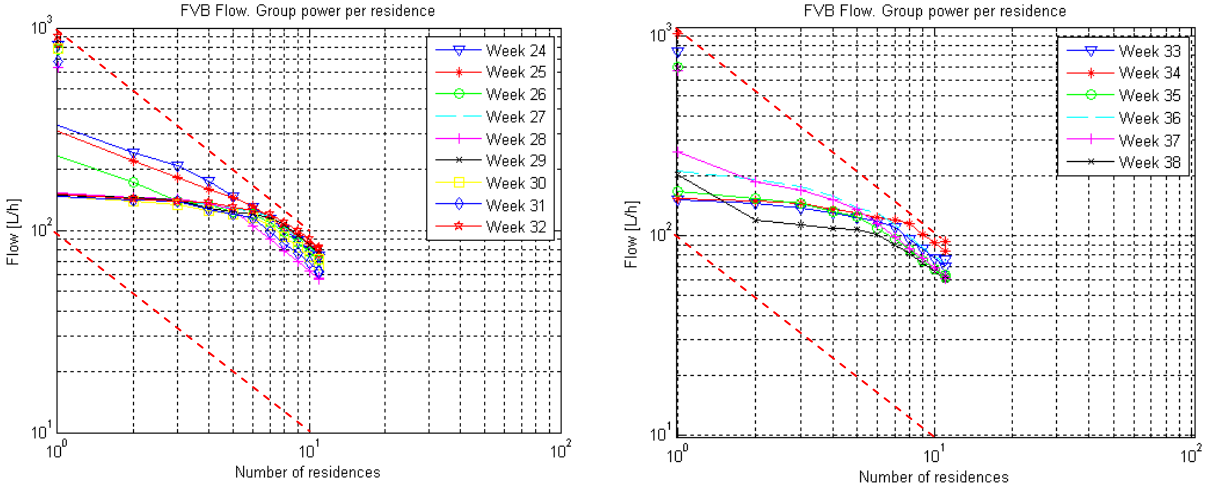
Figur 32 Principiel fordelingskurve af effekter, 1% fraktil indtegnet

Ovenstående fordelingskurve, se figur 32 følger typisk Poisson fordeling.

Indledningsvis er dog angivet eksempler på samtidighedskurver for maksimalværdierne for effekt og flow. Dette svarer til, at der er anvendt en fraktil = 0%. Kurverne er optegnet for en tidsperiode på en uge af gangen.



Figur 33 Samtidighedskurver for effekt, FVB units, maksimalværdier 0% fraktil

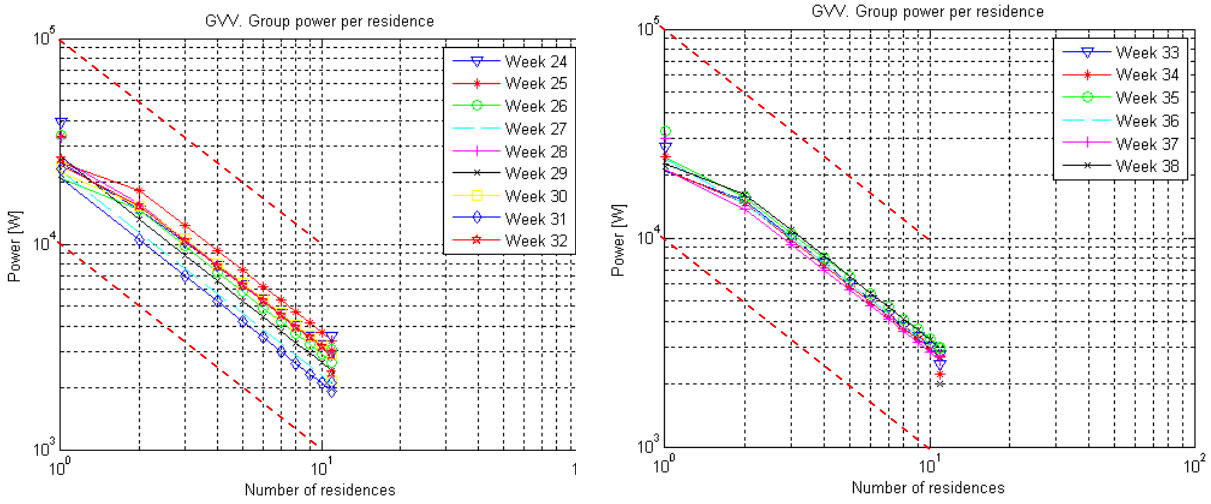


Figur 34 Samtidighedskurver for flow, FVB units, maksimalværdier 0% fraktil

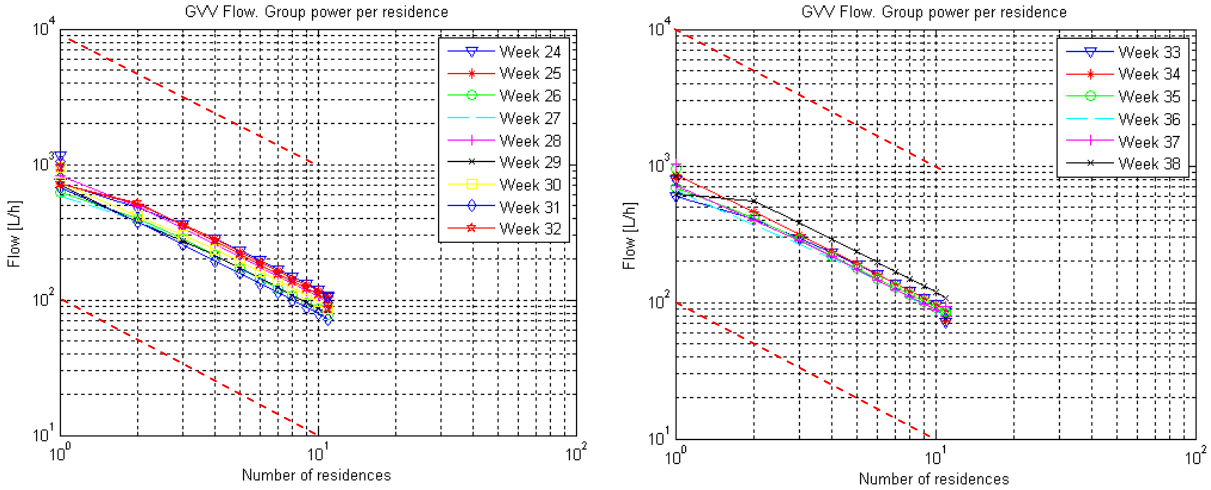
Af figur 33 og 34 fremgår, at der er effekt og flow "samtidighed" for FVB unitten op til 6 til 7 forbrugere. For n højere ses at kurverne er parallelle med de røde stiplede linjer, hvilke repræsenterer funktionen 1/n, og har hældningen -1 i det dobbelt logaritmiske diagram. At der ikke er større "samtidighed" for højere værdier, er et resultat af, at der i nogle boliger er et meget lavt brugsvandsforbrug, hvorfor de ikke bidrager til maksimaleffekten, og resultatet er at samtidighedskurven aftager med hældningen -1, eller efter funktionen 1/n for n > 6 til 7.

Maksimalværdien for FVB effekt e(1) er at finde i uge 25 og antager ca. 10 kW. Maksimalværdien for FVB flow q(1) er at finde i uge 24 og antager værdien ca. 320 l/hr. Disse værdier er langt højere end forventet. Efterfølgende er flowbegrænserne efterindstillet, effekten heraf ses i uge 37 og 38. Mere retvisende maksimalværdier er her at se som e(1) = 4.3 kW. Men for flowkurverne i disse uger er maksimalflowet stadig højt og er q(1) = 230

l/hr. Her skal erindres, at en enkelt maksimalværdi er nok til at flytte værdien op. Målet er at opnå et maksimalt flow på 100 l/h for fjernvarmebeholderladning.



Figur 35 Samtidighedskurver for effekt, GVV units, maksimalværdier 0% fraktil



Figur 36 Samtidighedskurver for flow, GVV units, maksimalværdier 0% fraktil

Af figur 35 og 36 fremgår at der er effekt og flow "samtidighed" for GVV unitten op til 2 forbrugere. I en del af ugerne er der faktisk ingen "samtidighed", hvilket igen ses af de rette linjer, parallelle med de stiplede røde linjer.

Maksimalværdien for GVV effekt, e(1), er at finde i uge 29 og antager 24,3 kW. Denne værdi er lavere end den i normen foreskrevne værdi på 32,3 kW. Maksimalværdien for GVV flow, q(1), er at finde i uge 34 og antager værdien ca. 850 l/hr. Denne værdi er tilsvarende også lavere end forventet. Ift. DS439 vandnormen, som kræver 32,3 kW, ved f.eks. et temperatur sæt på (60-25°C), bliver primær flowet 800 l/hr. Dette giver en første indikation på, at hvis lavtemperaturfjernvarme anvendes, så er de dimensionerende flow

baseret på disse målinger i samme størrelsesorden, som hvis der var anvendt normale dimensionerende fjernvarmetemperaturer.

Sammenlignes FVB unit kurverne med dem for GVV, så ses der ved n=7, hvor også FVB kurven bliver retlinjet, at q(7) = ca. 100 l/h for FVB unitten, hvor q(7) er ca. 130 for GVV unitten. Idet kurverne har samme hældning kan det herfra konkluderes at fra 7 forbrugere og op til 11 forbrugere belaster GVV unitten nettet med en ca. 30% højere hydraulisk belastning. For større antal forbruger giver denne undersøgelse i sagens natur ingen svar. Det erindres, at der er et antal FVB units der har meget lavt brugsvandsforbrug i denne måling, samt at dette baserer sig på 0% fraktilen.

Brugsvandsmønstrene er optegnet i 3-dimensionelle kurver for effekt og flow som funktion af tiden på dagen og ugedagen. Se herfor Appendiks 3. For gruppen af forbrugere er det konstateret at:

Maksimaleffekten for FVB er 17.5 kW for 10 forbrugere
Maksimalt flow for FVB er 790 l/h for 10 forbrugere

Maksimaleffekten for GVV er 37 kW for 10 forbrugere
Maksimalt flow for GVV er 1180 l/h for 10 forbrugere

Resultater for samtidighed ved anvendelse af 1% fraktilen er vist i tabel 6:

	(1% fraktiler)	Bolig	Effekt [kW]		Bolig	Flow [l/hr]
FVB units	e(1),1%	1	4.7	q(1),1%	10	152
	e(10),1%	∑Alle/10	1.0	q(10),1%	∑Alle/10	53
	(1% fraktiler)	Bolig	Effekt [kW]		Bolig	Flow [l/hr]
GVV units	e(1),1%	22	24.3	q(1),1%	22	690
	e(10),1%	∑Alle/10	1.9	q(10),1%	∑Alle/10	65

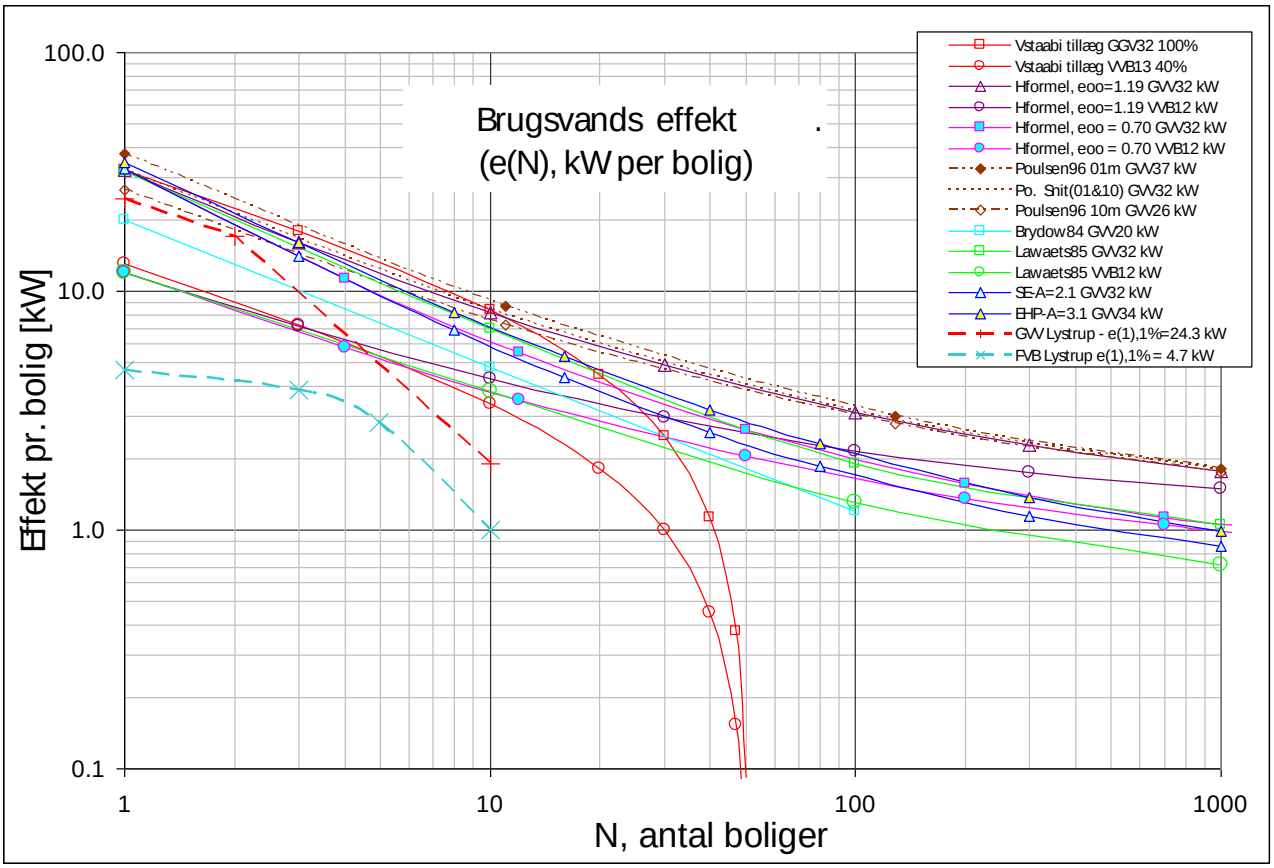
Tabel 5 % fraktiler e(1), e(10), samt for flow, q(1) og q(10). For både FVB og GVV er en forbruger taget ud grundet fejl i datasættet.

For ovenstående tabel er alle dataværdier anvendt, også de der for FVB er fra før efterindstilling. Derfor skal værdierne for FVB kun betragtes som en oplysning, uden direkte at have indflydelse på de foreslåede samtidighedskurver.

De kumulative sandsynlighedskurver der ligger til grund for værdierne i ovenstående tabeller er indeholdt i Appendiks 3.

5.3 Samtidighedsfaktor for lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri baseret på målingerne i Lystrup

Tages udgangspunkt i ovenstående resultater for FVB og GVV ved anvendelse af 1% fraktilen, og sammenlignes dette med tidligere arbejde fås resultat på figur 37:



Figur 37 Samtidighedskurver for effekter, FVB units og GVV units,1% fraktil

Det skal bemærkes, at værdierne forskellig fra n=1 og n=10 for Lystrup er vurderet på basis af kurverne for 0% fraktilerne. Disse er således kun indikative, og er ikke baseret på en egentlig fraktilberegning.

Kommentar til GVV:
Punktet for e(1) for GVV ligger lavere end tidligere arbejde, men dette skal ses i forhold til boligtypen. Det er dog værd at bemærke, at for over 2 forbrugere falder kurven markant. Her afviger data'erne tydeligt ift. tidligere arbejde. Der er i Lystrup ikke samme grad af sammenfald som i det tidligere arbejde, grundet kortere, sjældnere og mindre tapninger.

Kommentar til FVB:
Punktet e(1) for FVB unitten kunne i princippet ligge lavere hvis flowregulatorerne var stillet ens på 100 l/hr. Dette må gøres fremadrettet. Derudover er det at bemærke, at også for FVB falder kurven relativt stejlt for over 6 forbrugere. Dette skyldes, at ladningen stadig er relativt kort (ca. 3.5 timer i døgnet), og at varmtvandsforbruget er lavt.

6 Ledningsnet

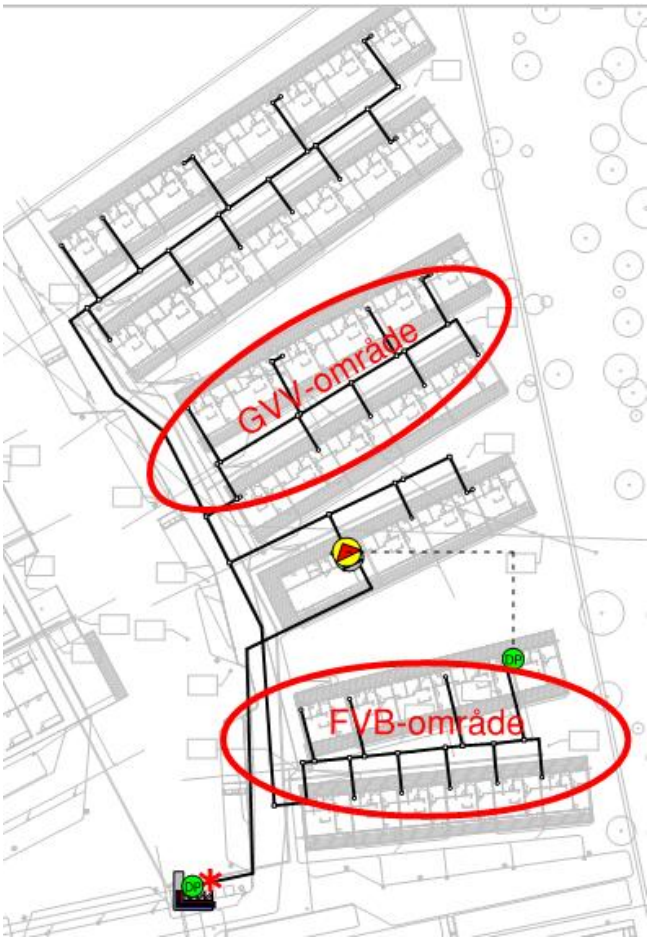
Overordnet set har ledningsnettet mindre dimensioner i området med fjernvarmebeholdere (FVB) end området med gennemstrømvekslere (GVV). Dette skyldes primært forskellige samtidighedsfaktorer samt vandnormens krav til GVV-effekt (32,3 kW).

I det følgende vil målte værdier fra ledningsnettet blive sammenlignet med beregnende værdier fra designfasen. Herunder vil der være speciel fokus på:

- Ledningstab (målt ledningstab kontra beregnede ledningstab)
- Ledningstab (fjernvarmebeholder kontra gennemstrømningsvekslere).
- Hydraulik (målt samtidighed og flaskehalse kontra beregnede/antagede værdier).
- Årsberegning for ledningstab (skaleret måling kontra beregning).

6.1 Ledningstab

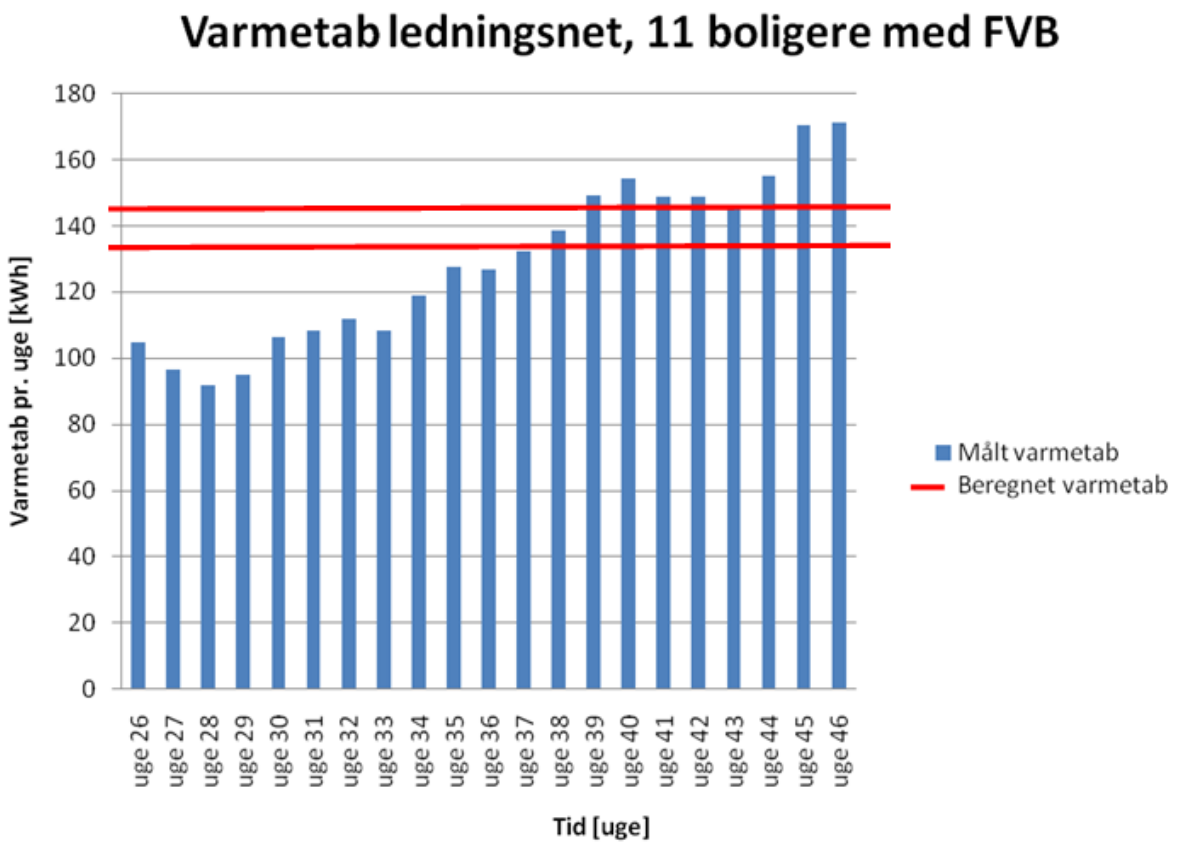
Indsamling af data har primært været muligt fra de 2 delområder med hhv. 11 gennemstrømsvekslere og 11 fjernvarmebeholdere. I det følgende sammenlignes målte og beregnede værdier for de 2 områder. De to områder som sammenlignes er illustreret i figur 38 herunder:



Figur 38 Kort med illustration af de 2 områder som primært sammenlignes i analysen af ledningstab.

6.1.1 Fjernvarmebeholderunit

Området med fjernvarmebeholdere har mindst ledningsdimensioner og dermed det mindste varmetab. Varmetabet sammenlignes i det følgende på varmetab pr. uge, men data er indsamlet med intervaller på ned til 4 minutter. Målt varmetab fra uge 26-47 sammenlignes i følgende figur 39 med varmetab beregnet ved jordtemperaturer på hhv. 8 og 10 grader (uge 47 udgår pga. målefejl):



Figur 39 Målt varmetab kontra beregnet varmetab i ledningsnet pr. uge i ledningsnet med 11 fjernvarmebeholdere (156 tracé m ledninger).

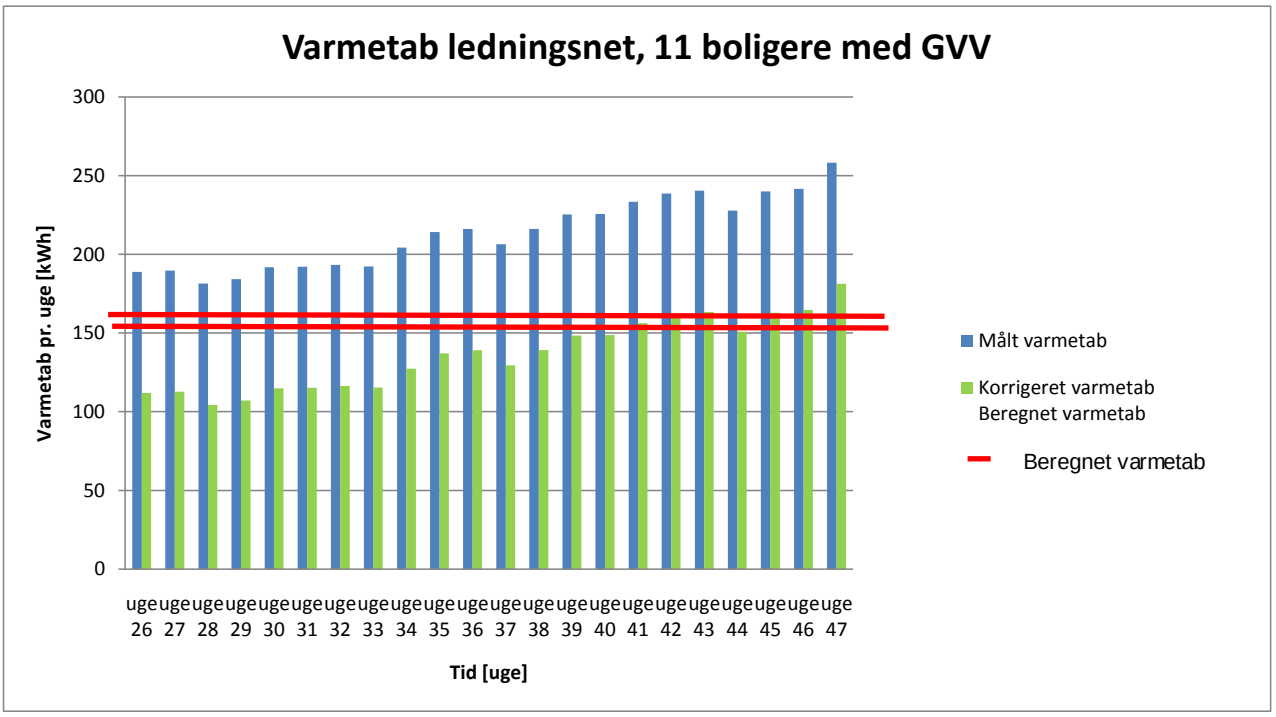
Overordnet set stemmer målte og beregnende værdier meget godt overens. Erfaringsmæssigt kan det målte ledningstab i fjernvarmenet være ca. 20% højere end det teoretisk beregnede, men det er ikke tilfældet i Lystrup. Årsagen er bl.a. at der har været stor fokus på beregning af varmetab i designfasen. I Figur 39 er der illustreret beregnet varmetab for 2 forskellige jordtemperaturer på hhv. 8 (øverst) og 10 °C (nederst) kontra målte værdier fra uge 26-46. I uge 26-46 vil jordtemperaturen i starten (om sommeren) typisk være højere end 10 °C og til slut (om vinteren) typisk være lavere end 8°C, hvilket også indikeres af resultaterne i figuren. Jordtemperaturen er ikke målt i området hvorfor den helt præcise sammenligning af målte og beregnede værdier ikke kan finde sted.

Delkonklusionen er at varmetabet til området med fjernvarmebeholdere er meget lavt og lever op til antagelser gjort i designfasen.

6.1.2 Unit med gennemstrømningsvandvarmer

Området med gennemstrømningsvandvarmer har marginalt større ledninger end området med fjernvarmebeholdere. Derimod er varmetabet fra selve fjernvarmebeholderunitten større end fra unitten med gennemstrømningsvandvarmer. GVV-unitten er desværre installeret, således at der i teknikrummet er et betydeligt stykke uisoleret rør før fjernvarmemåleren. Dette betyder et unødigt "ledningstab" før fjernvarmemåler, som der i sammenligning af varmetab bør korrigeres for. Det skal understreges at rørføring til FVB units er isoleret korrekt helt frem til unit. For at lave en fornuftigt sammenligning af målte og beregnende værdier, er der lavet en korrektionsfaktor som skal kompensere for varmetab fra det uisolerede rørstykke til GVV-unit. Der er vurderet at det uisolerede rørstykke har et varmetab pr. uge på ca. 7 kWh pr. bolig, se Appendiks 4. Da teknikrummet ikke er i direkte forbindelse med resten af boligen ses der bort for udnyttelse af varmetabet til rumopvarmning.

Målt varmetab og målt korrigeret varmetab fra uge 26-47 sammenlignes i figur 40 med beregnet varmetab ved jordtemperaturer på hhv. 8 og 10 grader:



Figur 40 Målt varmetab og målt korrigeret varmetab kontra beregnet varmetab i ledningsnet pr. uge i ledningsnet med 11 gennemstrømningsvandvarmere (153 tracé m ledninger).

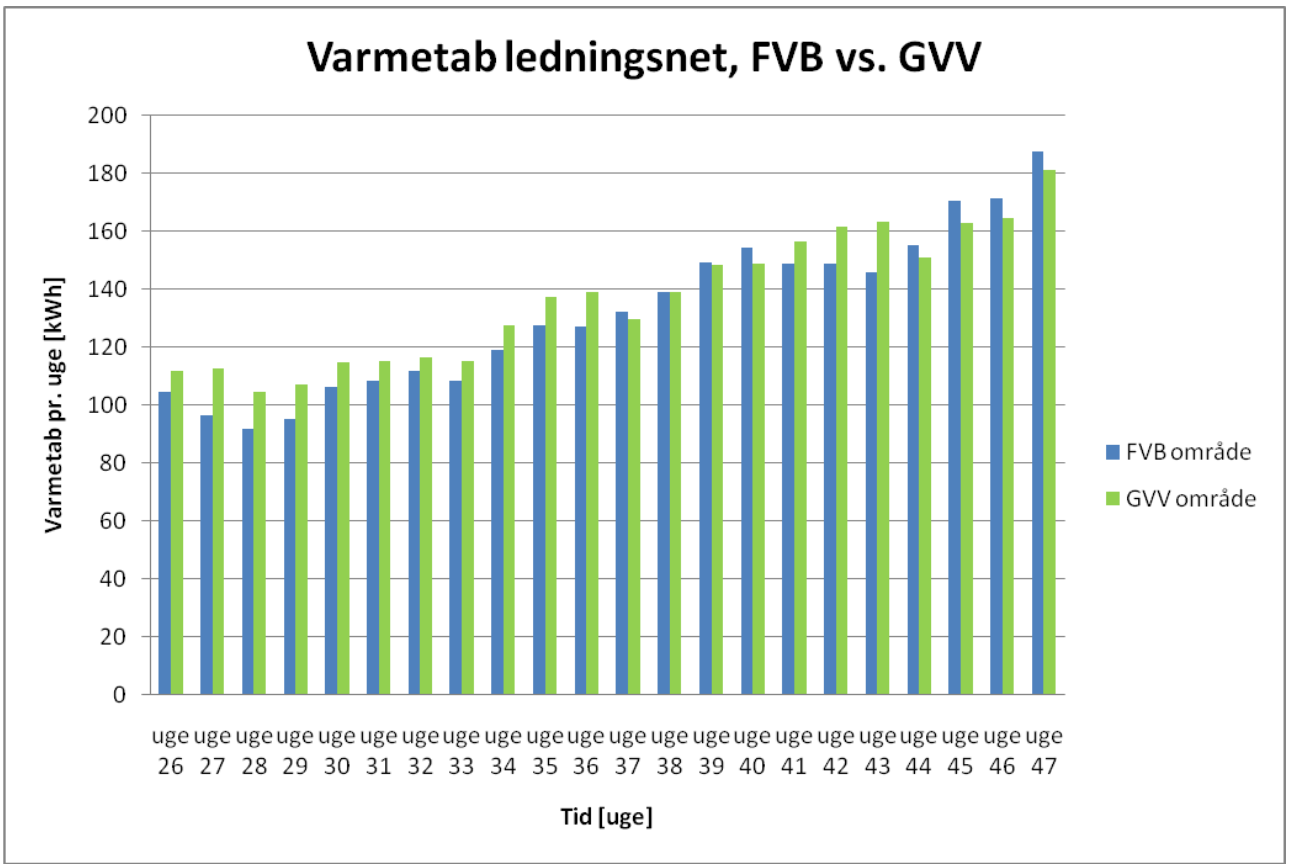
Den dynamiske forskel mellem målt "korrigeret" varmetab og beregnet varmetab har samme forløb for GVV som for FVB. Forskellen i starten vurderes også i dette tilfælde at være en forskel i jordtemperatur der ikke er målt. I Figuren er der illustreret beregnet varmetab for 2 forskellige jordtemperaturer på hhv. 8 °C (øverst) og 10 °C (nederst) kontra målt "korrigeret" og målte værdier fra uge 26-47.

Der er betydelig forskel (77 kWh pr. uge) på målt varmetab og målt "korrigeret" varmetab. Dette er mellem 30 og 50 % forøgelse af varmetabet fra hele ledningsnettet pga. ca. 3 m

(2x1,5 m) uisoleret rør i teknikrummet. Der er i sagens natur nogen usikkerhed forbundet med korrektion på baggrund af beregnet varmetab, men resultaterne indikerer hvor vigtigt det er, at isoleringen af rør føres hele vejen frem til unit /fjernvarmemåler for at undgå unødigt varmetab – ikke mindst i lavenergibyggeri.

6.1.3 Fjernvarmebeholderunit kontra unit med gennemstrømingsvandvarmer

Varmetab for de to delområder med hhv. fjernvarmebeholdere og gennemstrømsvekslere er vist sammen på figur 41. Forskellen kan direkte sammenlignes da tracélængder i de 2 områder er ens. I området med fjernvarmebeholderen er der 156 m tracé og i området med gennemstrømningsvandvarmere er der 153 m tracé.



Figur 41 Varmetab pr. uge fra et område med 11 GVV kontra varmetabet pr. uge fra et område med 11 FVB.

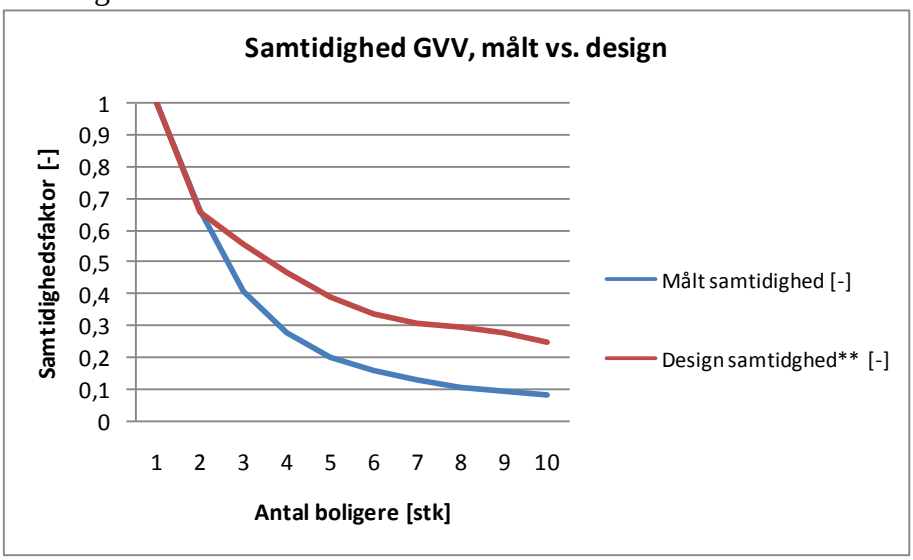
Varmetabet fra de to områder er stort set ens. Marginalt større i GVV området hvor dimensioner er lidt større. Til gengæld er der i FVB løsningen et betydeligt større tab fra selve fjernvarmeunitten end der er i området med GVV.

Delkonklusionen er at ledningstabet fra et område med fjernvarmebeholdere er marginalt mindre end i et område med gennemstrømningsvandvarmere. Inkluderes varmetabet fra units vil varmetabet i området med fjernvarmebeholdere samlet set være det største. Dette er i en situation hvor alle units med gennemstrømningsvandvarmer er forsynet med et termostatisk omløb, der holder minimum fremløbstemperatur på ca. 35 °C ved unitten om

sommeren. I områder med begrænsninger i nettet fx yderområder vil units med fjernvarmebeholdere til gengæld have nogle hydrauliske fordele.

6.2 Hydraulik

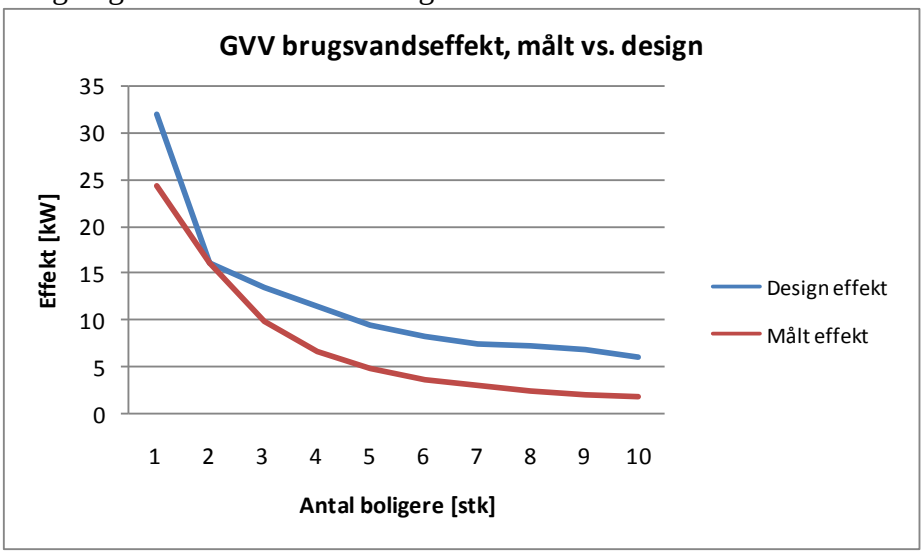
I design af ledningsnet er samtidighedsfaktoren af stor betydning. I de følgende figurer 42 og 43 kan der ses en simpel sammenligning af antaget samtidighedsfaktorer og målte samtidighedsfaktorer:



Figur 42 GVV samtidighed, design kontra målte værdier - design fra [5]

GVV er en kendt teknologi og den målte samtidighed stemmer stort set overens med antagede samtidighedsfaktorer i designfasen. Tendensen er, at den målte samtidighed er mindre end samtidighed benyttet i designfasen. Ud fra den målte samtidighed kan der konkluderes at rørene "efter" 3 boliger kunne være designet marginalt mindre.

Samtidighedsfaktoren ovenfor er korrigeret mht. effekt. Sammenlignes antaget effekt til design og målt effekt ser samtidigheden således ud:



Figur 43 GVV brugsvandseffekt pr. bolig som som funktion af antallet af boliger, design kontra målte værdier – design fra [5]

Designeffekten for én bolig er 32,3 kW som krævet af vandnormen, men figuren viser at maksimum målte effekt er på ca. 24 kW i Lystrup. Det betyder at alle stikledninger til GVV i Lystrup potentielt kunne være lidt mindre. Dog er det svært at generalisere da maksimum effekten afhænger af de enkelte brugsinstallationer i boligerne (store badekar m.m.)

Fjernvarmebeholderen er en ny teknologi og samtidigheden blev nøje vurderet i designfasen. Teoretisk set bør samtidigheden nærme sig 1 da hele konceptet ved beholdere er udjævning af flow. Dog har det vist sig at være en tilnærmelse og samtidigheden er ikke helt 1 som det fremgår i afsnittet omkring samtidighed.

Delkonklusionen er at ledningsnettet i området med GVV kører som forventet ud fra et hydraulisk synspunkt. Dog er den målte maksimum effekt på 24,3 kW mod en antaget design effekt på 32,3 kW. Ledningsnettet til området med FVB units kører ikke helt som forventet i designfasen. Ladeperioderne er væsentligt kortere end antaget. Dog forventes det ikke at have den store indflydelse i en hydraulisk maksimum belastning. I designfasen er der udset to hydraulisk kritisk ruter til hhv. den yderste forbruger med GVV og den yderste forbruger med FVB. Ud fra målingerne kan der konkluderes, at den hydraulisk kritiske rute i nettet bliver fra hovedcentralen (fælleshus) til den sidste FVB kunde.

6.3 Årsberegning

Varmetabet fra ledningsnettet på årsniveau beregnes på baggrund af varighedskurven opdelt i 8 repræsentative intervaller. De samme intervaller benyttes til at beregne boligernes årlige varmeforbrug sammen med energisignaturerne præsenteret i afsnit 4.5. Den fælles boosterpumpes årlige elforbrug beregnes ligeledes ud fra energisignaturerne præsenteret i afsnit 4.5. Resultaterne fremgår af tabel 7:

Pr. bolig [kW]	Samlet effekt [kW]	Varighed [timer]	Total energiforbrug [kWh]	VT total energi [kWh]	Temperatur-sæt [°C]	Pumpe effekt [kW]	Jordtemp. [°C]	Pumpe energi [kWh]	Bypass flow af samlet flow
2,8	116	8	931	56	55/30	1,0	1,0	8	-
2,5	103	19	1.960	129	55/30	0,9	2,0	17	-
2,1	86	111	9.571	722	55/30	0,8	4,0	84	-
1,5	62	653	40.734	3.983	55/30	0,6	6,0	362	ja
1,1	46	1.724	78.814	10.172	55/30	0,4	8,0	716	ja
0,9	35	1.399	49.562	8.254	55/30	0,3	8,0	461	ja
0,5	20	1.565	30.805	8.764	55/30	0,2	10,0	310	ja
0,2	8	3.281	25.694	17.061	55/30	0,2	12,0	627	ja
SUM		**8.760**	**238.070**	**49.141**				**2.585**	

Leveret energi	287.211 kWh
Energi forbrug	238.070 kWh
Varmetab	49.141 kWh
Varmetab	17,11 %
Pumpe energi	2.585 kWh

Tabel 6 Beregning af varmetab pr. år for hele området med i alt 41 forbrugere.

Varmetabet estimeres samlet set til 49.141 kWh/år, hvilket ved et forventet forbrug på 238.070 kWh/år giver et varmetab på ca. 17 %. Havde samme ledningsnet været udlagt med et "standarddesign" med enkeltrør, et temperatursæt på 80/40 m.m. er det beregnede varmetab ca. 200.000 kWh svarende til et varmetab på 41 % i forhold til den totale mængde energi leveret ind på nettet. Det er vigtigt at understrege at angivelsen af varmetab i procent ikke kan stå alene. Det er nødvendigt samtidigt at opgive hvilken type byggeri, der forsynes fx lavenergibyggeri. Ses på det faktiske tab fra ledningsnettet på energiniveau reduceres det

i Lystrup til ca. 1/4 af det et standardsystem har. Til gengæld fås et mindre energiforbrug til den fælles boosterpumpe.

Pumpenergien er groft estimeret i designfasen hvor effekten til pumpen forventes at køre mellem 0,6 og 1,2 kW. Det har dog vist sig at pumpen kører mindre end forventet. Pumpen kører mellem 0,2 og 1,0 kW og forventet pumpeenergiforbrug på årsbasis er 2.585 kWh.

Beregnes fjernvarmeforbruget pr. forbruger fås et årligt estimeret forbrug på ca. 5,8 MWh pr. forbruger (238,070 MWh/41), hvis fjernvarmeværket ejede ledningsnettet ud til de enkelte boliger og afregnede dem der. Medregnes varmetabet i ledningsnettet fra hovedmåler og frem fås et estimeret forbrug på 7 MWh (287,211 MWh/41) pr. forbruger. Varmetætheden baseret på ledningsstrækning og grundareal bliver hhv. 0,3 MWh/m og 14 kWh/m^2.

Delkonklusionen er, at målt varmetabet for hele ledningsnettet er meget lavt, men på niveau med forventet varmetab beregnet i designfasen. Forventet ledningstab i dette lavtemperaturnet udgør ca. 50.000 kWh/år. Havde samme ledningsnet været udlagt med et "standarddesign" med enkeltrør, et temperatursæt på 80/40 m.m. er det beregnende varmetab ca. 200.000 kWh. Dvs. en reduktion i varmetab til ca. 1/4 af et standard fjernvarmesystem.

7 Konklusion

Formålet med demonstrationen i Boligforeningen Ringgårdens afd. 34 i Lystrup ved Århus var at vise, at de lave varmetab fundet i EFP 2007-projektet "Lavenergifjernvarme til Lavenergibyggeri" kan opnås i praksis samt at videreudvikle og finpudse teknologien bag konceptet. Demonstrationsområdet er en nybygget rækkehusbebyggelse bestående af 40 boliger og et fælleshus i et plan, lavenergibyggeri klasse 1, fordelt på 7 blokke, som er opført i løbet af projektperioden 2009-2010. Der er i boligerne installeret 2 forskellige typer fjernvarmeunits, dels den i det tidligere EFP-projekt udviklede fjernvarmebeholderunit, dels units med lavtemperaturtilpasset gennemstrømningsvandvarmer. Udover målinger af fjernvarmeunits og ledningsnettets effektivitet var det også formålet at undersøge forhold omkring samtidighed.

Projektet har fulgt byggeriets opførelse, hvor konceptet indledningsvist er blevet implementeret i bebyggelsen og hvor måleudstyr til dokumentation er specificeret og installeret. Beboerne flyttede ind i perioden januar-april 2010 og den egentlige demonstrationsperiode startede i slutningen af juni og forløb frem til slutningen af november 2010 (uge 26-47). Boligerne er beboet af fortrinsvis ældre uden børn eller med familier med små børn.

Generelt har demonstrationen vist at konceptet virker. I det følgende vil resultaterne for forbrug og anlægstemperaturer, samtidighed samt ledningstab og pumpeenergi blive gennemgået, men den vigtigste indikator er måske beboernes reaktion. Lige efter demonstrationsperioden var der en meget kold periode med temperaturer ned til -10°C, hvor konceptet virkelig blev testet, men alt virkede som forudsat og varmemesteren kunne bekræfte, at der ingen klager har været over manglende varme eller varmt vand.

7.1 Demonstration af forbrug og anlægstemperaturer

Fjernvarmeforbruget hos den enkelte forbruger er målt og kombineret med målinger af rumtemperaturen i enkelte boliger er det bekræftet, at det er rimeligt at antage en rumtemperatur på mindst 22 °C ved beregning af varmebehov. En energisignatur for varmebehovet pr. bolig er udviklet og anvendt til at estimere årsforbruget. Hvis fjernvarmeværket ejede ledningsnettet ud til de enkelte boliger og afregnede der fås et årligt estimeret forbrug på ca. 5,8 MWh pr. bolig. Medregnes varmetabet i ledningsnettet fra hovedmåler og frem fås et estimeret årsforbrug på 7 MWh pr. bolig. Det giver en varmetæthed baseret på ledningsstrækning og grundareal på hhv. 0,3 MWh/m og 14 kWh/m^2, hvilket er lavt, men er over de grænser som normalt foreslås for rentable løsninger [10].

Fjernvarmetemperaturerne er registreret hos alle forbrugere og viser at det er muligt at levere en fremløbstemperatur på mindst de forudsatte 50 °C med en fremløbstemperatur fra blandesløjfen på ca. 56°C. Returtemperaturerne varierer, men ligger generelt i området lige under 30 °C for units med gennemstrømningsvandvarmer (GVV) og lige under 35°C for fjernvarmebeholderunits (FVB). Der har været tekniske problemer med enkelte units som løbende er blevet udbedret, men for begge unittyper er returtemperaturen højere end forventet. Der er derfor et potentiale for at forbedre afkølingen yderligere med trimning og

mindre designændringer. Målingerne viser ligeledes at radiatoranlægget fungerer og bidrager til en god afkøling.

Det gennemsnitlige forbrug til varmt brugsvand er målt til 65 liter pr. bolig eller ca. 28 liter/døgn pr. person, hvilket er mindre end normalt, men skal også ses i forhold til beboernes sammensætning, som er fortrinsvis ældre uden børn eller familier med små børn

Detaljerede målinger viser, at der kan leveres varmt brugsvand ved en temperatur på 3°C under fjernvarmefremløbstemperaturen, fx 47 °C ved en fjernvarmefremløbstemperatur på 50°C. I måleperioden er der er opnået gennemsnitlige varmtvandstemperatur på mellem 40-45°C. Det kan bl.a. forklares ved, at det for korte tapninger typisk ikke vil være muligt at nå maksimumtemperaturen på grund af ventetid. For FVB-unitten ligger desuden en begrænsning i beholderens kapacitet, som betyder, at fremløbstemperaturen falder efterhånden som beholderen tømmes.

Generelt har sammenligningen af unittyper vist, at den lavtemperaturtilpassede GVV-unit er tæt på markedet, hvor der for FVB-unitten stadig er brug for flere justeringer for at komme fra prototype til færdigt produkt.

7.2 Demonstration af samtidighed og analyse af samtidighedsfaktorer

Med input fra mere end 38.000 øjebliksværdier for flow og effekt er der lavet et større analysearbejde for at undersøge samtidigheden for hhv. GVV-units og FVB-units. Der er udarbejdet kurver for samtidighedsfaktoren op til 10 forbrugere. Faktoren, e(1), svarende til den beregningsmæssige effekt, hvis der kun skal forsynes en forbruger er bestemt til 4,7 kW for FVB-units og 24,3 kW for GVV-units. Punktet for e(1) for GVV ligger lavere end tidligere arbejde og de 32,3 kW, der normalt dimensioneres for, men dette skal også ses i forhold til boligtypen. Det er dog værd at bemærke, at for flere end 2 forbrugere falder kurven markant. Her afviger data tydeligt i forhold til tidligere arbejde. Det kan forklares med, at der i Lystrup ikke er samme grad af sammenfald grundet kortere, sjældnere og mindre tapninger. Punktet e(1) for FVB unitten kunne i princippet ligge lavere hvis flowregulatorerne var stillet ens på 100 l/h. Dette må gøres fremadrettet ligesom det skal overvejes om flowet skal reduceres yderligere, de forholdsvis små varmtvandsforbrug taget i betragtning. Endelig skal det bemærkes, at også for FVB falder kurven relativt stejlt for over 6 forbrugere. Dette skyldes, at ladningen stadig er relativ kort (ca. 3.5 timer i døgnet), og at varmtvandsforbruget er lavt.

Analyserne peger frem mod, at der til dimensionering af fjernvarmesystemer er brug for et meget bedre grundlag for samtidighed og at der i fremtiden i langt højere grad bør tages hensyn til boligtyper, brugsvandsforbrug og installationer for at få etableret optimale systemer.

7.3 Demonstration af ledningstab og elforbrug til boosterpumpe

Det målte varmetab for hele ledningsnettet er meget lavt, men på niveau med forventet varmetab beregnet i designfasen. Forventet ledningstab i dette lavtemperaturnet udgør ca. 50.000 kWh/år. Havde samme ledningsnet været udlagt med et traditionelt design med

enkeltrør og et temperatursæt på 80/40°C ville det tilsvarende beregnede varmetab være ca. 200.000 kWh. Det vil sige at varmetabet i forhold til et traditionelt fjernvarmesystem reduceres til ca. ¼ med det udviklede koncept. På den anden side fås et mindre øget elforbrug til boosterpumpning estimeret til ca. 2600 kWh om året.

Sammenlignes afgreninger med hhv. GVV-units og FVB-units er ledningstabet fra et område med FVB-units kun marginalt mindre end fra et område med GVV-units. Inkluderes varmetabet fra units vil denne forskel udlignes og med den nuværende FVB-prototype faktisk betyde at varmetabet i området med fjernvarmebeholdere samlet set bliver størst. I områder med begrænsninger i nettet fx yderområder vil FVB units til gengæld have nogle hydrauliske fordele og fremadrettet vil FVB-unitten formentlig kunne isoleres væsentligt bedre.

7.4 Videreudvikling og nye anvendelser

Et nyt projekt bevilget under EUDP 2010-II programmet skal bringe konceptet et trin videre og udvide udbredelsespotentialet markant. I det nye projekt, er det valgt at fokusere på implementering i eksisterende byggeri, der udgør langt størstedelen af bygningsmassen. En større del af det eksisterende byggeri har allerede fjernvarme, men i takt med, at renoveringer af ledningsnet er det oplagt at se på mulighederne for at etablere lavtemperaturfjernvarme. Varmetabet reduceres markant pga. bedre fjernvarmerør og ikke mindst den lavere temperatur, der også i højere grad giver mulighed for at anvende vedvarende energi i fjernvarmesystemet. Til demonstration i eksisterende byggeri er udpeget et parcelhusområde i Høje Taastrup og et område i Tilst ved Århus. Derudover vil demonstrationen i Boligforening Ringgårdens Afd. 34 fortsætte. I næste trin skal det nuværende stadie af lavtemperaturfjernvarme videreudvikles i form af yderligere optimering af rør, fjernvarmeunits, styringskomponenter etc.

8 Referencer

[1] *Grøn energi – vejen mod et dansk energisystem uden fossile brændsler*, Rapport, Klimakommissionen, 2010
[2] *Varmeplan Danmark 2008,* A. Dyrelund et al., Rapport, Dansk Fjernvarmes F&U-konto, Oktober 2008.
[3] *Bygningsreglementet 2008 (BR08)*
[4] *Bygningsreglementet 2010 (BR10)*
[5] *Lavenergifjernvarme til Lavenergibyggeri,* Rapport, C. Christiansen et al., EFP2007-projekt, Marts 2009
[6] *Norm for vandinstallationer*, DS 439
[7] *Vejrarkiv*, www.dmi.dk
[8] *Kedeleffektiviteter for oliefyr og naturgaskedler i enfamiliehuse*, S. Furbo et. al., Rapport, BYG·DTU R-072, 2004
[9] *A Direct Heat Exchanger Unit used for Domestic Hot Water supply in a single-family house supplied by Low Energy District Heating*, M. Brand et. al., Paper, 12th International Symposium on District Heating and Cooling, Talinn, Estland, 2010
[10] *District heating in areas with low heat demand density*, H. Zinko et. al, Rapport, IEA DHC-CHP Annex VIII, 2008
[11] *A New Low-Temperature District Heating System for Low-Energy Buildings*, P. Olsen et. al., Paper, *11th International Symposium on District Heating and Cooling*, Reykjavik, Island, 2008.
[12] *Consumer Unit for Low Energy District Heating Net,* O. Paulsen et. al., Paper, *11th International Symposium on District Heating and Cooling*, Reykjavik, Island, 2008.

9 Appendiks

Appendiks 1: Paper, 12th International Symposium on District Heating and Cooling
Appendiks 2: Baggrundsmateriale for design
Appendiks 3: Detaljerede resultater for samtidighedstest
Appendiks 4: Note om varmetab fra installationer

Appendiks - Delrapport 2

Energistyrelsen - EUDP 2008-II

DEMONSTRATION AF LAVENERGIFJERNVARME TIL LAV-ENERGIBYGGERI I BOLIGFORENINGEN RINGGÅRDENS AFD. 34, LÆRKEHAVEN I LYSTRUP

Maj 2011



TEKNOLOGISK INSTITUT

LOGSTOR

DTU Civil Engineering
Department of Civil Engineering

COWI

Danfoss

ENERGITJENESTEN



Kamstrup
- metering solutions

Boligforeningen Ringgården



AFFALDVARME ÅRHUS



Høje Taastrup Fjernvarme A.m.b.A

Indholdsfortegnelse

Side

Appendiks 1: Paper, 12th International Symposium on 76
District Heating and Cooling, Talinn, Estland, 2010 76
Appendiks 2: Baggrundsmateriale for design 84
Boosterpumpe og shunt 84
Varmeanlæg 85
Fjernvarmeunits 87
Indstillinger og indregulering 94
Appendiks 3 Detaljerede resultater for samtidighedstest 97
Appendiks 4 Note om varmetab fra installationer 102

Appendiks 1: Paper, 12th International Symposium on District Heating and Cooling, Talinn, Estland, 2010

A Direct Heat Exchanger Unit type of Substation used for Domestic Hot Water supply in a single-family house supplied by low temperature district heating

Marek Brand[1], Jan Eric Thorsen[2], Svend Svendsen[3] and Christian Holm Christiansen[4]

[1] Ph.D. student, Technical University of Denmark
[2] Senior project manager, Danfoss District Energy, Nordborg, Denmark
[3] Professor, Ph.D., Technical University of Denmark
[4] Danish Technological Institute, Denmark

ABSTRACT

The increasing number of new and renovated buildings with reduced heating requirements will soon make traditional District Heating (DH) systems uneconomic. To keep DH competitive in the future, the heat loss in DH networks needs to be reduced. One option is to reduce the supply temperature of DH as much as possible. This requires a review of the behaviour of the whole domestic hot water (DHW) supply system with focus on the user comfort and overall costs. This paper describes some practical approaches to the implementation of this Low Energy District Heating (LEDH) concept. It reports on the testing of the dynamic behaviour of an Instantaneous Heat Exchanger Unit (IHEU) designed for DHW heating and space heating in detached family houses supplied by LEDH ensuring an entry-to-substation temperature of 51°C. We measured the time it takes for the IHEU to produce DHW with a temperature of 42°C and 47°C when the tap is opened. Measurements were made for control strategies using internal and external by-pass and no by-pass. Our results show the importance of keeping the branch pipe warm if comfort requirements are to be fulfilled, but this involves higher user costs for heating. To increase user comfort and reduce user costs, we propose the whole-year operation of floor heating in bathrooms, partly supplied by by-pass flow.

INTRODUCTION

District Heating (DH) is a well known concept of providing buildings with heat for space heating (SH) and Domestic Hot Water (DHW) heating in economical and environmentally friendly way. Nowadays, building regulations have been introduced worldwide and are pushing to reduce energy consumption in buildings, because 40% of all energy consumption takes place in buildings. The energy policy of European Union is recently focused on energy savings, reducing production of CO_2 and increasing the ratio of renewable energy [1]. DH is one of the most suitable solutions to achieve these goals for building sector and it gives high priority for further development of DH. But nowadays used traditional high and medium temperature DH systems are not optimal solution for the future. Sooner or later, energy consumption of all buildings will be in accordance with low energy building regulations and it will form areas with lower heat demand than nowadays. Currently used DH networks will not be able supply these areas in economical way, because the ratio between network heat losses and heat consumption in buildings would be unacceptable and thus cost of heat for end users will increase and DH systems will loose concurrency with other solutions, e.g. heat pumps. Recently, research in DH is focused to find the way how to use DH in areas with low energy buildings and how to increase ratio of heat produced by renewable sources of energy as solar heat plants or heat pumps driven by green electricity. One of interesting application of renewable energy in DH is use of decentralised heat sources as e.g. solar collectors installed on roofs of individual buildings, supplying heat to DH network, but it still needs more time and work to develop new substations and new concept of DH networks to be able to handle these new features. The solution for future development of DH is to reduce heat losses of DH networks by means of pipes with better insulation properties e.g. twin pipes, use better concepts of network design (circular network configuration, possibility of using circulation line for main pipes) and to reduce the supply temperature of district heating water to lowest level as possible. The District Heating Systems designed due to this philosophy are called Low Energy District Heating Systems (LEDH). The main focus in LEDH system is to reduce heat losses from network as much as possible, exploit more sources of renewable energy for heat supply and still maintain or improve level of comfort for users, because without high level of comfort this concept can't be successful. LEDH concept was reported e.g. in project "Development and Demonstration of Low Energy District Heating for Low Energy Buildings [2], where theoretical case study documented, that LEDH concept is a good solution for future and even in sparse housing areas is fully competitive to heat pumps. This article is focused on application of LEDH for DHW heating. Considerations related to use of LEDH for space heating will be reported in future in another article.

LOW TEMPERATURE DISTRICT HEATING CONCEPT

Reduced risk of Legionella by use of system with minimal volume of DHW

Since LEDH is mainly developed for low energy buildings already designed with low temperature space heating, the lowest acceptable forward temperature of LEDH system is defined by requirement for DHW supply temperature. The hygienic requirement for heating of DHW is due to recent standards 50°C for single-family houses and 55°C for multi-storey buildings [3] where DHW circulation is used. In case of using circulation, temperature of recirculated water should never fall below 50°C. These requirements are based on need to avoid Legionella growth in DHW pipes and storage tanks. It is widely believed, that Legionella grow in temperature range between 46°C - 20°C, in systems with high volume of water. Mentioned temperature levels are made in order to assure comfort and hygienic requirements in furthest tap away from a heat source. It is important to say, that there is high level of discrepancy among different results and national standards focused on Legionella. Due to German Standard W551 [4], temperature of DHW can be below 50°C and not cause Legionella promotion, if total volume of DHW system connected to one heat source is lower than 3 L. From literature studied, it can be concluded that requirements to produce DHW with temperature higher than 50°C are defined for an old fashion DHW building installations, which can be characterized as systems with vertical riser, branched pipes with bigger diameter (increasing water volume of the system), using DHW circulation. For new and renovated buildings, DHW installations are designed in much better manner, with individual connection of DHW pipes between each tap and source of DHW and with maximally reduced pipe diameter, defined by requirements for noise propagation and pressure drop.

Due literature, danger of Legionella growth in DHW system is influenced by temperature of DHW, nutrients in DHW, laminar or turbulent flow in the DHW pipes and water stagnation [5]. Several on site measurements were performed in buildings using DH for DHW heating. From results of Martinelli [6] and Mathys [7] can be concluded, that Instantaneous Heat Exchanger Unit (IHEU) tend to have much less problems with Legionella than traditional units with DHW storage tank. Both studies concluded, that these findings are caused by the fact that in IHEU, DHW is produced with temperature 60°C, while in case of storage units only with temperature 50°C. But is necessary to mention, that in case of traditional DHW storage tanks, overall volume of DHW in a system is much higher than in case of IHEU system. Due to our knowledge, there is not reported investigation of Legionella in DHW system using IHEU, producing DHW with temperature below 50°C and reduced volume of the system below 3L.

For single family houses with appropriate close location of tapping points, volume of DHW in IHEU and pipes will be lower than 3 L and thus temperature of 50°C on primary side will not cause Legionella problems. For multi-storey buildings, district heating substations for each flat is a state of the art solution [8]. In this case, each flat has own completely separated DHW system (with volume of water below 3 L) and thus has increased users comfort and no huge DHW systems with circulation, where Legionella is forming and spreading [9]. The other advantage of using flat station in multi-storey buildings is individual metering of each flat and complete control over space heating and DHW preparation, which is positively affecting energy savings. With properly designed DHW building installations, supply temperature of LEDH will be defined by requirements for users comfort. These requirements are discussed in following text.

Users comfort in DHW supplied by LEDH

Another important question, when concerning DHW systems is level of user comfort. From comfort point of view, requirements for temperature and waiting time for DHW can be specified. Due to Danish Standard DS439 “Code of Practice for domestic water supply installations”, [10] temperature of DHW should be 45°C in kitchen and 40°C in other taps, provided with nominal flowrate and desired temperature reached within “reasonable” long time, without significant temperature fluctuations. It is a question, if requirement of 45°C degrees for kitchen tap is not too high, but argument of problems with fat dissolving from dishes can be objected and should be investigated. Based on mentioned standard, desired temperature of DHW flowing from fixture is 45°C. But in order to define desired forward temperature of LEDH system, we should be aware of temperature drop in DH network, in user’s substation and in DHW installations in building. The temperature drop in DH network is not in focus of this paper, so our goal is to find needed temperature level at the entrance of substation to produce 45°C from tap in building. Desired temperature will be found by experimental measurement of LEDH substation later in article.

Beside temperature requirements, users comfort is influenced by time needed for DHW to reach a fixture after tapping was started. This waiting time is in following text called “tap delay”. Due to DS439, suggested value for tap delay is 10 sec and it is defined in order to avoid wasting of water and to protect users against too long waiting times for DHW. In large multi-storey buildings with centralised preparation of DHW, short tap delay and measures avoiding Legionella growth are assured by circulation line of DHW, but not properly designed or maintained DHW circulation is quite often responsible for increased risk of Legionella [11]. Another disadvantage of DHW circulation is big heat losses, sometimes even bigger than net energy needed for DHW heating [8]. The 10 sec waiting time is not rule and for some people it is a long time, for some people short, but this value is used to evaluate tested concepts if they are fulfilling requirements for high level of users comfort or not. An overall tap delay can be studied from different angles. From dynamic point of view, tap delay consists of transportation time needed for “new volume” of water travel to tap and dynamic thermal behaviour of passed components, i.e. pipes and substation. From point of view related to location, it consists of three parts, tap delay in branch pipe (pipe from DH pipe in street to users substation), in DH substation and in DHW system in building. A tap delay in branch pipe and substation are related to DH network and substation’s control system strategy, while tap delay in DHW pipes in buildings without

DHW circulation are defined only by volume of water in individual pipes, nominal flow and to some extend also by their insulation.

Tap delay in DHW system in building

For DHW systems with individual feeding pipes and overall volume of pipes lower than 3 L, DHW circulation is not needed, because waiting time for DHW with desired temperature is not critical. In Table 1, transport delays for individual fixtures in typical house built in pilot LEDH project in Larch Garden - Lystrup, Denmark [11] are presented. It should be mentioned, that data are only transport delay, without dynamic behaviour of cooled pipe.

Table 1 - Transport delay for nominal flows for individual fixtures due to DS439, in DHW system in typical house in Lystrup, for pipes with inner diameter 10 mm

fixture	nominal flow (L/min)	length to fixture (m)	volume in pipes (L)	velocity (m/s)	transp. delay (s)
shower	8.4	2.2	0.17	1.8	1.2
basin	3.4	4.1	0.32	0.7	5.8
kitchen	6	6.3	0.49	1.3	4.9

From Table 1 can be seen, that reasonably designed close locations of fixtures, not so far away from substation, lead to maximal transport delay around 6 sec, for basin. The total volume of DHW system consists of 0.99 L in pipes and 1.1 L in HEX (type XB37H-40). It means, that it is possible to install longer pipes or more fixtures and still fulfil requirement of DHW system with volume lower than 3 L. The velocity of flowing water is below 2 m/s and thus problems with noise propagation during tapping are avoided.

Tap delay on primary side

A transport delay on primary side consists of delay in branch pipe and delay in DH substation. While tap delay in DHW installations in building is for DHW system without circulation uniquely determined, tap delay on primary side varying as control strategies for substation control varies. From energy consumption point of view, the best solution is a control strategy without by-pass (see Fig. 1). In this case, DH water staying in the branch pipes is cooled down to temperature of ambient ground (if tapping wasn't performed for long time) and DH water in substation to room temperature. In general, waiting time for DHW is influenced by controller used in substation. Basic principles of controllers are proportional flow controller and thermostatic controller. Each controller has own advantages and disadvantages, thus best solution is to combine both controllers [12]. In case of proportional flow controller, ratio between primary and secondary flow is fixed to provide DHW with desired temperature and it means in case of using LEDH primary and secondary flow will be very similar. If proportional flow controller is used for setup without by-pass, user will face to long waiting time for DHW. Waiting time for this case can be seen from Table 2. For branch pipe with inner diameter 15 mm (as is designed in Lystrup for IHEU), even transport delay to reach substation for nominal flow for basin, kitchen sink and shower will be 31.6, 17.7 and 12.6 sec, respectively. This solution is from comfort point of view and water savings completely unacceptable. If we decrease inner diameter of branch pipe to 10 mm, transport delay is decreased roughly to one half of value for pipe with inner diameter 15 mm, but it is still long time. In case of combined proportional flow controller and thermostatic controller, from beginning of tapping thermostatic part assures opening of valve on approximately full capacity until desired temperature of DHw is reached. Full opening from beginning of tapping leads to much higher flow rate on primary side than on secondary and time delay is decreased substantially. This solution can be used for short branch pipes with reduced diameters. But it should be mentioned, that transport time in branch pipe will be always limited by maximal allowed flow on primary side defined by DH provider by means of flow restrictor or by available differential pressure in DH network.

Table 2 - Transport delay for nominal flows for individual fixtures due to DS439, in branch pipe, 10 m long, for typical house in Lystrup, data simulate using proportional flow controller without by-pass

fixture	nom. .flow (L/min)	inner pipe Ød (mm)	volume in pipes (L)	velocity (m/s)	transp. delay (s)
basin	3.4	15	1.77	0.3	31.6
kitchen	6	15	1.77	0.6	17.7
shower	8.4	10	0.79	1.8	5.6
shower	8.4	15	1.77	0.8	12.6
bath	12.6	15	1.77	1.2	8.4

To reduce tap delay on primary side, control concepts with by-pass, avoiding cooling of DH water in branch pipes and substations, and thus reducing substantially waiting time for DHW are available. There are two concepts of by-pass in relation to the heat exchanger: external and internal by-pass (see Fig. 1). In case of external by-pass, DH water enters substation, but not enters heat exchanger and is sent back to DH return pipe and thus branch pipe is kept on desired temperature. Desired temperature is controlled by thermostatic valve situated in by-pass loop. Increased level of comfort expressed by reduced tap delay can be adjusted independently on temperature of DHW on secondary side. The set-point temperature of external by-pass is always compromise between insufficient cooling of DH water and additional heat consumed by customer and reduced waiting time for DHW. In case of operation of space heating system, the function of by-pass is to some extend overtaken by space heating loop and thus heat for "by-pass" operation is not wasted and temperature of DH water returning to DH network is cooled sufficiently.

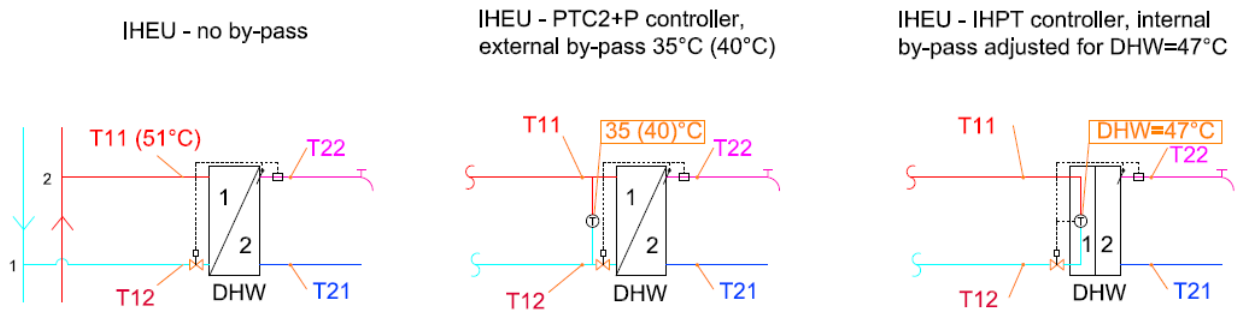


Fig. 1 Different by-pass strategies for IHEU: left no-by pass, middle external by-pass (cold HEX), right internal by-pass (hot HEX)

In case of internal by-pass, by-pass flow is passing through heat exchanger and keep it warm (see Fig. 1). The benefit of this solution is even more reduced tap delay than in case of external by-pass, but on the other hand, since heat exchanger is kept warm, internal by-pass solution has additional heat losses. If substation is installed in room with need of space heating, heat losses are considered only outside of heating season. Contrary to external by-pass solution, where it is not so important if space heating loop is installed in series or in parallel to DHW heat exchanger, in case of external by-pass it is in importance. If space heating loop is connected in parallel to DHW heat exchanger in traditional way, by-pass water just pass through DHW heat exchanger and is sent back to DH network with still high return temperature, without any other use. If space heating loop is connected in series to DHW heat exchanger or in parallel but with possibility to sent by-pass water flown through internal by-pass to space heating loop (see Fig. 2), this solution provides high level of comfort for users as well as proper use of heat needed for by-pass operation.

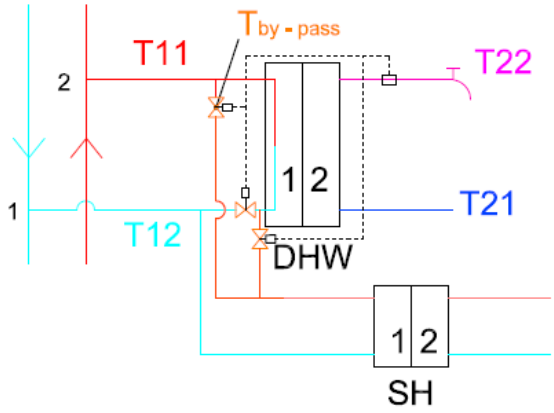


Fig. 2 Combined by-pass concept, with possibility of use by-pass flow in space heating loop

In order to run by-pass without drawback of insufficient cooling of DH water and wasted heat also outside of heating season, it is proposed to use by-pass flow for floor heating, installed in bathroom and operate it all year. From preliminary calculations it looks, that flow needed to keep bathroom floor surface temperature on 24°C will be enough as by-pass flow. Considering the use of renewable sources of heat, the problem of insufficiently cooled DH water is related to reduced efficiency of these sources and whole year using of floor heating for comfort in bathroom is reasonable.

Supply – supply recirculation

As an alternative solution for customers who don't want to use whole year bathroom floor heating, solution called supply-supply recirculation is a possibility how to use benefits of by-pass without whole year heating of bathroom. In this case, district heating water is supplied by pipe 1 to substation, circulated through HEX or external by-pass (see Fig. 1)

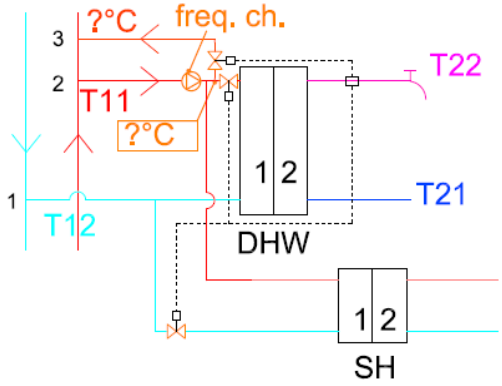


Fig. 3 Supply – supply recirculation with external by-pass

and then sent back to district heating network (DHN) supply by pipe no.3. This concept is in early stage of investigation but it looks promising. The main question will be related to flow of DH water in branch pipe in order not cool it down too much before will be sent back to DH supply pipe in the street. This solution is expected to be favourable mainly for circular shapes of DH networks, but it should be mentioned, that re-heating stations will be probably needed in point of DH network, where temperature of DH water decrease bellow defined value.

Full scale demonstration of LEDH

Full scale demonstration of LEDH is recently running in Larch Garden in Lystrup, Denmark [11], where 40 low energy houses class 1 and 2 are connected to LEDH system, with designed forward temperature from heat plant 52°C. For primary side of substation, forward temperature of 50°C and return temperature of 25°C are designed. The DH network is built from highly insulated single pipes (for main pipes) and main pipes with smaller diameter, distribution and branch pipes are built from twin pipes. Two types of district heating substations providing houses with DHW and space heating are tested by customers in real conditions. The

first concept is 29 Instantaneous Heat Exchanger Units (IHEU), second is 11 District Heating Water Units (DHWU). IHEU is classical concept of substation with instantaneous heat exchanger, only with enlarged number of plates. IHEU units have external by-pas, with set point temperature of 35°C for customers situated not at the end of street and 40°C for customers situated at the end of the street. DHWU is new concept of DH substation, reported e.g. by Paulsen [13]. DHWU consist of buffer tank for district heating water and when DHW is needed, DHW is heated in instantaneous heat exchanger as in previous case. Advantage of concept with buffer tank is peak-shaved demand of DH water during charging and use of branch pipes with lower diameter, connected with lower heat loss. On site measurements were started in Lystrup to evaluate performance of both types of DH substations, but no detailed measurements requiring short time steps are performed to evaluate level of users comfort. The measurements more focused to user's comfort are planed to be performed this year in Danish Technological Institute and Technical University of Denmark (DTU) on DH systems simulating the conditions in Lystrup. The DH systems will consist of branch pipes, substation and DHW building installations and different control approaches (external or internal by-pass, different set up by-pass temperatures, possibility of supply-supply recirculation, etc.) will be studied for DH substations supplied by LEDH. Measured data will be used for evaluation of performance of different control concepts, level of users comfort and lately also for validation of numerical model which is aimed to be developed for optimization LEDH systems.

TEST OF TEMPERATURE PERFORMANCE

As a first part of measurements planed to be performed at DTU, the time needed for IHEU to produce DHW with temperature of 42°C and 47°C was measured, after tapping of DHW was started. The tap delay was investigated for two control strategies, one using internal and second using external by-pass. The measurements were performed for different initial conditions before tapping was started to simulate in realistic way users behaviour. Finally, the period between two by-pass flow operations was measured.

Experimental setup and instruments

Tested DH substation was prototype of Instantaneous Heat Exchanger Unit (IHEU) developed specially for LEDH pilot project in Larch Garden – Lystrup, Denmark. The IHEU is a type of district heating substation consists of a heat exchanger (HEX) without storage tank. DHW is heated instantaneously in HEX only when tapping is performed and then supplied directly to DHW taps by individual feeding pipes, while space heating is using direct connection without heat exchanger, i.e. concept typical for Denmark. Substation is same concept as regular IHEU for traditional DH. The difference is in increased number of plates in heat exchanger assuring better heat transfer. Water volume of primary and secondary side is 1.1 L each and the heat exchanger is not insulated. The experiments were focused only on dynamic behaviour of substation related to DHW heating and thus space heating loop wasn't connected and space heating valves in substation closed. Desired temperatures of DHW were chosen in accordance with requirements in DS439 for temperature of DHW for kitchen sink and other fixtures. Required temperatures mentioned in DS 439 are 45°C and 40°C. In order to cover additional temperature drop in building DHW installations, 2°C were added. This addition is based on experience from previous measurements. During the experiments, temperatures of four different flows were measured. On primary side it was temperature of supplied DH water T11 and temperature of water returning from substation back to DH network, denoted T12. On secondary side the temperature of cold potable water entering substation, denoted T21 and temperature of heated DHW, denoted T22 were measured. All temperatures were measured by thermocouples type T, installed directly in pipes, in flowing water, so they do not have any practical time delay for the measurements. The time constant to reach 90% of step change was less than 1 second. The distance of thermocouples from substation flanges was 5 cm and thermocouples were previously calibrated. We also measured surface temperature of HEX in upper (HEX-UP) and bottom part (HEX-DOWN) and temperature of air in the testing room. Temperatures were measured and collected by multifunction acquisition unit every second. For authentic simulation of DH network, DH water with constant temperature of 51°C was necessary. It was solved by connecting of IHEU to source of DHW in laboratory of DTU, where DHW is supplied by DH system. DHW system of DTU is big enough, to assure stable temperature 51°C without any fluctuations. In order to prevent cooling down of pipes supplying DHW to laboratory in periods when there wasn't flow through substation (stopped by by-pass controller), small guard flow, just before entrance to substations was kept to maintain DHW always on 51°C and drained to sink.

Experimental procedure

As a first step, both controllers were adjusted to provide 47°C on DHW side with supply temperature of DH water 51°C. Then we measured time delay in the substation, i.e. time needed for substation to produce DHW with temperature 42°C and 47°C on secondary side outlet from the moment when DHW tap is opened.
The measurements were performed for different initial conditions and secondary flowrate was always 8.4 L/min, which is nominal flow for shower.

1. For measurements of concept with external by-pass, substation was controlled by PTC2+P controller with by-pass set point temperature adjusted to 35°C. This setup is exactly the same as is installed in Lystrup pilot project. The testing procedure was made in following steps. Substation was left idle for long time in the testing room, so all components and water in HEX were on room temperature. Than we opened the valve on DH supply in substation and DH water with temperature of 51°C started to flow in the substation and flew through external by-pass, until closing temperature was reached and by-pass flow stopped. Than we wait until by-pass was opened again. Time between two by-pass openings as well as volume and temperature of DH water passed through by-pass was written down and after by-pass was closed again, we waited a little bit shorter time than was needed to open by-pass flow again and we start tapping on secondary side with flow

rate 8.4 L/min. In this way, most unfavourable condition for substation with by-pass, i.e. highest recovery time, was measured. After tapping of DHW was finished, we wait 5 minutes and we performed one more tapping to simulate short time step between two subsequent tapping of DHW.

2. For measurement of internal bypass concept, IHPT controller was used. The state of the art of control systems for DH substations is in integrated controllers, providing all needed functions in one "box". In our case, we tested IHPT controller with integrated functions of differential pressure controller, proportional controller and thermostatic controller. The IHPT has function of internal by-pass but by-pass set point temperature can't be adjusted independently and depends on adjustment of desired DHW temperature. Adjustment of DHW was chosen in accordance with our requirements to 47°C on DHW. The testing procedure was similar to measurements with external by-pass. After supply valve on primary side of substation was opened, DH water with temperature of 51°C started to flow in the substation and temper HEX, until by-pass closing temperature was reached. Than we wait until by-pass was opened again and we performed tapping of DHW just before next by-pass opening was expected. In following steps was procedure same as in case of external by-pass.

Moreover, we also performed measurements of time delay in IHEU for control concept without by-pass.

RESULTS

Time delay for IHEU with PTC2+P controller and external by-pass adjusted to 35°C to start supply DHW water with temperature 42°C and 47°C after long idling period just before opening of external by-pass was expected, can be seen from Fig. 4 and is 11 and 22 seconds, respectively.

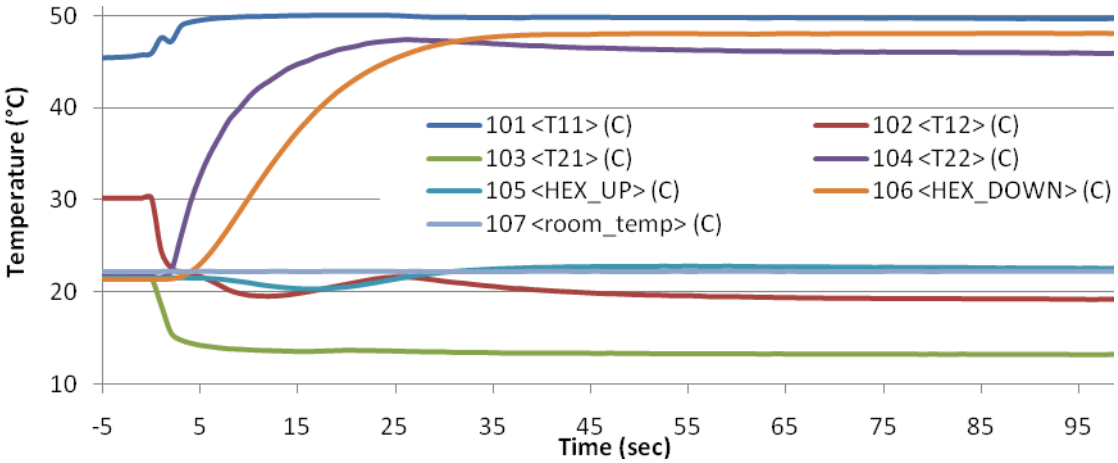


Fig. 4 Time delay for external bypass (PTC2+P), when tapping is performed just before expected start of by-pass flow, set on 35°

This measurement represents condition with the longest time delay for PTC2+P controller. Temperature of room, where IHEU was installed was 22.2°C. For this case, temperatures of produced DHW in first 10 sec after tapping was started are listed in Table 3. In case, when tapping of DHW was performed after long idling just after by-pass flow was stopped, time delay decreased to 8,5 and 16,5 seconds. In this measurement, temperature of substation and thus water standing in the HEX was little higher than ambient air temperature. It is expected that time delay will be slightly longer, if substation will have real ambient temperature but still shorter than in case 2. We also performed measurement of tap delay five minutes after previous DHW tapping was finished. In this case, tap delay in substation to produce DHW with temperature 42°C and 47°C was shorter, 7 and 14 seconds.

For room temperature around 22°C, external by-pass was opened roughly every 30 minutes. The by-pass was in average opened 2.5 minute and volume of DH water needed to close the by-pass was in average 3 L, i.e. when is substation idling, by-pass uses 6 L of DH water per hour.

Table 3 - Temperatures measured for PTC2+P controller in first 10 sec after tapping was started for situation after long idling, just before by-pass was expected to run again

τ(sec)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
T22 (°C)	21.6	22.3	26.0	29.7	32.6	35.0	36.9	38.7	39.9	41.2	42.2	42.8	43.5	44.2	44.7	45.1	45.5

Time delay in IHEU equipped with IHPT controller with internal by-pass adjusted by requirement of DHW to 47°C was 6 and 14 seconds to reach 42°C and 47°C on outlet for situation when tapping was performed just before by-pass was expected to open. The internal by-pass opens 3 minutes after previous tapping is finished and when is once opened never closes, only when another tapping is performed, but again only on 3 minutes. The average flow of internal by-pass was 24 L/hour and average return temperature to DH network was 45°C. When internal by-pass is once opened, the time delay in substation decrease substantially to 1.5 and 7 seconds to produce DHW with temperature 42°C and 47°C.

The condition with expected longest time delay was solution without by-pass. In this case time delay to produce DHW with temperature 42°C and 47°C was 12 and 25 sec.

All measured results are summarized in Table 4.

Table 4 - Overview of time delays for all measured cases

	case number and description	T_{11} (°C)	τ_{42} (sec)	τ_{45} (sec)	τ_{47} (sec)	T_{12} (°C)	T_{12AVG} (°C)	T_{HEX-UP} (°C)	$T_{HEX-DOWN}$ (°C)
NO BY PASS	1 -after long idling, no by-pass (BYP)	50.1	12	18	25	16.2	19.5	20.4	21
EXTERNAL BY-PASS	2 -after long idling, just before BYP was expected to open again	49.6	11	16	22	30.1	19.3	21.5	21.4
	3 - after long idling, just after BYP closed	50.6	8.5	12	16.5	42.6	19	*29*	*26*
	4 - 5 minutes after previous tapping finished	50.8	7	10	14	25	19.1	22.3	37.4
INTERNAL BY-PASS	5 - just before BYP was expected to open (3 min after prev. tapp. finished))	50.5	6	10	14	19.5	19.1	22.6	38
	6 - anytime, when BYP was already in operation	49.3	1.5	3.5	7	47.3	18.4	44	45.5

DISCUSSION

Focused on level of users comfort and proper cooling of DH water during idling, time delay of LEDH substation to supply DHW with temperature 42°C and 47°C was measured. Three different control strategies related to tap delay were investigated. Obtained results representing case of IHEU used in single-family house in period when space heating is not in operation. Explored concepts can be evaluated from two different points of view, due to highest advantages for customer and for DHN.

The solution without by-pass is from energy savings point of view very interesting because doesn't need any DH water for idling, but from users comfort point of view is very poor because of reduced comfort and problems with wasting of water during waiting for DHW with desired temperature. Solution without by-pass can be probably used for substations equipped with combined thermostatic and proportional flow controller, for customers with short branch pipes or for customers with low requirements for level of users comfort. If solution without by-pass will be used for substation controlled only with proportional flow controller, even transport delay in 10 m long branch pipe for nominal flow for basin will be 32 sec. For period when space heating is operated, branch pipe will be kept warm from flow needed for space heating and time delay for solution without by-pass will be very similar to solution with external by-pass. Anyway, in non-circularly shaped DH networks, by-pass should be installed at least at the end of a street, so it is better to find solution how to use by-pass flow in useful way than sent it directly back to DH return. Considering this, it is suggested to use by-pass flow for whole year operation of floor heating in bathrooms to increase comfort for customers and at the same time solve problem with by-pass flow which otherwise increasing return temperature to DH network.

From user comfort point of view, better solution than solution without by-pass, but consuming more energy, is substation equipped with external by-pass. By comparison of results of concepts without by-pass (case 1) and solution with external by-pass, for case when tapping is performed after long period of idling just before by-pass opens again (case 2), we can see that time delays are almost the same (see Table 4). Difference is only that for external by-pass, pipes before by-pass are kept on higher temperature and it made slightly faster reaction. In the case 3, time delay is even more reduced since pipes in substation were warmer by just finished by-pass flow. For control concept with external by-pass and tapping repeated 5 minutes after previous one, time delay is again reduced, since HEX is still hot from previous tapping. The time delay for case 4 and 5 are almost the same, only difference is that in case 5 (internal by-pass), tap delay is again reduced because tapping was performed 3 minutes after previous (to prevent influence of by-pass) and thus HEX was warmer.

If the requirement is to fulfil 10 sec tap delay for less favourable fixture, i.e. in our case basin (see Table 1), DHW should leave DH substation with temperature 42°C in 4 sec after tapping was started, because it will take 6 second to reach the tap. This requirement was reached only by concept with internal by-pass and only when by-pass was already opened. On the other hand from Table 3 can be seen, that even for concept with external by-pass and tapping after long idling and just before expected bypass opening, DHW at a temperature 26°C leaving substation in 3 sec. DHW with this temperature is not sufficient for taking a comfortable shower for which temperature 37±1°C is preferred, but for washing hands this temperature should be enough. The values in Table 3 are for flow rate used for shower, but it can be used to explain, that is time to rethink the suggested value of tap delay from 10 sec to another value and consider also nominal flows and use of tapped water. The different standards for the different use of DHW based on new solutions in DHW supply systems and results from test panels are needed, because it may have some influence on design of optimized DHW systems. Nevertheless, for customers requiring DHW in very short time e.g. continuously or discontinuously (only during rush hours) operated trace heating elements can assure almost no tap delay by keeping DHW staying in pipes on desired temperature.

CONCLUSION

Based on literature study it can be concluded that hygienic requirement of DHW with 50°C on outlet of DHW heater is not needed for systems with a total volume of the DHW lower than 3 L.

From results of our measurements and evaluation of IHEU supplied by LEDH, only substation with external by-pass with set point 46°C is able to produce 47°C DHW in time bellow 10 sec. The easiest step how to decrease waiting time also for other concepts is to insulate HEX. This measure will reduce time delay for DHW tapping and also will decrease heat losses from DH substation. The lower waiting times for DHW can be also achieved by further optimisation of HEX in way of decreased number of plates reducing volume of water in HEX and thus transport delay, and by increased thermal efficiency of HEX (followed on the other hand by higher pressure loss). Both solutions can lead for higher temperature of DH water returning to DH network, but during all our experiments, average return temperature was below 20°C, what is 5°C less than is designed for LEDH.

Traditional control concepts of DH substations are always trade-off between users comfort and reduced cooling of DH water during idling and thus customer should have to some extent possibility to choose which solution prefers. In case of traditional concepts, decision is between longer waiting time for DHW and energy savings or vice versa, if by-pass in substation is used. In non-circularly shaped networks, by-pass should be used anyway at least at the end of a street line. The one of possible solutions how use by-pass flow in better way can be proposed innovative concept of whole year operated floor heating in bathrooms or supply-supply recirculation. Both solutions increasing level of user comfort and at the same time also energy efficiency of DH system.

LEDH is a promising solution for providing buildings with DHW and space heating regarding fulfilling requirements of modern society with reduced CO_2 emissions and energy consumption. More detailed investigations by testing of different parameters and numerical simulations are needed in order to optimize LEDH concept.

Future work

It will be very interesting to compare time delay of substation for traditional DH with time delay for DHW produced by LEDH substation. It is expected that timed delay for LEDH will be higher because dynamic response is slowed down by lower temperature difference between DH water and desired temperature of DHW, but on the other hand, lower temperature difference is in some extend compensated by bigger HEX. It is also suggested to rethink “10 sec tap delay suggestion” for different taping flows and purposes of DHW use.

REFERENCES

[1] S. Froning, “Low energy communities with district heating and cooling”, PLEA 2008 – 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin,

[2] Hovedrapport, “Udvikling og Demonstration af Lavenergifjernvarme til Lavenergibyggeri” 2009, (in Danish)

[3] EUROHEAT & POWER, “Guidelines for District Heating Substations”, 2008, downloaded from www.euroheat.org in October 2009, pp 8

[4] DVGW, ”W551 - Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen” ,1993, Bonn, (in German)

[5] Z. Liu, “Effect of flow regimes on the presence of Legionella within the biofilm of a model plumbing system”, 2006, Journal of Applied Microbiology, Vol. 101, pp 437-442

[6] F. Martinelli, “A Comparison of Legionella pneumophila Occurrence in Hot Water Tanks and Instantaneous Devices in Domestic, Nosocomial, and Community Environments”, 2000, Current Microbiology, Vol. 41, pp. 374-376

[7] W. Mathys, J. Stanke, et. al.,” Occurrence of Legionella in hot water systems of single-family residences in suburbs of two German cities with special reference to solar and district heating”, 2008, Int. J. Hyg. Environ. Health, Vol. 211, pp. 179-185

[8] H. Kristjansson, “Distribution Systems in Apartment Buildings”, Published at the 11th International Symposium on District Heating and Cooling, August 31 to September 2, 2008, Reykjavik, ICELAND

[9] T. Persson, “District Heating for Residential Areas with Single-Family Housing, paper IV”, 2005, Doctoral Thesis, Lund Institute of Technology, Lund

[10] Dansk Standard, “DS 439 Code of Practice for domestic water supply installations”, 2009

[11] P.K. Olsen, “Low-Temperature District Heating System for Low-Energy Buildings”, 2009, http://www.fbbb.dk/Files/Filer/Peter_Kaarup_Olsen_-_COWI_29-10_2009.pdf

[12] H., Boysen, J.E. Thorsen, “Control Concepts for DH Compact Stations”, Published in Euroheat and Power IIII 2004

[13] O. Paulsen, “Consumer Unit for Low Energy District Heating Net”, Published at the 11th International Symposium on District Heating and Cooling, August 31 to September 2, 2008, Reykjavik, ICELAND

Appendiks 2: Baggrundsmateriale for design

Boosterpumpe og shunt

Den centrale shunt placeret i fælleshuset:



Varmeanlæg

Radiatorydelse for forskellige temperatursæt og ydelser:

			Ydelser			
			70/40/20	*60/30/20*	*55/25/20*	*50/25/20*
		Aritm. DeltaT	35,0	25,0	20,0	17,5
Højde (mm.)	Type	Længde (mm.)	W	W	W	W
555	22	400	396	254	189	158
555	22	500	495	317	236	198
555	22	600	594	381	283	237
555	22	800	792	507	378	317
555	22	1000	990	634	472	396
555	22	1400	1386	888	661	554
655	22	1800	2032	1296	962	805
655	22	2000	2258	1440	1069	894
655	22	2200	2484	1584	1176	983

2PK - 555:	Km:	8,97
	n:	1,323
2PK - 655:	Km:	9,75
	n:	1,3365

Oversigt over radiatorstørrelser og antal i de forskellige lejligheder

RIO Panelradiatorer, anvendt i Lærkehaven i Lystrup

						C1				C2				Fælleshus			
Boligtype						*Ydelser (W)*				*Ydelser (W)*				*Ydelser (W)*			
C1	C2	Fælleshus	Højde (mm)	Type	Længde (mm)	*70/40/20*	*60/30/20*	*55/25/20*	*50/25/20*	*70/40/20*	*60/30/20*	*55/25/20*	*50/25/20*	*70/40/20*	*60/30/20*	*55/25/20*	*50/25/20*
1	1		555	22	400	396	254	189	158	396	254	189	158	0	0	0	0
	1		555	22	500	0	0	0	0	495	317	236	198	0	0	0	0
1	1		555	22	600	594	381	283	237	594	381	283	237	0	0	0	0
		1	555	22	800	0	0	0	0	0	0	0	0	792	507	378	317
1		1	555	22	1000	990	634	472	396	0	0	0	0	990	634	472	396
	1		555	22	1400	0	0	0	0	1386	888	661	554	0	0	0	0
1		1	655	22	1800	2032	1296	962	805	0	0	0	0	2032	1296	962	805
		2	655	22	2000	0	0	0	0	0	0	0	0	4516	2880	2137	1788
	1		655	22	2200	0	0	0	0	2484	1584	1176	983	0	0	0	0
4	5	5	I alt			4012	2565	1906	1596	5354	3423	2545	2131	8329	5318	3949	3305

Fjernvarmeunits

Data blad for GVV unit:

REDAN

Akva LES II TD-Unit



Anvendelsesområde
En komplet installation for varme og varmt vand til direkte anlæg. Velegnet til to-strengs anlæg. *Akva LES II TD-Unit'en* har kapacitet til at forsyne enfamilie huse med normalt varmtvandsbehov med rigeligt, varmt vand. Unit'en er særlig velegnet til installationer i områder med lavtemperatur fjernvarme. Kan anvendes ved fjernvarme fremløbstemperatur op til 65°C.

Bestykning
TD-Unit'en leveres med pladevarmeveksler type XB 37H-1 20, sikkerheds- og kontraventil på koldtvandstilgangen, afspærringsventiler, følerlommer, TD-regulator, snavssamlere, by-pass, brugsvandsregulator PTC2 samt pasrør for måler i fjernvarme frem og retur. Unit'en er forberedt for brugsvands-cirkulation. Som ekstraudstyr kan unit'en leveres med indbygget Danfoss AVE trykudligner.

Design
Unit'en kan leveres med kappe i hvidlakeret finish.

Lang levetid
Anvendelse af syrefast, rustfrit stål AISI 316 til henholdsvis rør og pladeveksler samt anvendelse af godkendte komponenter sikrer unit'en lang levetid.

Vandvarmer
Vandvarmeren er baseret på en kobberloddet højeffektiv Danfoss pladevarmeveksler type XB37H-1, med optimal afkøling af fjernvarmevandet.

Pladevarmeveksleren styres af en kombineret tryk- og termostatstyret brugsvandsregulator type PTC2.

By-pass (termostatisk omløb)
Unit'en leveres med by-pass, således at der ved tapning straks produceres varmt vand ved vandvarmeren. Temperaturen i omløbet indstilles for bedst mulig komfort og økonomi.

Montering
Monteringen er hurtig og enkel. Unit'en fastgøres på væg, og da alle tilslutningsstudse er placeret i rørbærerafstand fra væg, er det muligt at etablere en pæn rørføring.
Unit'en kan monteres på REDAN Fordelermodul type G, GI og GRI model S.

Montering af fjernvarmemåler
Fjernvarmemåleren kan placeres enten i fjernvarme retur eller fremløb.

Servicevenlig
Hensigtsmæssig rørføring og konsekvent samling med omløbere gør det nemt at servicere unit'en.

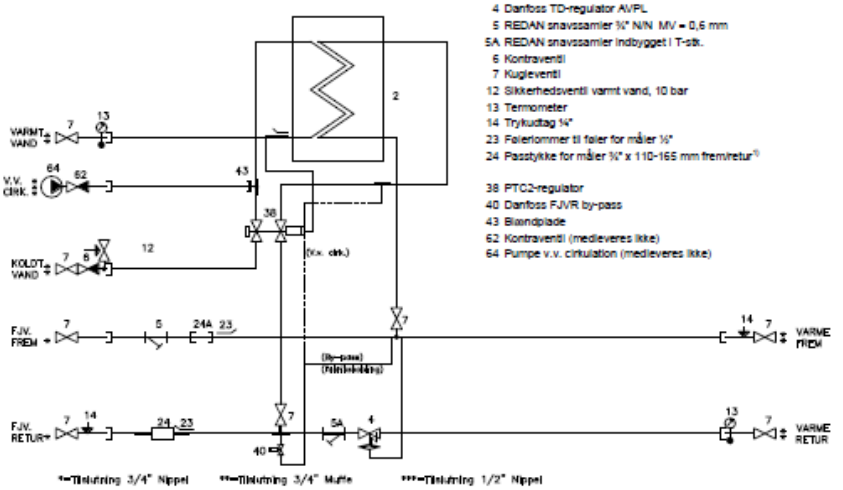
Danfoss Redan A/S
Omega 7, Søften, DK-8382 Hinnerup Tlf. 87 43 89 43, Fax 87 43 89 44

Maj 2010

REDAN

Akva LES II TD-Unit

Principdiagram og stykliste:



2 Pladeveksler varmt vand XB 37H-1 20
4 Danfoss TD-regulator AVPL
5 REDAN snavssamler ½" N/N MV = 0,6 mm
5A REDAN snavssamler indbygget i T-stk.
6 Kontraventil
7 Kugleventil
12 Sikkerhedsventil varmt vand, 10 bar
13 Termometer
14 Trykudtag ¼"
23 Følerlommer til føler for måler ½"
24 Passtykke for måler ¾" x 110-165 mm frem/retur*)

38 PTC2-regulator
40 Danfoss FJVR by-pass
43 Blandplade
62 Kontraventil (medleveres ikke)
64 Pumpe v.v. cirkulation (medleveres ikke)

Data for REDAN Akva LES II TD-Unit med PTC2-regulator:

TD-Unit:

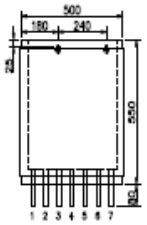
Mål uden ramme:	H840 x B550 x D290 mm
Mål med kappe:	H990 x B590 x D400 mm
Vægt m. ramme:	25 kg
Vægt m. emballage:	27 kg
Trykklin:	TN16
Max. fjv. temp.:	65°C
Min. fjv. ΔP:	0,30 bar

Vandvarmer variant XB37H-1 20:

Trykklin:	TN16
Max. ΔP:	6,0 bar (lukke)
Max. ΔP:	1,5 bar (regulering)
Min. fjv. temp.:	52°C
Max. fjv. temp.:	65°C
Min. sek. flow:	3 l/min.
Min. kv. tryk:	2,0 bar

Ekstraudstyr: a. Danfoss AVE trykudligner monteret fra fabrik.
b. Unit kan leveres med isoleret fjv.frem.

Målskitse std. :



Tilslutninger:

1	Fjernvarme fremløb	¾" Muffe
2	Fjernvarme retur	¾" Muffe
3	Anlæg frem	¾" Muffe
4	Anlæg retur	¾" Muffe
5	Koldt vand	¾" Muffe
6	Varmt vand	¾" Muffe
7	Evt. Cirkulation	

Ydelser, tryktab:

Varmt vand		Akva LES							
Antal lejligheder		1							
Effekt	kW	32,3							
Brugsvandstemperatur	°C	10/45							
Fjernvarme fremløbstemp.	°C	52	60						
Fjernvarme returtemp.	°C	18,4	14,3						
Tryktab veksler (fjv.)	kPa	11,6	6,7						
Samlet tryktab (fjv.)	kPa	33	25						

Danfoss Redan A/S
Omega 7, Søften, DK-8382 Hinnerup Tlf. 87 43 89 43, Fax 87 43 89 44

Maj 2010

Data blad for FVB unit:



Comfort LGS/LGM

Primær beholderanlæg til villaer, der forsynes med direkte lavtemperatur fjernvarme

Comfort serien til lavtemperatur fjernvarme fremstilles i to varianter LGS og LGM, med henholdsvis 120 eller 175 liters primær beholder.

Anvendelsesområde
Comfort LGS/LGM er komplette units for varme og varmt brugsvand til direkte anlæg i villaer tilsluttet lavtemperatur fjernvarme med fremløbstemperaturer ned til 50 °C.
Comfort LGS/LGM leveres som standard med blandesløjfe, og Comfort LGM leveres desuden som standard med gulvvarmemanifold.
Comfort LGS/LGM er baseret på enten en 120 eller en 175 liters primær beholder.
Beholderanlæggene er højisoleret, således at de tilgodeser varmetabskravene for lavenergibebyggelse.

Princip
Beholderanlæggene er baseret på en primær beholder, hvori man akkumulerer fjernvarmevand. Varmtvandsforsyningen sker ved hjælp af en tryk- og termostatstyret gennemstrømningsvandvarmer, der er tilsluttet primær beholderen. Ved varmtvandstapning pumpes beholdervand ind i veksleren, således at belastningen af fjernvarmnettet holdes på et lavt niveau.
Når der ikke tappes varmt vand, kan returvandet fra beholderen anvendes som supplement til gulvvarmekredsen. Når returvandet fra beholderen ledes gennem gulvvarmekredsen optimeres afkølingen. Comfort LGS/LGM er forsynet med automatik, der styrer beholdertemperaturen, samt fremløbstemperaturen til varmekredsen efter udetemperaturen.

Bestykning
Comfort LGS/LGM leveres med primærbeholder, gennemstrømningsvandvarmer, Danfoss ECL110, tre aktuatorer, blandesløjfe for varmekredsen, boosterpumpe, flowswitch og AVE trykudligner. Derudover indgår afspærringsventiler, kontra- og sikkerhedsventiler, termometre og snavssamlere. For LGM versionen er der mulighed for op til 6 gulvvarmekredse. Comfort leveres med funktionel kappe i nyt helisoleret design.

Design
Comfort LGS/LGM er gulvstillede modulopbyggede units. Målene overholder standard modulmål for indbygningsskabe. Teknikdelen er placeret under beholderen.
Kappen består af to sidepaneler samt en aftagelig frontplade, således at der er let adgang til hele systemet. Kappen er helisoleret med 60 mm isoleringstykkelse.

Service- og montagevenlig
En hensigtsmæssig rørføring og konsekvent samling med omløbere gør det nemt at servicere og montere unitten.

Aflæsning og indregulering
Termometre er placeret så de let kan aflæses. Brugsvandsregulatoren til indregulering af det varme vand er placeret hensigtsmæssigt, således at regulering uhindret kan foretages.

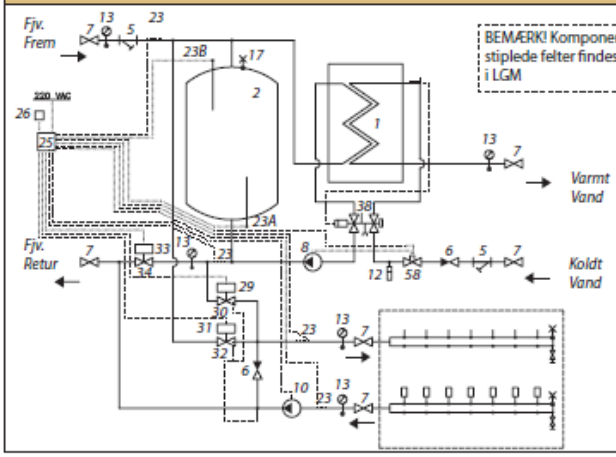
FORDELE

- Komplet installation for varme og varmt brugsvand til direkte anlæg i villaer tilsluttet lavtemperatur fjernvarme
- God afkøling
- Følger modulmål
- Højisoleret beholderanlæg, minimalt varmetab
- Udviklet specielt til lavenergibebyggelse pga. lavt varmetab
- God driftsøkonomi
- Masser af varmt vand

xx.xx.xx.xx © Danfoss 12/2008

Comfort LGS/LGM

Diagram – Eksempel



1. Pladevarmeveksler Danfoss XB37
2. Varmtvandsbeholder 120/175 L
5. Snavssamler
6. Kontraventil
7. Kugleventil
8. Pumpe varme UPA 15-60
10 Pumpe blandesløjfe Alpha2 15-40
12. AVE trykudligner
13. Termometer
17. Luftskrue
23. Føler ESMC
23A Føler, beholder ESMB
23B Føler, beholder ESMB
25 Danfoss ECL110
29. Motor AMV 150
30. Ventil AHPBM-F kvs=0,8
31. Motor AMV 150
32. Ventil AHPBM-F kvs=0,8
33. Motor AMV 150
34. Ventil AHQMTilslutninger
38. IHPT
58. FLowswitch

Konstruktionsdata:

Tryktrin:	Tn 10
Max. fremløbstemp.:	60 °C

Vægt:

LGS120	100 kg
LGS175:	115 kg
LGM120:	105 kg
LGM175:	120 kg

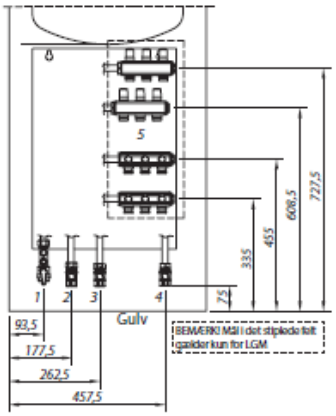
Farve (kappe): Hvid RAL 9010

Mål (mm):

LGS 120:	H 1750 x B 570 x D 570
LGS 175:	H 2100 x B 570 x D 570
LGM 120:	H 1750 x B 570 x D 570
LGM 175:	H 2100 x B 570 x D 570

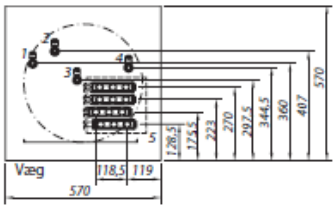
El-tilslutning: 230 V AC

Tilslutningsdim.: 3/4"



Tilslutninger:

1 Fjv. frem	4 Koldt vand
2 Fjv. retur	5 Gulvvarme
3 Varmt vand	



Varmt vand: Ydelseseksempler ved 10°C/42 °C

Beholder liter (l)	Primær frem °C	Primær retur ved tapning °C	Primær retur ved ladning °C	Varmt vand ydelse kW	Tappe-temp. °C
120	50	16	22	Iht. DS439* 368 l/dag Maks. effekt 32 kW	42
175	50	16	24	Iht. DS439* 368 l/dag Maks. effekt 32 kW	42

Varme: Ydelseseksempler

Beholder liter (l)	Varme-tab (W)	Primær flow for tankladning l/h	Primær flow for varmekreds ΔT prim=25° C, Varme effekt 3 kW l/h
120	100	75	100
175	120	40	100

*) Bemærk at varmtvandstemperaturen er sænket til 42 °C. Her foreskriver DS439 45 °C ved maks. effekt.

Danfoss Redan A/S · District Heating · Omega 7, Søften · DK-8382 Risskov
Tel.: +45 87 43 89 43 · Fax: +45 87 43 89 44 · redan@danfoss.com · www.redan.danfoss.dk

Danfoss påtager sig intet ansvar for mulige fejl i kataloger, brochurer og andet trykt materiale. Danfoss forbeholder sig ret til uden forudgående varsel at foretage ændringer i sine produkter, herunder i produkter, som allerede er i ordre, såfremt dette kan ske uden at ændre allerede aftalte specifikationer.
Alle varemærker i dette materiale tilhører de respektive virksomheder. Danfoss og Danfoss-logoet er varemærker tilhørende Danfoss A/S. Alle rettigheder forbeholdes.

xx.xx.xx.xx © Danfoss 12/2008 DKDHR

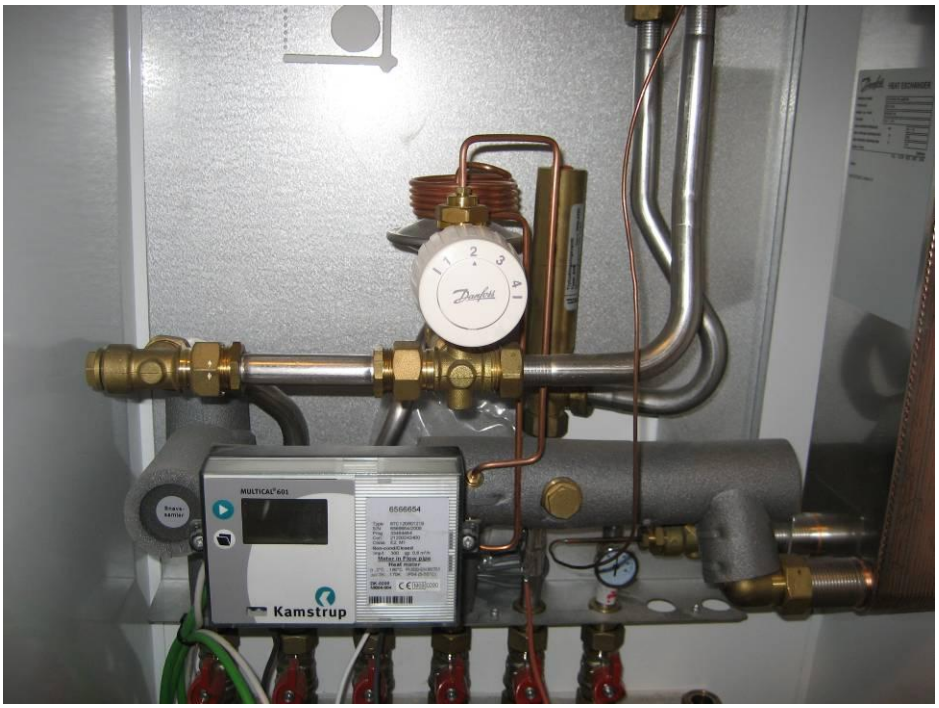
Billeder fra byggepladsen af installationerne





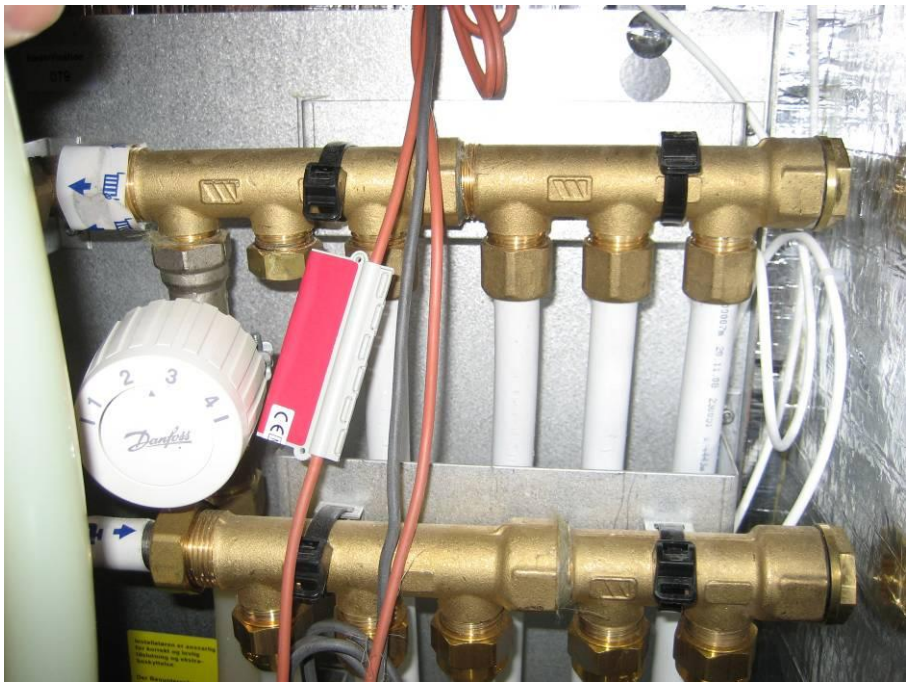
GVV-units installeret





FVB-unit installeret med beholder og gulvvarmemanifold





Indstillinger og indregulering

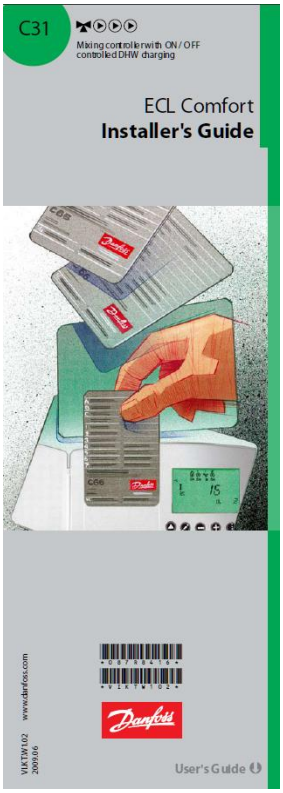
GVV-Unit
Brugsvandsregulatoren er sat til 2 omdrejninger fra maks. indstilling dette svarer til en udløbstemperatur fra varmeveksleren på ca. 48°C.
Tomgangstermostaten (bypass) er indstillet på 3.0 = 40°C for den sidste forbruger og på indstilling 2.5 = 35°C for de øvrige forbrugere.

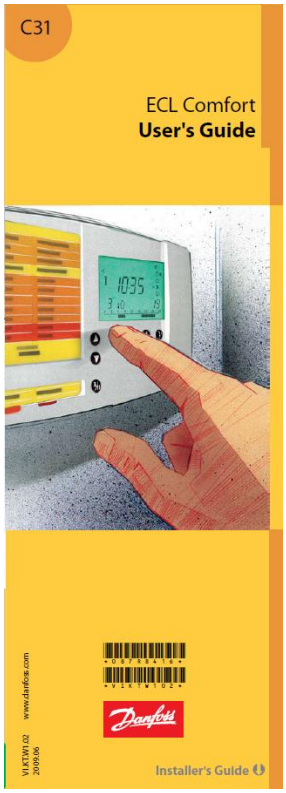
FVB-Unit
Denne Unit er udstyret med en ECL300 elektronisk regulator. Applikationskortet, som er udviklet til FVB unitten, har Danfoss korttypenummer C31. Indstillingerne for brugsvandsladning og varmekreds fremgår at nedenstående oversigt. Der køres ikke med tidsstyrede reducerede indstillinger for hverken brugsvand eller varmekreds.

Brugsvandsregulatoren er sat til 2 omdrejninger fra maks. Indstilling, dette svarer til en afgangsstemperatur fra varmeveksleren på ca. 48°C.

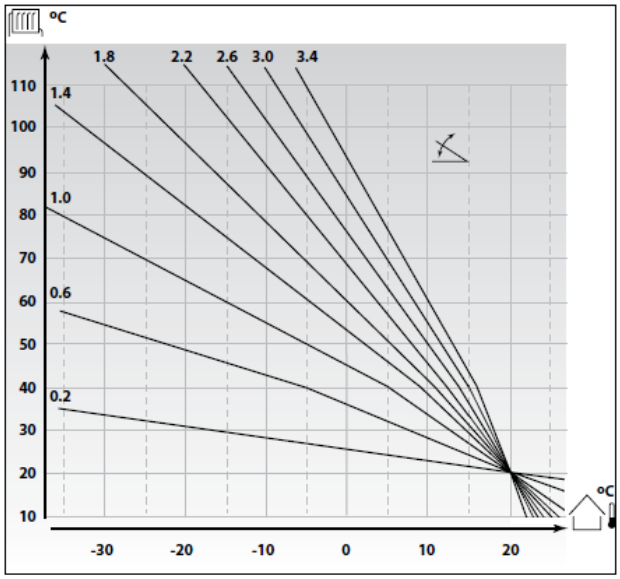
FVB unitten har ikke en bypass termostat, men bruger i stedet gulvvarmen i badeværelset som bypass. Indstillingen af denne er tilstræbt på 2.0 = 30°C, men der er konstateret noget variation på denne, idet brugerne efterfølgende har indstillet denne individuelt.

Forside for Applikations / Brugermanual til ECL elektronisk regulator:





Forklaring af vejrkompenseringskurven. (Valgt indstilling Slope:1.0, Displ. 0.0°C)


°C
1.8
2.2
2.6
3.0
3.4
1.4
1.0
0.6
0.2
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
°C
-30
-20
-10
0
10
20

30a ECL Card settings (circuit I)

A	Time and date		Section 17
B	System information		Sections 18 & 19
C	Heat curve		Section 20
	Setting ranges	*Factory settings*	*Your settings*
	Slope		
	0.2 ... 3.4	2.+	1.0
	See section 20		
	Parallel displacement		
	-9 ... 9 K	0 K	0.0
	See section 20		
1	**Limit for heating cut-out**		
	10 ... 30 °C	20 °C	20
	See section 21		
2	**Flow temperature, min. / max. limits**		
	10 ... 150 °C	min. 10, max. 90 °C	10 - 60
	See section 22		
3	**Room temperature influence**		
	0 ... 99 / -99 ... 0	min. 0, max. -40	0
	See section 23		
4	**Proportional band, Xp**		
	1 ... 250 K	80 K	80
	See section 26		
5	**Integration time constant, Tn**		
	5 ... 999 sec.	30 sec.	30
	See section 26		
6	**Running time of the motorized control valve**		
	5 ... 250 sec.	35 sec.	35
	See section 26		
7	**Neutral zone, Nz**		
	0 ... 9 K	3 K	3
	See section 26		

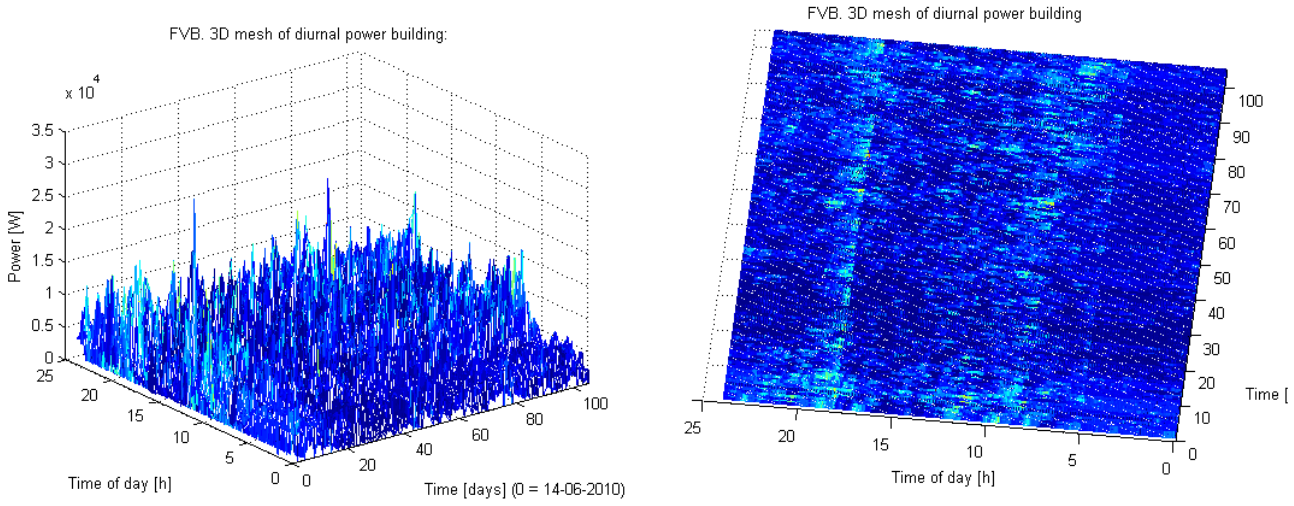
30b ECL Card settings (circuit II)

A	Time and date		Section 17
B	System information		Sections 18 & 19
C			
	Setting ranges	*Factory settings*	*Your settings*
1	**Primary storage tank temperature difference**		
	1 ... 30 K	6 K	6
	See section 27		
2	**Return temperature difference**		
	1 ... 30 K	4 K	4
	See section 27		
3	**Max. charging time, M3**		
	5 ... 250 min.	40 min.	40
4			
5	**Acceptable temperature deviation below desired flow temperature**		
	OFF / 1 ... 30 K	5 K	5
	See section 27		
6	**Acceptable temperature deviation above the desired flow temperature**		
	1 ... 30 K	5 K	5
	See section 27		
7	**Time interval before closing M3**		
	1 ... 99 min.	10 min.	10
	See section 27		

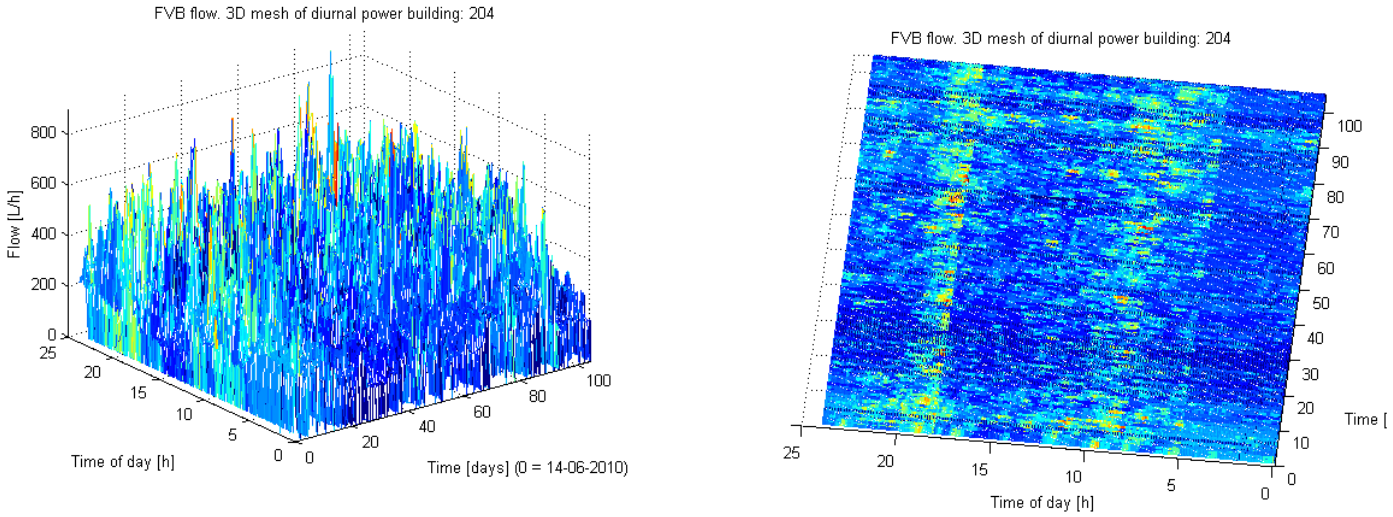
Varme ”cut-out” temperaturen er indstillet til 20°C, hvilket betyder at varmekredsen er aktiv op til 20°C udendørstemperatur.

Appendiks 3 Detaljerede resultater for samtidigheds-test

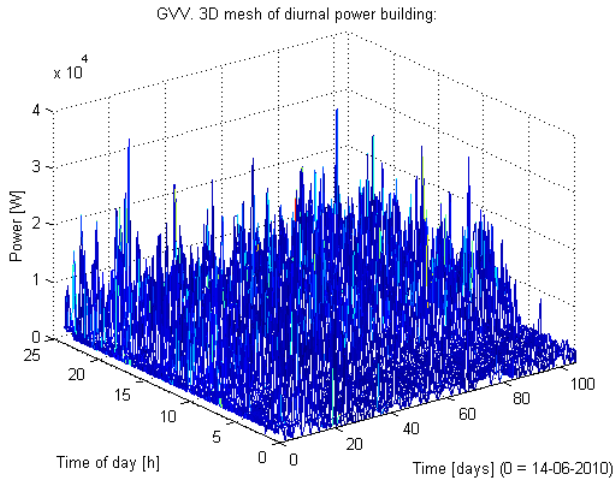
Måleresultater for samtidighed:

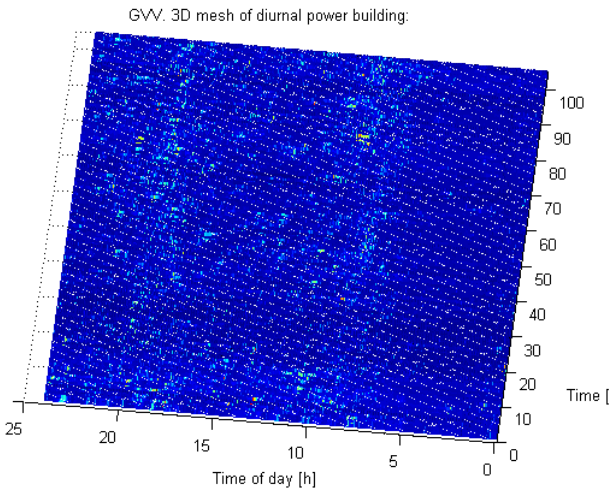


FVB unit effekt, alle 11 lejligheder (summen af enkeltmålinger)

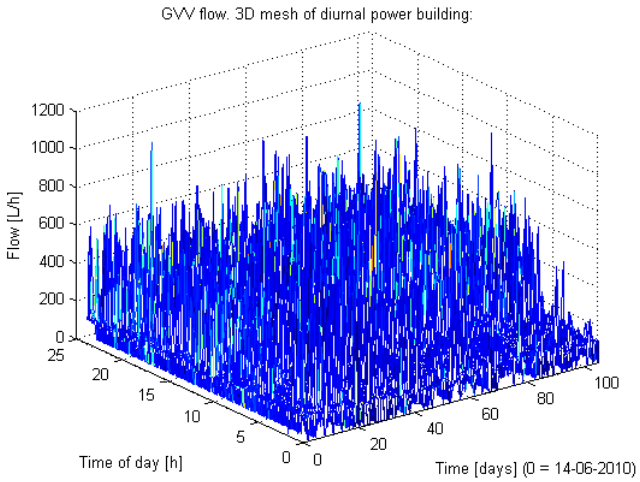


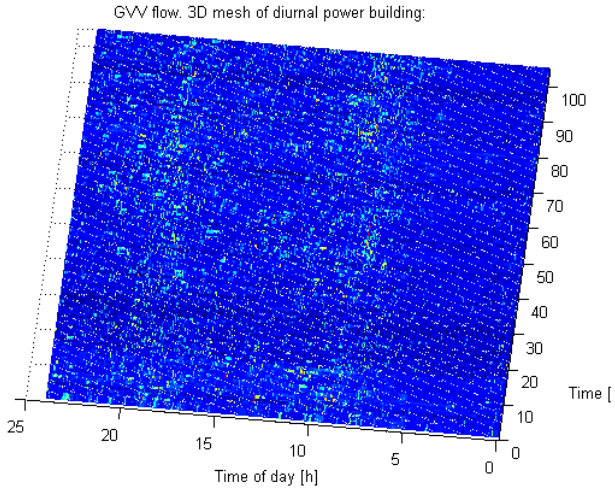
FVB unit Flow, alle 11 lejligheder (summen af enkeltmålinger)



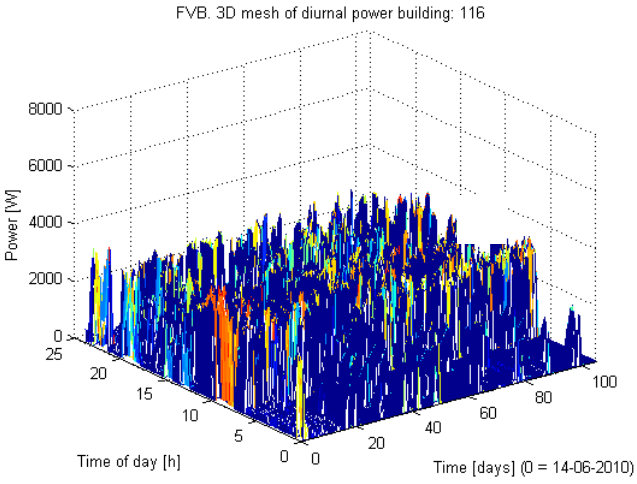


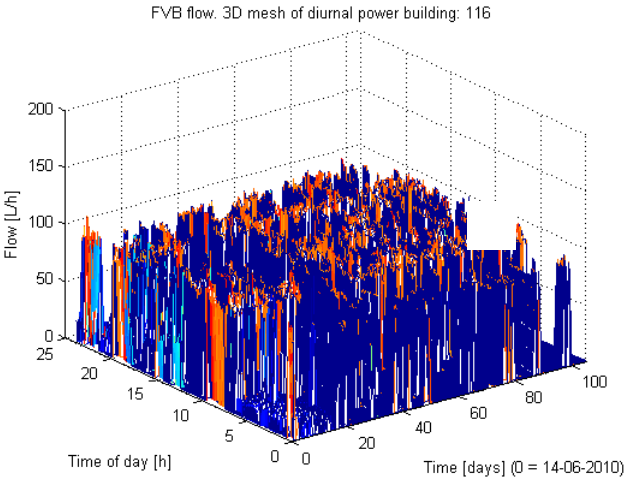
GVV unit effekt, alle 11 lejligheder (summen af enkeltmålinger)



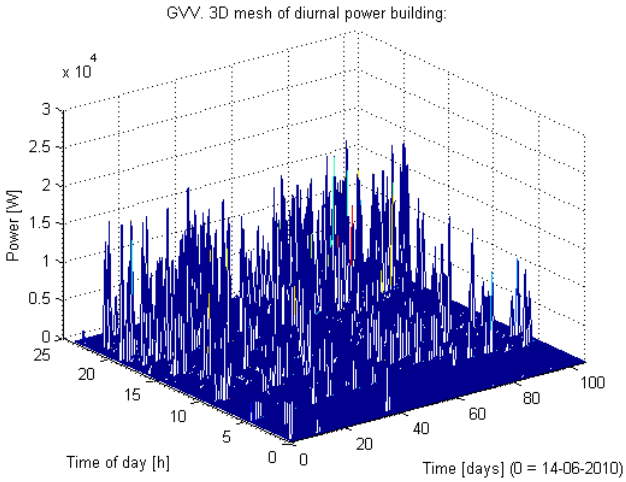


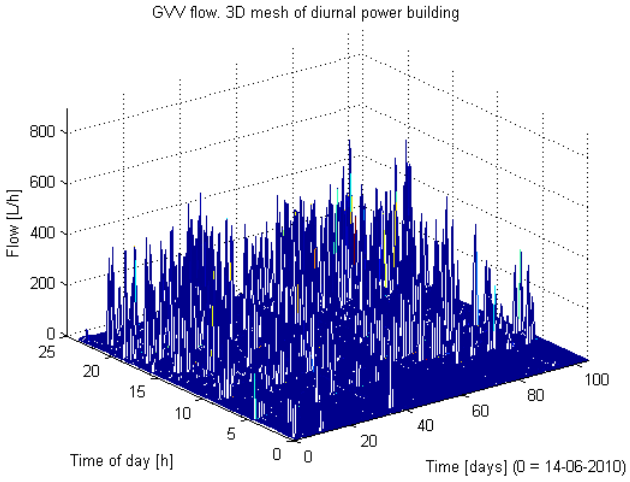
GVV unit Flow, alle 11 lejligheder (summen af enkeltmålinger)





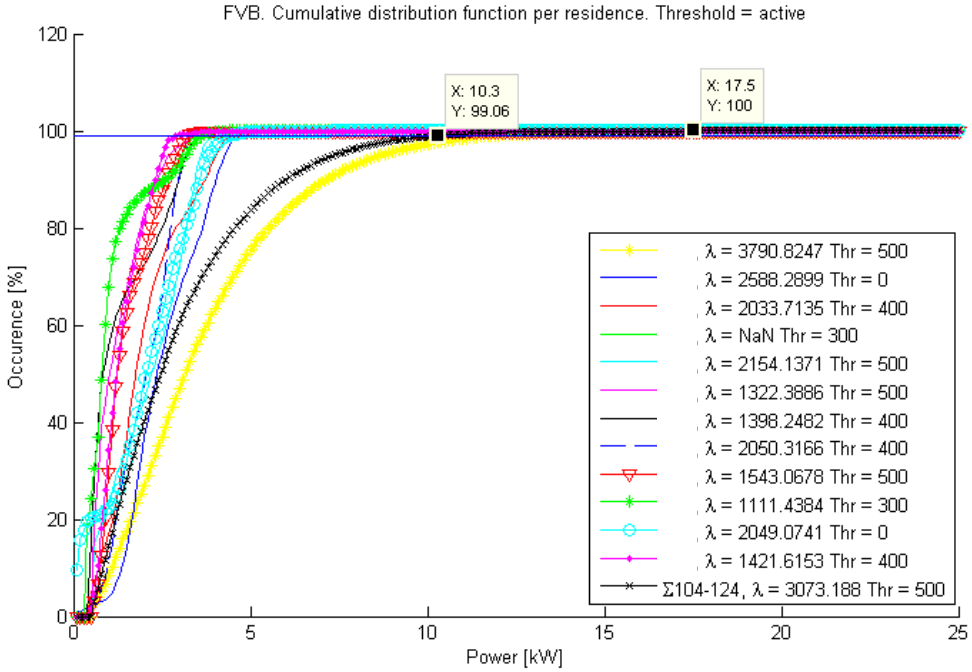
Typisk FVB unit enkeltlejlighed effekt og flow (lejlighed 7)





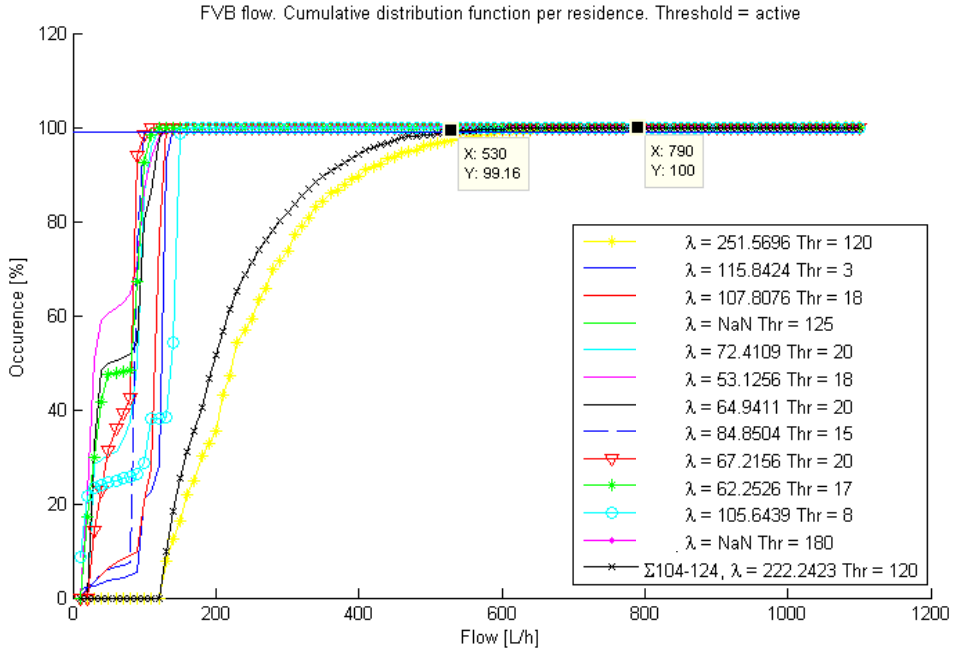
Typisk GVV unit enkeltlejlighed effekt og flow (lejlighed 14)

Kumulativ frekvens kurve for FVB effekt for enkelt huse samt summen heraf , 1% fraktil indtegnet.



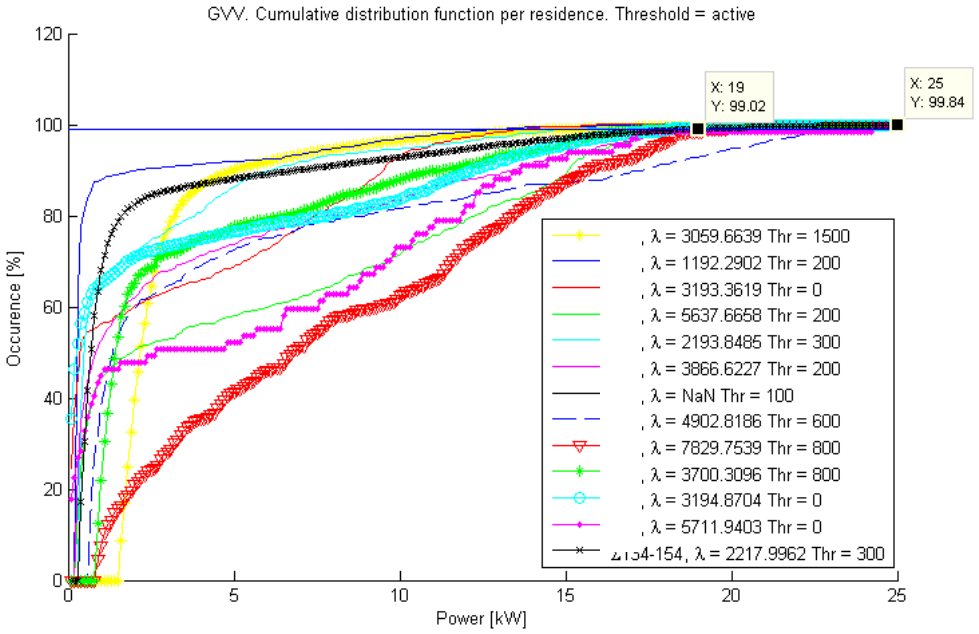
$\sum 104-124$ **når 99% @ 10.3 kW & 100% @ 17.5 kW**

Kumulativ frekvens kurve for FVB flow for enkelt huse samt summen heraf , 1% fraktil indtegnet.



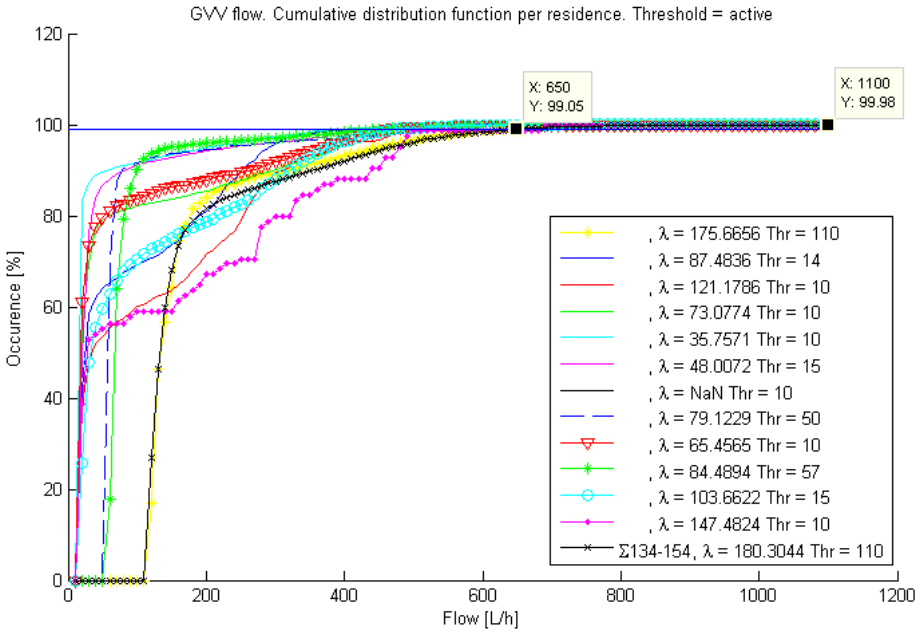
$\sum 104-124$ **når 99% @ 530 L/h & 100% @ 790 L/h**

Kumulativ frekvens kurve for GVV effekt for enkelt huse samt summen heraf , 1% fraktil



$\sum 134-154$ **når 99% @ 19 kW & 100% @ 37 kW**

Kumulativ frekvens kurve for GVV flow for enkelt huse samt summen heraf, 1% fraktil indtegnet.

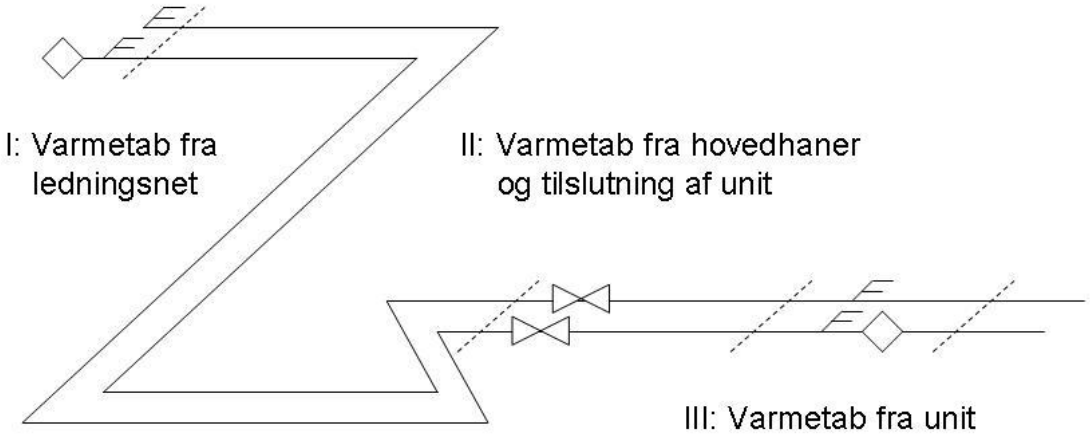


$\sum 134-154$ **når 99% @ 650 L/h & 100% @ 1180 L/h**

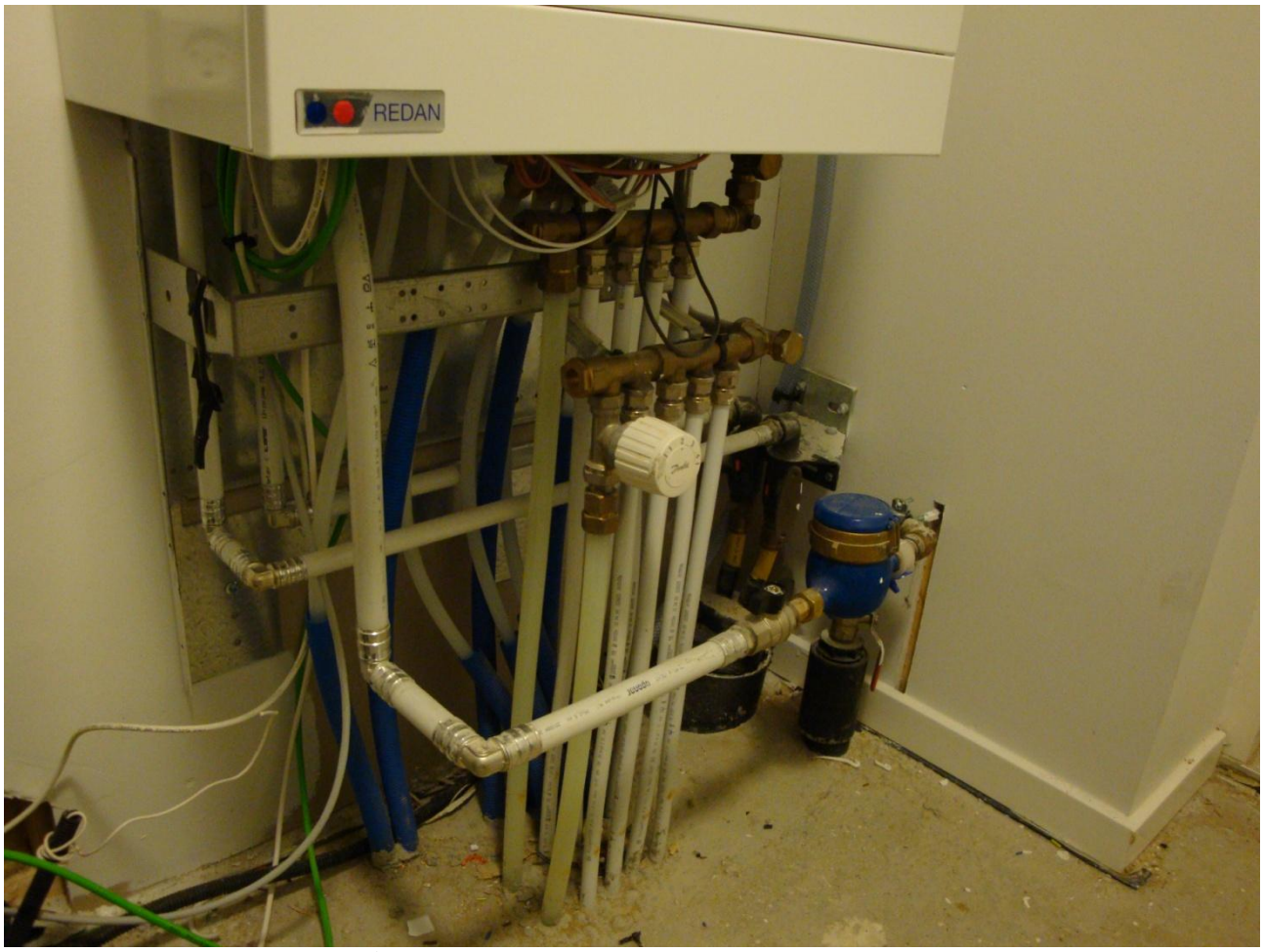
Appendiks 4 Note om varmetab fra installationer

Formålet med denne note er at estimere varmetabet mellem fjernvarmeindløb og fjernvarmeunits i de enkelte boligers teknikrum i Lærkehaven i Lystrup. Rørstrækninger, hovedhaner mv. svarer til afsnit "II" på skitsen herunder.

Måling af varmetab med hovedmåler og forbrugsmåler



Nedenfor er vist et billede af en GVV unit, hvor tilslutningsforbindelserne før måler er uisolerede. Det er i øvrigt også tilfældet for de øvrige 30 boliger med GVV.



Figur 1 Uisoleret rørføring før måler til GVV units i 20 mm AluPex

For de 11 fjernvarmebeholderunits, FVB, er der foretaget standardmæssig isolering af tilslutningerne



Figur 2 Isoleret rørføring før måler til FVB-units

På baggrund heraf er det valgt at se bort fra varmetab før måler for tilslutningerne til FVB-units. For GVV-units er der estimeret en ækvivalent rørlængde for fjernvarme frem- og returløb før måler. På baggrund af heraf er varmetabet pr. bolig estimeret til ca. 1 kWh pr. dag eller ca. 7 kWh pr. uge (se tabel herunder)

	°C	Dage	Rørdim.	Ækviv. rørlængde	U_l rør Faktisk	UA rør Faktisk	E rør Faktisk
Rumtemperatur	20		[mm]	[mm]	[W/(mK)]	[W/K]	[kWh/år]
Fjernvarme, frem, fælles	55	365	20	1550	0,61	0,94	289
Fjernvarme, retur, fælles	30	365	20	1550	0,48	0,75	66
I alt						1,69	355