

Delrapport 1

Energistyrelsen - EUDP 2008-II

DEMONSTRATION AF LAVENERGIFJERNVARME TIL LAVENERGIBYGGERI I ENERGYFLEXHOUSE

Maj 2011



TEKNOLOGISK
INSTITUT

LOGSTOR

DTU Civil Engineering
Department of Civil Engineering

COWI

Danfoss

 ENERGITJENESTEN




Kamstrup
- metering solutions

 Boligforeningen
Ringgarden



AFFALDVARME ÅRHUS



Høje Taastrup Fjernvarme A.m.b.A

Forord

Projektet "*CO₂-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 1: *Demonstration af lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri i EnergyFlexHouse*, som er Teknologisk Instituts forsøgshuse.

Maj 2011, Teknologisk Institut, Christian Holm Christiansen, Taskleder

Summary

This report concerns demonstration of a new concept for low temperature district heating to low energy buildings with district heating flow temperatures on just above 50 ° C. The concept was developed in a previous energy research project under the EFP-2007-programme supported by the Danish Energy Agency. New types of prototypes for district heating consumer substations and district heating pipes in very small dimensions were developed and manufactured. Demonstration has been carried out in the Danish Technological Institute test houses 'EnergyFlexHouse' with the objective of analyzing and evaluating the performance of the concept in a real low energy house. The EnergyFlexHouse is actually two houses either each designed to be energy neutral with PV's but also fulfilling the Danish building codes low energy class 2015 requirements without the PV's. The two houses are called 'Lab' and 'Family' and are supplied with district heating from a small local distribution network. The tests are carried out in the 'Lab' house connected with a district heating branch twin pipe with two service pipes of just 10 mm inner diameter/14 mm outer diameter and with outer casing diameter of 110 mm corresponding to series 2 insulation. An accumulator consumer substation with a 175 liter storage tank on the primary side (district heating side) has been subject to tests. Three different tapping patterns of domestic hot water were performed including tapping patterns based on the European standard PrEN50440. Generally the results show that balancing the primary loading flow in relation to actual tapping patterns and domestic hot water consumption is important in order to keep the district heating return temperature as low as possible. Based on the results different options are proposed in order to optimize the operation of the consumer substation. Recently a new project under the EUDP 2010-II has received grant to continue improving and implementing the concept at more sites.

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. En række forsøg er foretaget i Teknologisk Instituts EnergyFlexHouse i Taastrup, der består af 2 huse (216 m²) designet til at være energineutrale med solceller, men i øvrigt opfylde betingelserne for Bygningsreglementets Energiklasse 2015 uden brug af solceller. De 2 huse kaldet "Lab" og "Family" er forbundet ned et fjernvarmenet udlagt efter principperne i konceptet. Forsøgene har været foretaget i "Lab"-huset, der forsynes med en stikledning, twinrør, med medierør på 14 mm udvendig diameter og 10 mm indvendig diameter samt kapperør på 110 mm svarende til serie 2. En fjernvarmebeholderunit med et beholdervolumen på 175 liter har været genstand for forsøgene. Der er gennemført test med en tapperobot for 3 forskellige tappemønstre for det varme brugsvand på forskellige tidspunkter af året. Det ene tappemønster er baseret på DS 439 og er identisk med det tappemønster, der i det forudgående projekt blev anvendt til simulering og dimensionering af fjernvarmebeholderstørrelserne. De 2 andre tappemønstre er baseret på den europæiske standard PrEN50440. Generelt viser forsøgene, at indregulering af primærflow i forhold til faktisk forbrug og beholdervolumen er en parameter, der har stor betydning for den faktiske afkøling i beholderen. På brugsvandssiden dokumenteres at det er muligt at holde en varm brugsvandstemperatur meget tæt på fjernvarmefremløbstemperaturen. På baggrund af forsøgene foreslås forskellige tiltag, der kan medvirke til bedre afstemning af varmtvandsforbrug med primærflow. I et nyt projekt bevilget under EUDP 2010-II programmet vil nogle af de foreslåede tiltag blive afprøvet og optimeret.

Indholdsfortegnelse

Side

Summary	3
Resumé	4
1 Indledning.....	6
1.1 Baggrund	6
1.2 Formål	7
1.3 Beskrivelse af opgaven.....	7
2 Bebyggelsen og fjernvarmesystemet	8
2.1 Bebyggelsen	8
2.1.1 Dimensionerende varmetab	9
2.1.2 Varmeanlæg	10
2.2 Brugerinstallationen	10
2.3 Fjernvarmesystemet	11
3 Måleudstyr og dataopsamling	13
3.1 Måleudstyr	13
3.1.1 Tapperobot	13
3.1.2 Tappemønstre	14
3.2 Dataopsamling	16
3.3 Måleprogram	16
4 Forbrug og anlægstemperaturer	17
4.1 Varmt brugsvand.....	17
4.1.1 24. dec. til 30. dec. 2009	17
4.1.2 27. apr. til 3. maj 2010.....	19
4.1.3 20. maj til 26. maj 2010	20
4.2 Fjernvarmeforbrug	22
5 Konklusion	23
5.1 Resultater.....	23
6 Referencer	24

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 varmfordelingssystem, 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 er Boligforeningen Ringgårdens afd. 34 i Lystrup ved Århus (se delrapport 2) og det andet er Teknologisk Instituts EnergyFlexHouse i Taastrup, som denne rapport omhandler (delrapport 1).

1.2 Formål

Formålet med demonstrationen i EnergyFlexHouse i Taastrup er at analysere fjernvarmebeholderunitten i samspil med et større lavenergihus og forskellige tappemønstre for varmt brugsvand med henblik på eftervisning og videreudvikling af konceptet.

1.3 Beskrivelse af opgaven

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

1. Konceptuelt layout og beskrivelse af bebyggelsen, varmeanlæg, brugerinstallationer og fjernvarmesystem

Beskrivelse af EnergyFlexHouse og den installerede fjernvarmebeholderunit.

2. Test og evaluering af fjernvarmebeholderunit i samspil med EnergyFlexHouse

Test af fjernvarmebeholderunitten i EnergyFlexHouse med forskellige tappemønstre for varmt brugsvand og i samspil med husets varmeanlæg.

2 Bebyggelsen og fjernvarmesystemet

2.1 Bebyggelsen



Figur 1 EnergyFlexHouse med huset "Lab" i forgrunden og huset "Family" lige bagved

Teknologisk Instituts EnergyFlexHouse (EFH) består af 2 huse: "Lab" og "Family", se figur 1. Som betegnelserne indikerer er "Family" et hus, hvor der kan bo en familie. Her er der fokus på alle boligens energiydelser, på teknologierne og brugen af disse samt på kvaliteten af energiydelserne - målt og oplevet af familiemedlemmerne. Hver familie bor i "Family" typisk 3-5 måneder efter eget ønske.

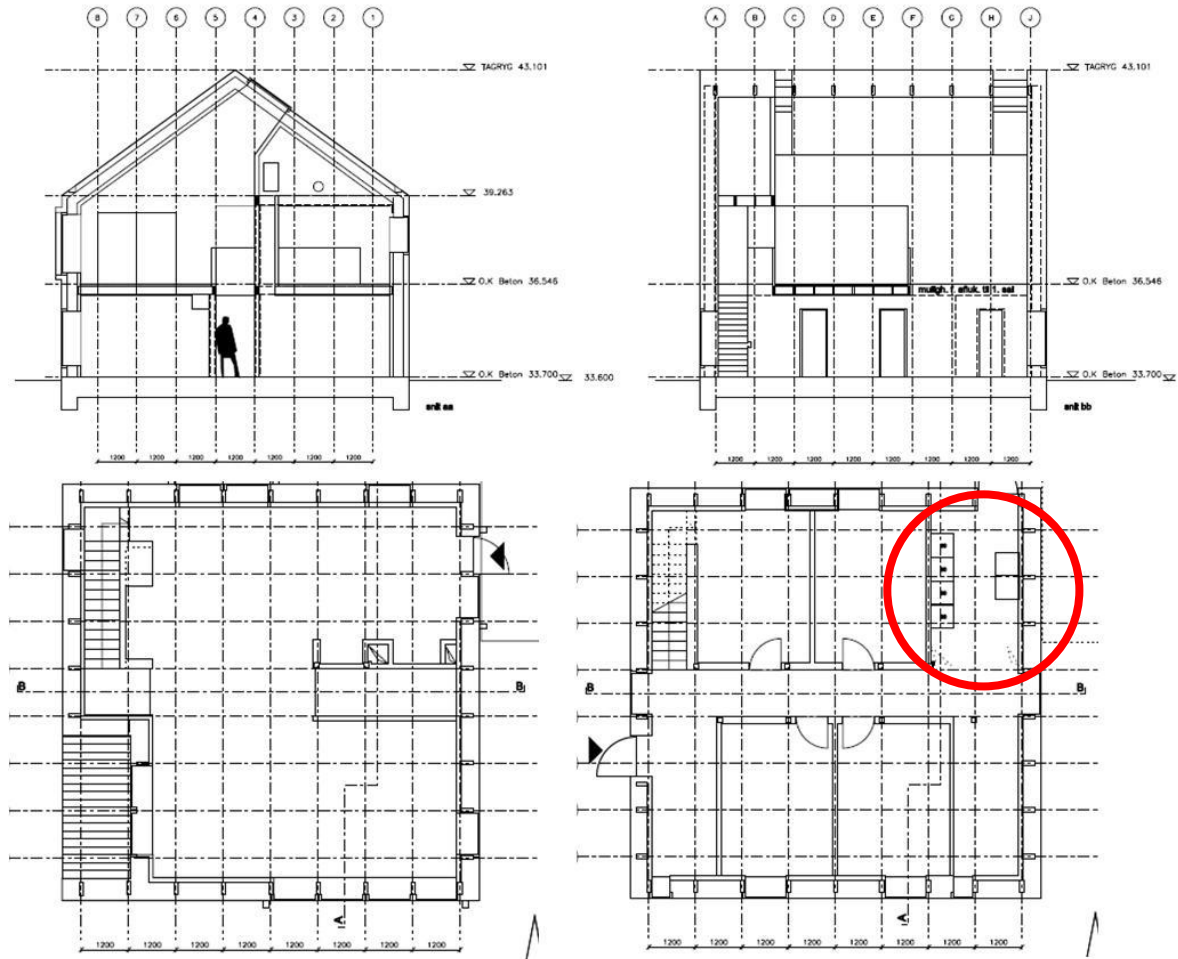
"Lab" er derimod indrettet til forsøg, hvor der ikke umiddelbart indgår interaktion med brugerne og hvor der typisk er tale om forsøg af kortere varighed. Test i forbindelse med nærværende projekt er udført i "Lab".

EnergyFlexHouse er designet til at være et energineutralt byggeri med solceller, men opfylder i øvrigt betingelserne for Bygningsreglementets Energiklasse 2015 uden brug af solceller. "Lab"-huset har følgende karakteristika:

- Opvarmet areal 216 m²
- Let konstruktion
- 500 mm mineraluld i ydervægge (U-værdi: 0,08)
- 500 mm mineraluld i taget (U-værdi: 0,09)
- 400 mm polystyren i terrændæk (U-værdi: 0,11)
- Vinduer med 3 lag glas (U= ca. 0,8)
- Ventilationsanlæg med 80% temperaturvirkningsgrad
- Derudover valgfrie energiforsyninger:

- Fjernvarme
- Luft-vand varmepumpe el. jordvarmepumpe
- 12,5 m² solfangere
- 39 m² solceller

En skitse af EnergyFlexHouse er vist på figur 2.



Figur 2 Plantegning af EnergyFlexHouse. Teknikrummet/bryggerset, hvor fjernvarmen kommer ind og fjernvarmebeholderen er placeret er vist med en cirkel.

Bygningen har 4 værelser, 2 badeværelser, et teknikrum/bryggers og et gangareal i stueetagen. En trappe fører op til 1. salen, der er et åbent rum med køkken, spise- og opholdsafdeling. Endelig er der en mindre hems, der medregnes til det opvarmede areal.

2.1.1 Dimensionerende varmetab

”Lab”-huset kan konfigureres med forskellige vinduer og ventilationsanlæg. I konfigurationen anvendt i dette projekt er det dimensionerende varmetab ca. 3,7 kW.

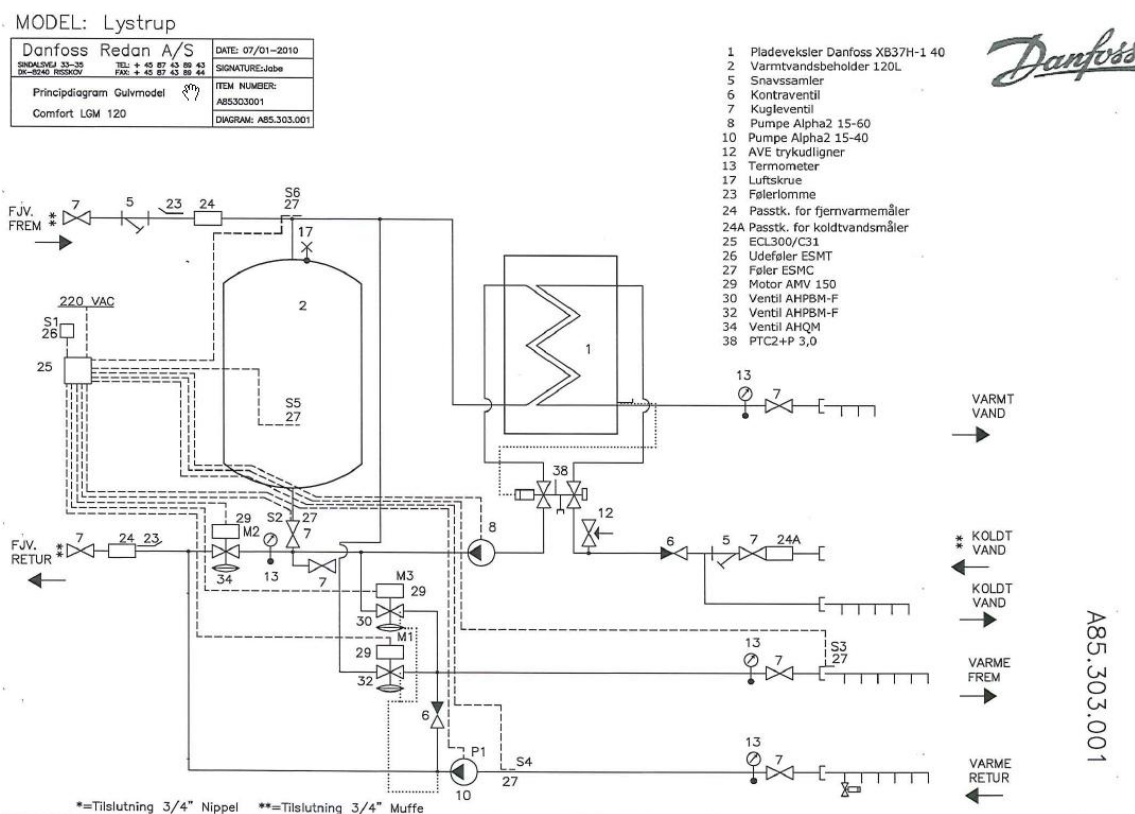
2.1.2 Varmeanlæg

EnergyFlexHouse "Lab" er både udstyret med gulvvarme og radiatoranlæg. Radiatorerne er af typen RIO PKII dimensioneret til temperatursæt 55°C/25°C. På grund af bygningernes lave varmebehov syner radiatorerne ikke væsentligt større end i traditionelt byggeri. Gulvvarmeanlægget er af tung type i stueetagen og let på 1. sal.

2.2 Brugerinstallationen

I "Lab" har der i måleperioden været installeret en fjernvarmebeholderunit (FVB) af typen Danfoss Redan LGM med et beholdervolumen på 175 liter. Til sammenligning har FVB-unitten testet i projektets andet demonstrationsområde en beholder på 120 liter. Unitten er installeret i teknikrummet/bryggerset.

Formålet med FVB-unitprincippet er at reducere den hydrauliske belastning på fjernvarmenettet for derved at kunne reducere fjernvarmenettets dimensioner. Ved beholdervolumen på 175 liter skal den primære flowkapacitet være ca. 40 l/h for at tilgodese tappemønstret iht. DS439 for et enfamiliehus uden karbad (368 l/døgn) ifølge simuleringer foretaget i forudgående projekt [5]. Princip for FVB-unitten er skitseret på figur 3 og figur 4 viser et foto af prototypen.



Figur 3 Principdiagram for FVB-unit

Et vigtigt forhold omkring beholderen, som er adresseret, er den stigende returtemperatur i den sidste del af beholderladningsperioden. Med henvisning til figur 3 kan styringen håndtere det på følgende måde: En ventil (30) er indført, således at efterkøling af

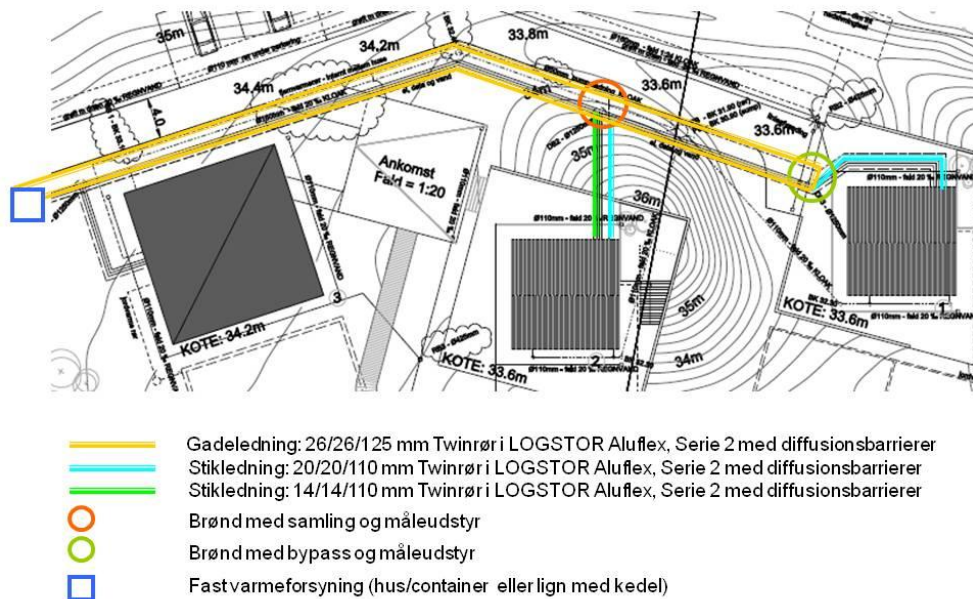
beholderreturvandet kan ske gennem varmekredsen, når temperaturforholdene tillader dette. Ventilerne (34-beholderladning), (32-varmekreds fremløbsstyring) og (30-beholder efterkøling) er med indbygget flowbegrænser, således at det på forhånd indstillede maksimale flow ikke kan overskrides. Dette gælder 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 uniten er anvendt en elektronisk regulator til beholderladestylingen samt til at operere varmekredsen vejrkompenseret.



Figur 4 Foto af prototype af FVB-unit. hvor kabinet ikke er lakeret og frontpladen er afmonteret

2.3 Fjernvarmesystemet

Mellem ”Lab” og ”Family” er der etableret et fjernvarmenet, se figur 5. Fjernvarmenettet er etableret sideløbende med nærværende projekt og er udlagt efter principperne i konceptet for lavtemperaturfjernvarme til lavenergibyggeri. Blandt andet er der til ”Lab” indlagt en twinrørsstikledning, serie 2, udviklet i det foregående EFP-2007-projekt med medierør med indvendig/udvendig diameter på 10 mm/14 mm produceret af LOGSTOR. Fjernvarmesystemet forsynes fra en lille kedelcentral, da der ikke pt. er tilslutning til et større net.



Figur 5 Skitse af fjernvarmenettet, der forsyner EnergyFlexHouse

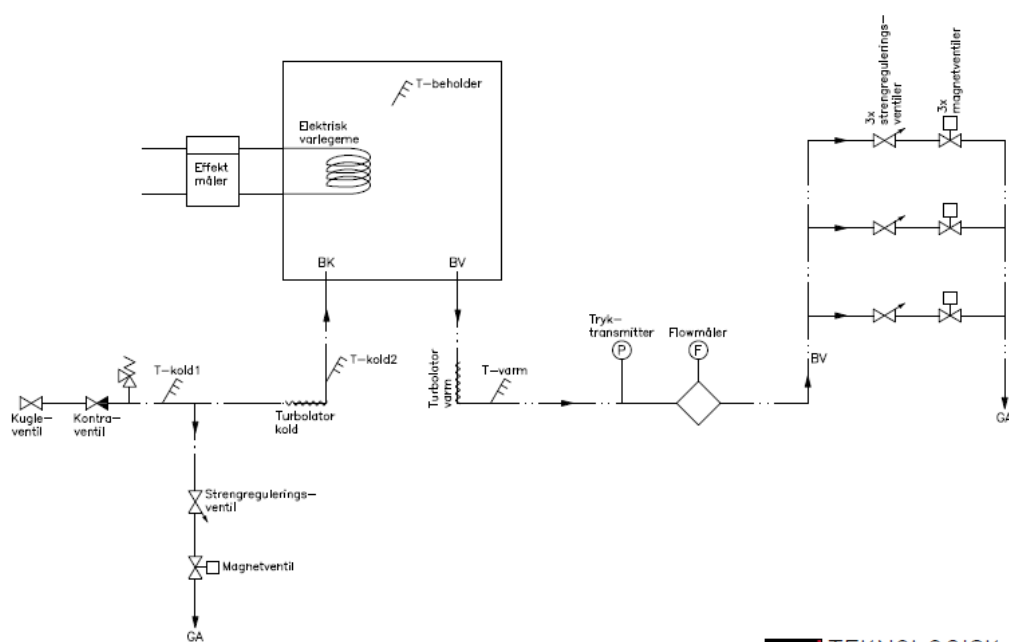
3 Måleudstyr og dataopsamling

3.1 Måleudstyr

Måleudstyret skal primært anvendes til at dokumentere fjernvarmebeholderunittens drift under forskellige tappemønstre. EnergyFlexHouse har sit eget målesystem med en række faste målepunkter, der bliver opsamlet, hvert 12. minut. I forhold til brugsvandstappe-mønstre er det imidlertid nødvendigt med en meget højere målefrekvens. Til tappemønstrene anvendes derfor et separat målesystem, der både kan styre et vilkårligt tappemønster og kan opsamle data på sekundniveau. Målesystem sammen med testrig, der bl.a. består af magnetventiler og indreguleringsventiler, benævnes i det følgende ”tapperobotten”.

3.1.1 Tapperobot

Tapperobotten er lavet iht. PrEN50440 [6] og følger endvidere principperne i et forslag til Ecodesign for vandvarmere [7]. Test og dokumentation af tapperobotten er udarbejdet i [8]. På figur 6 ses en skitse af tapperobotten med en elektrisk vandvarmer, som testemne. I de aktuelle målinger er tapperobotten i stedet tilsluttet FVB-unitten.



Figur 6 Principskitse for tapperobot

3.1.2 Tappemønstre

Der er valgt 3 forskellige tappemønstre til test med varmt brugsvand. Det ene er et tappeprogram baseret på tappestederne brus, køkkenvask og håndvask, som defineret i DS439. Det kaldes i det efterfølgende for "DS 439". Tappeprogrammet er anvendt til simulering i det foregående projekt [5] og består af tapningerne vist i tabel 1. Bemærk at flere af tapstederne er i drift samtidigt og at programmet indledningsvis starter med 4 brusebad med 20 minutters mellemrum.

Tid	Brus			Køkkenvask			Håndvask		
[hh:mm]	[l]	[s]	[l/s]	[l]	[s]	[l/s]	[l]	[s]	[l/s]
06:00	42	300	0,14	15	180	0,083	10	180	0,06
06:20	42	300	0,14	15	180	0,083	10	180	0,06
06:40	42	300	0,14				10	180	0,06
07:00	42	300	0,14				10	180	0,06
09:00				15	180	0,083			
09:20				15	180	0,083			
12:00				15	180	0,083	10	180	0,06
12:20				15	180	0,083	10	180	0,06
12:40							10	180	0,06
13:00							10	180	0,06
15:00				15	180	0,083			
15:20				15	180	0,083			
I alt	168	-	-	120	-	-	80	-	-

Tabel 1 forskellige tapninger jf. DS 439

Summeret og med koldt- og varmtvandstemperaturer på hhv. 10°C og 40°C fås et tappemønster med energiangivelse som i tabel 2

Tid	Q _{tap}	flow
[hh:mm]	[kWh]	[l/min]
06:00	2,337	13
06:20	2,337	13
06:40	1,814	10
07:00	1,814	10
09:00	0,523	4
09:20	0,523	4
12:00	0,872	7
12:20	0,872	7
12:40	0,349	3
13:00	0,349	3
15:00	0,523	4
15:20	0,523	4
I alt	12,837	

Tabel 2 Tappeprogram DS 439

De 2 øvrige tappemønstre er baseret på prEN50440 og benævnes M og L, se figur 7. Disse tappeprogrammer er markant anderledes, da de indeholder lang flere tapninger og en række af disse er meget små. Tapningernes mængder styres efter energiydelsen dvs. at en tappesequens ikke stopper før at den forudbestemte akkumulerede energi er opnået.

h	M				L				XL			
	Qtap	f	Tm	Tp	Qtap	f	Tm	Tp	Qtap	f	Tm	Tp
	kWh	l/min	°C	°C	kWh	l/min	°C	°C	kWh	l/min	°C	°C
07.00	0,105	3	25		0,105	3	25		0,105	3	25	
07.05	1,400	6	40		1,400	6	40					
07.15									1,820	6	40	
07.26									0,105	3	25	
07.30	0,105	3	25		0,105	3	25					
07.45					0,105	3	25		4,420	10	10	40
08.01	0,105	3	25						0,105	3	25	
08.05					3,605	10	10	40				
08.15	0,105	3	25						0,105	3	25	
08.25					0,105	3	25					
08.30	0,105	3	25		0,105	3	25		0,105	3	25	
08.45	0,105	3	25		0,105	3	25		0,105	3	25	
09.00	0,105	3	25		0,105	3	25		0,105	3	25	
09.30	0,105	3	25		0,105	3	25		0,105	3	25	
10.00									0,105	3	25	
10.30	0,105	3	10	40	0,105	3	10	40	0,105	3	10	40
11.00									0,105	3	25	
11.30	0,105	3	25		0,105	3	25		0,105	3	25	
11.45	0,105	3	25		0,105	3	25		0,105	3	25	
12.00												
12.30												
12.45	0,315	4	10	55	0,315	4	10	55	0,735	4	10	55
14.30	0,105	3	25		0,105	3	25		0,105	3	25	
15.00									0,105	3	25	
15.30	0,105	3	25		0,105	3	25		0,105	3	25	
16.00									0,105	3	25	
16.30	0,105	3	25		0,105	3	25		0,105	3	25	
17.00									0,105	3	25	
18.00	0,105	3	25		0,105	3	25		0,105	3	25	
18.15	0,105	3	40		0,105	3	40		0,105	3	40	
18.30	0,105	3	40		0,105	3	40		0,105	3	40	
19.00	0,105	3	25		0,105	3	25		0,105	3	25	
19.30												
20.00												
20.30	0,735	4	10	55	0,735	4	10	55	0,735	4	10	55
20.45												
20.46									4,420	10	10	40
21.00					3,605	10	10	40				
21.15	0,105	3	25						0,105	3	25	
21.30	1,400	6	40		0,105	3	25		4,420	10	10	40
21.30												
21.45												
Qrer	5,845				11,655				19,070			

Figur 7 Tappeprofilerne M, L og XL iht. prEN50440/Ecodesign

3.2 Dataopsamling

Tapperobotten bruger softwareprogrammet Labview til opsamling af data og styring af tappemønstrene. Der opsamles i forbindelse med målingerne følgende størrelser på sekundærsiden (brugsvandssiden);

- Varmt brugsvandsflow, flow varmt brugsvand[l/h]
- Koldtvandstemperatur, T kold [°C]
- Varmtvandstemperatur, T varm [°C]

På primærsiden (fjernvarmesiden) opsamles disse data:

- Fjernvarmeflow, flow [l/h]
- Fremløbstemperatur, T fjernvarme frem [°C]
- Returtemperatur, T fjernvarme retur [°C]
- Temperatur i top af beholderen (ved fjernvarmeindløb), T beholder top [°C]
- Temperatur ved føler (placeret 1/3 oppe), T beholder føler [°C]

Derudover registreres tilført energi til bygningen og tilført energi til varmeanlægget for at kunne opstille en varmebalance for FVB-unitten. Disse registreringer er baseret på EnergyFlexHouse eget målesystem.

3.3 Måleprogram

Måleforløbet har været inddelt i 3 kortere intervaller med forskellige driftsbetingelser karakteriseret dels ved årstiden, dels ved typen af varmeanlæg og tappemønstre. De 3 intervaller kan beskrives som følger:

24. dec. til 30. dec. 2009:	Sæson:	Vinter
	Tappemønster:	DS 439
	Varmeanlæg:	Gulvvarme
27. apr. til 3. maj 2010:	Sæson:	Overgang
	Tappemønster:	M
	Varmeanlæg:	Radiatoranlæg
20. maj til 26. maj 2010:	Sæson:	Sommer
	Tappemønster:	L
	Varmeanlæg:	Radiatoranlæg

Målingerne er gennemført med det samme tappemønster gentaget dagligt, men i sagens natur med de udetemperaturer, der har været gældende i perioden.

4 Forbrug og anlægstemperaturer

4.1 Varmt brugsvand

De følgende afsnit 4.1.1-4.1.3 indeholder udvalgte driftsforløb for de 3 måleintervaller beskrevet i måleprogrammet. Hvert afsnit viser 3 figurer, der i opbygning er ens, hvorfor de her forklares nærmere.

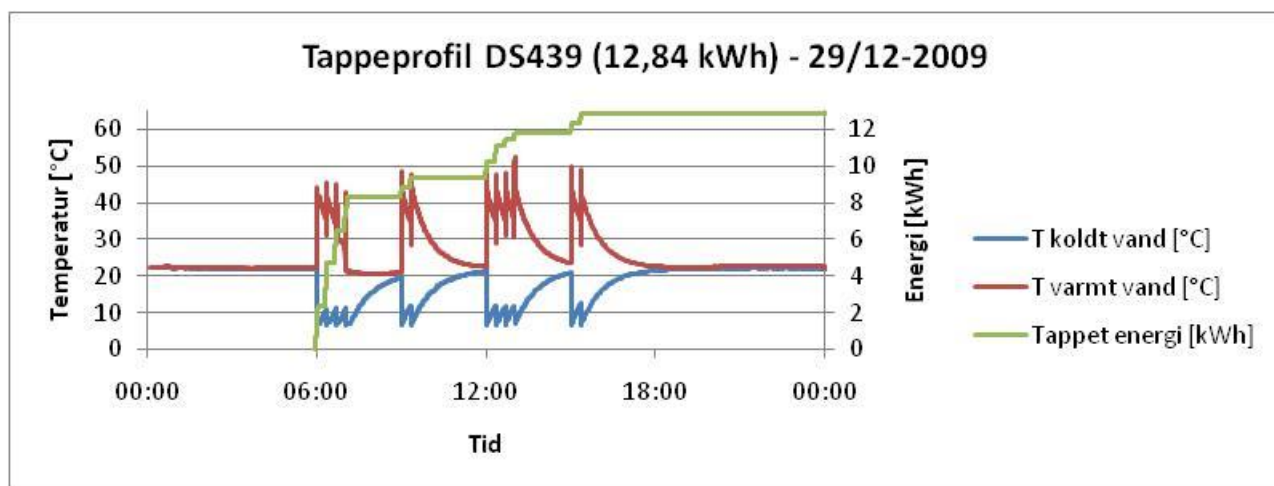
Den første figur viser brugsvandstemperaturerne – varmt og koldt – samt den akkumulerede tappede energi til varmt brugsvand. Den akkumulerede energi ved dagens slutning svarer til den samlede energi der tappes i det pågældende tappemønster. Tappemønstret starter der hvor kurven for den tappede energi springer fra 0. For tappemønster DS 439 er det kl. 6:00 og for tappemønstrene M og L er det kl. 8:00 (bemærk ikke kl. 7:00, som i figur 7 – alle tapninger er forskudt med 1 time i de faktiske målinger). Kurverne for det varme og kolde brugsvand måles kontinuerligt – også når der ikke tappes. Mellem tapningerne henholdsvis falder og stiger temperaturerne i det stillestående vand i rørene og går mod omgivelsestemperaturen. Et godt estimat for omgivelsestemperaturen kan aflæses lige før tappemønstrets start. Den faktiske kolde brugsvandstemperatur (minimum) skal aflæses som temperaturen ved de nedadgående spidser – den faktiske producerede varmtvandstemperatur (maksimum) skal aflæses som temperaturen ved de opadgående spidser.

Den anden figur viser temperaturen ved fjernvarmebeholderens top og der, hvor føleren til regulering af beholderen sidder – det er ca. 1/3 oppe på beholderen. Temperaturerne sammenholdes med den akkumulerede tappede energi. FVB-unittens styring starter ladning af beholderen når følertemperaturen falder til 42°C.

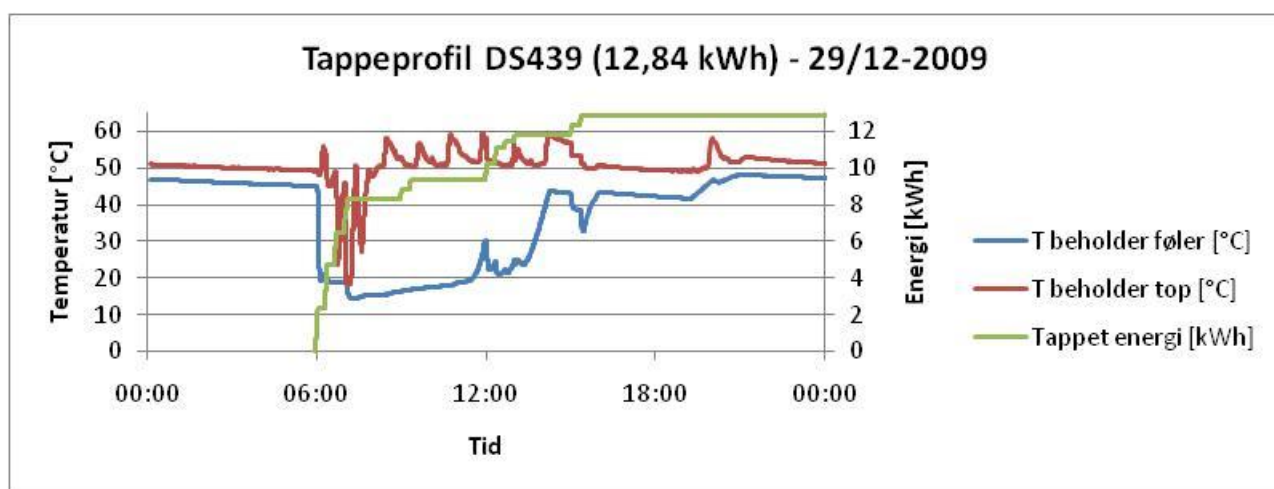
Den tredje figur viser fjernvarmefremløbs- og returtemperaturen til FVB-unitten samt fjernvarmeflowet. Som for det varme brugsvand kan der kun regnes med temperaturerne på grafen, når der er et fjernvarmeflow. Der er fjernvarmeflow, når beholderen lades og/eller når varmeanlægget forsynes. Fremløbstemperaturen fra fjernvarmen fluktuerer som følge af kedeltemmostaten på kedelcentralen.

4.1.1 24. dec. til 30. dec. 2009

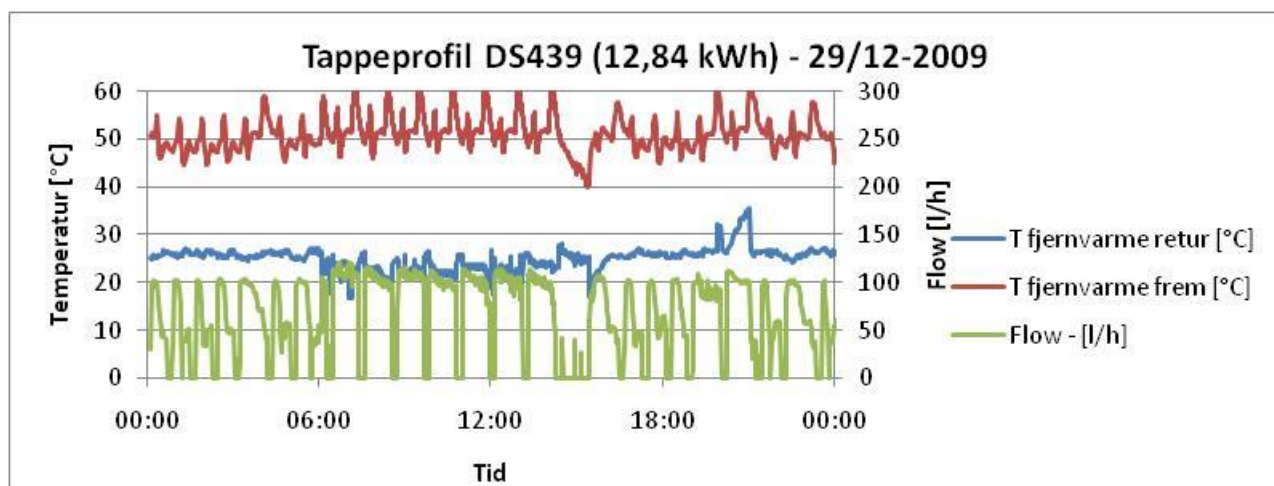
DS 439 er det mest krævende tappeprogram af de 3, da der over en periode på lige godt en time tappes mere end 8 kWh af beholderen bl.a. 4 brusebade. Udsat for dette må unitten give op ved det 4. brusebad, hvor den varme brugsvandstemperatur falder brat, se figur 8. Der er på det tidspunkt tappet ca. 145 liter varmt brugsvand. Af figur 9 fremgår det, at beholderen afkøles kraftigt og at der herefter sker en opbygning af temperaturen i beholderen igen, mens der fortsat kan tappes. Figur 10 viser en lav returtemperatur på ca. 25°C i hele døgnet. Når der ikke tappes, varmes huset op med gulvvarme. Fjernvarmefremløbstemperaturen varierer mellem 50 og 60 °C og der produceres varmt brugsvand tæt på 50 °C.



Figur 8 Brugsvandtemperaturer og tappet energi – Tappemønster DS 439

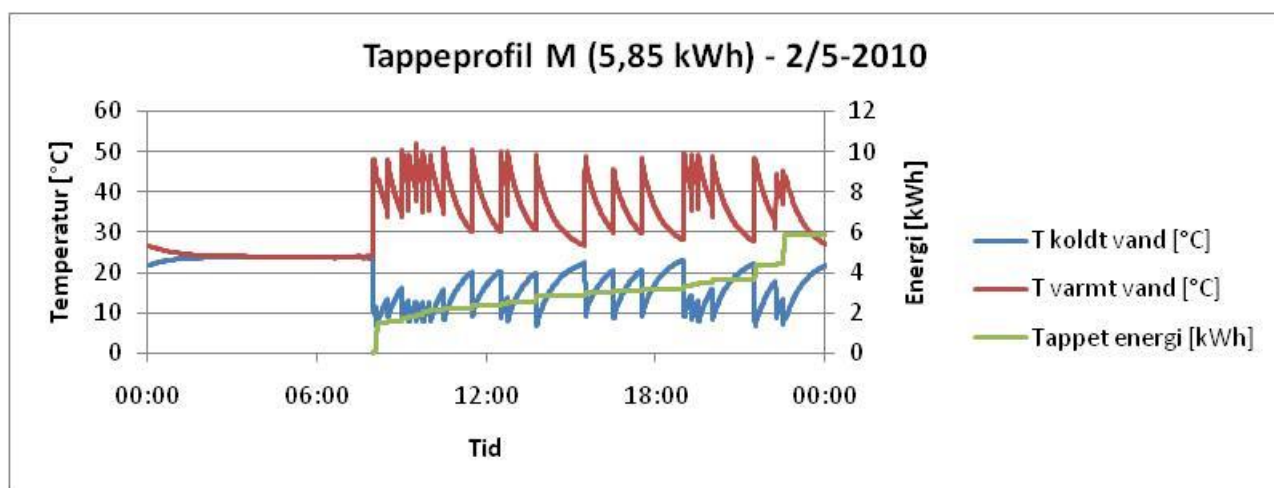


Figur 9 Beholdertemperaturer og tappet energi – Tappemønster DS 439

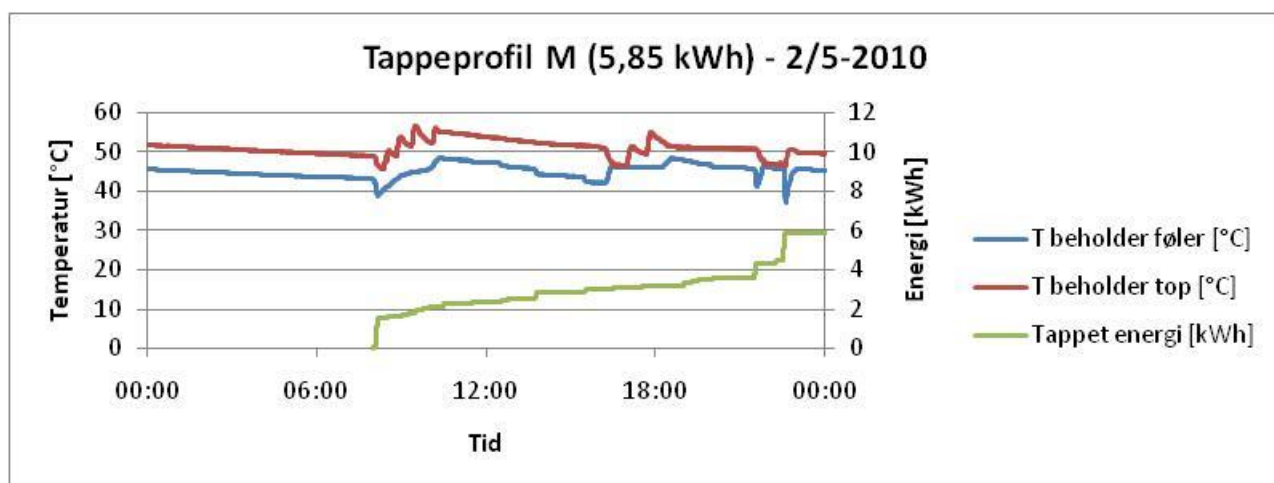


Figur 10 Fjernvarmetemperaturer og flow – Tappemønster DS 439

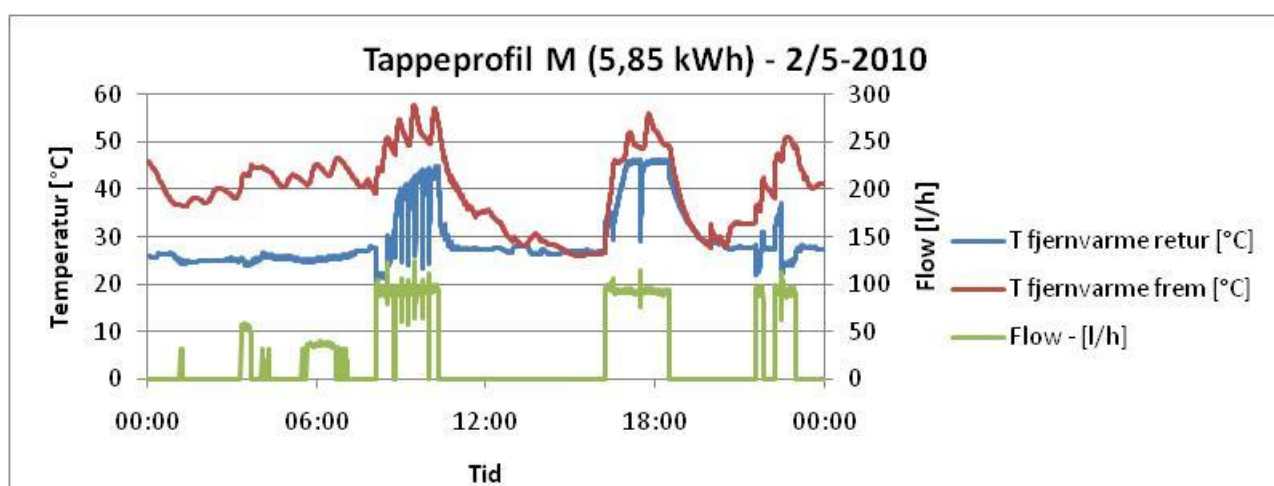
4.1.2 27. apr. til 3. maj 2010



Figur 11 Brugsvandstemperaturer og tappet energi – Tappemønster M



Figur 12 Beholdertemperaturer og tappet energi – Tappemønster M

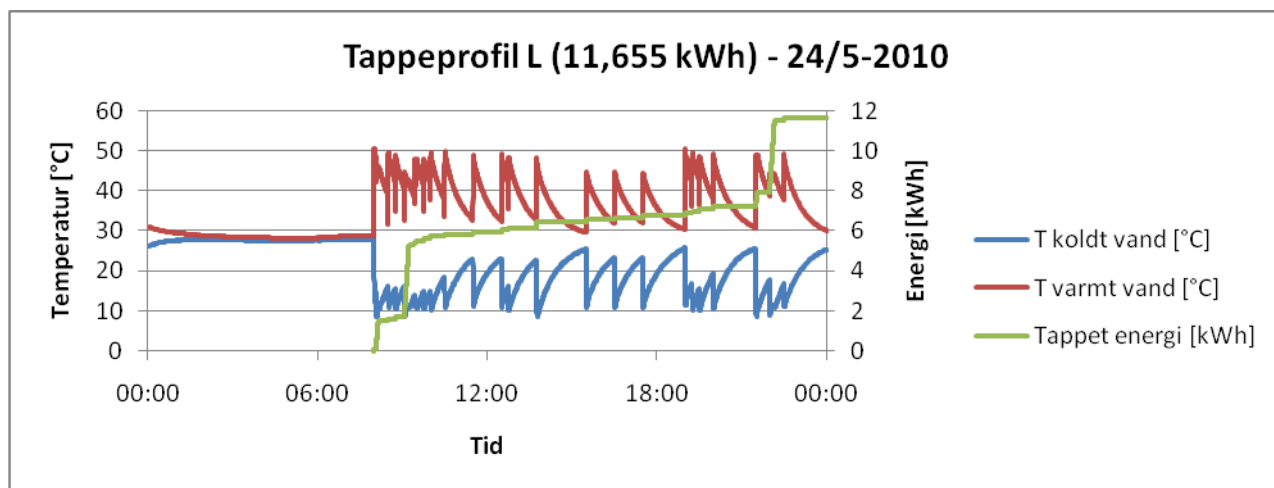


Figur 13 Fjernvarmetemperaturer og flow – Tappemønster M

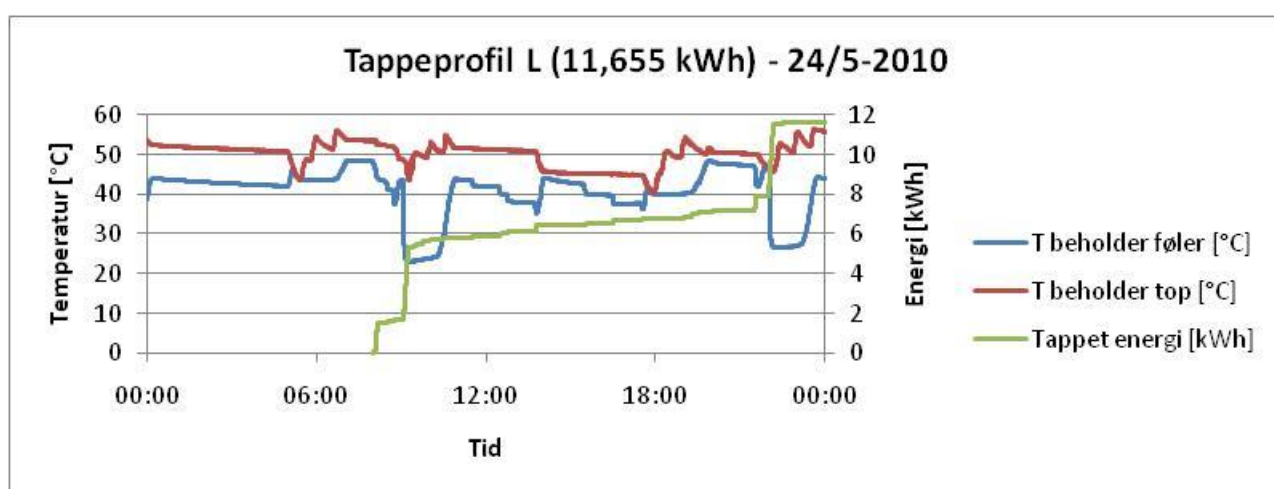
For tappemønster M tappes en lille energimængde set i forhold til, at beholderen er på 175 liter og lade-flowet er 100 l/h. Ved tapningen vist på figur 11 er der således kun tappet ca. 118 liter varmt brugsvand på et helt døgn. Af figur 12 fremgår at temperaturen ved beholderens føler er forholdsvis høj hvilket betyder, at beholderen har masser af kapacitet. Det afspejler sig i nogen grad på fjernvarmereturtemperaturen, der under ladning af beholderen er over 40°C. På figur 13 ses af flowet, at der før tappeprogrammets start (kl.8:00) leveres fjernvarme til varmanlægget, som i dette tilfælde er radiatorer. Fjernvarmereturtemperaturen er her ca. 25°C.

4.1.3 20. maj til 26. maj 2010

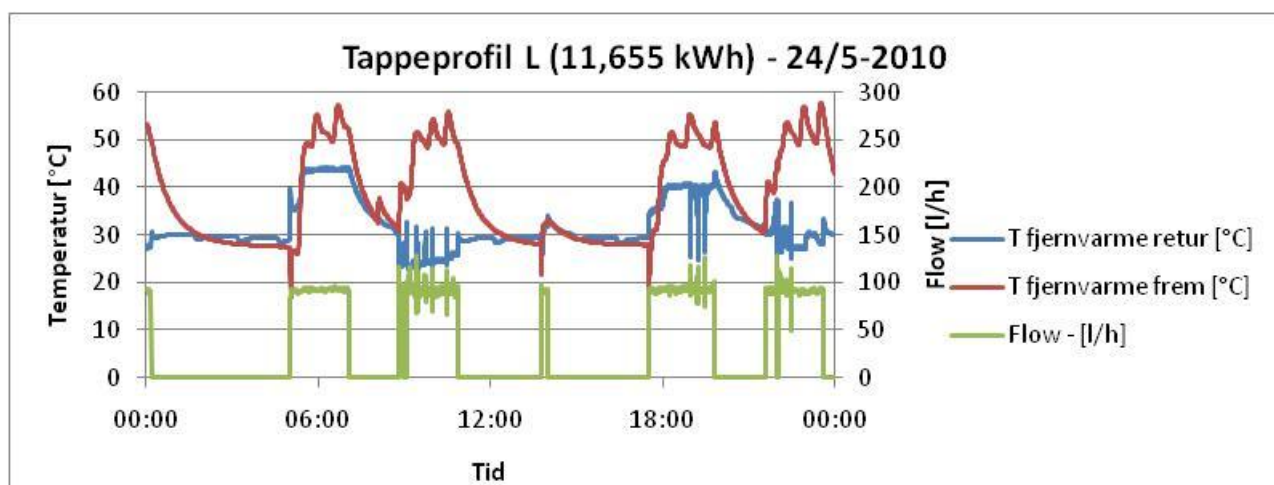
Figur 14 viser tappemønster L, som er karakteriseret ved 2 store tapninger hhv. morgen (kl. 09:05) og aften (kl. 22:00), hvor der begge gange tappes knap 80 liter varmt brugsvand. På figur 15 ses at temperaturen ved beholderens føler falder brat ved netop disse tapninger. Af figur 15 ses ligeledes, at temperaturen ved beholderens føler falder under 42°C inden tappemønstret starter, hvilket skyldes varmetabet fra beholderen. Figur 16 viser, hvordan det sætter en ladning af beholderen i gang (ca. kl. 5). Der er ikke noget varmebehov i perioden, så alle ladninger skyldes enten et varmetab fra beholderen eller tapninger af varmt brugsvand. Under ladning af beholderen, som følge af varmetab bliver fjernvarmereturtemperaturen over 40°C, hvor den under ladning, som følge af de 2 store tapninger, bliver under 30°C.



Figur 14 Brugsvandstemperaturer og tappet energi – Tappemønster L



Figur 15 Beholdertemperaturer og tappet energi – Tappemønster L



Figur 16 Fjernvarmetemperaturer og flow – Tappemønster L

4.2 Fjernvarmeforbrug

Tabel 3 viser fjernvarmeforbrug, forbrug til varmt brugsvand og rumvarme samt tab fra installationerne. Installationerne er i den sammenhæng fjernvarmebeholderunitten og ca. 2 meter isolerede rør fra hovedhaner (fjernvarmemåler) frem til unitten og ca. 2 meter isolerede rør fra unitten og frem til selve varmeanlægget (rumvarmemåler).

Fjernvarmeforbrug og rumvarmeforbrug er målt med EnergyFlexHouse interne måleudstyr og forbruget til varmt brugsvand er målt med tapperobotten. Forskellen mellem den tilførte varme (fjernvarme) og forbrugte varme (varmt brugsvand og rumvarme) er tab fra installationer.

Tappeprofil	Sæson	Dato	Fjernvarme	Varmt brugsvand	Rumvarme	Tab fra installationer	Tab fra installationer
[-]	[-]	[-]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[W]
DS 439	Vinter	24. dec. til 30. dec 2009	439	90	328	21	125
M	Overgang	27. apr. til 3. maj 2010	78	41	26	11	67
L	Sommer	20. maj til 26. maj 2010	95	82	0	13	80

Tabel 3 Fjernvarmeforbrug, forbrug til varmt brugsvand og rumvarme samt tab fra installationerne for 3 intervaller i måleprogrammet.

Det fremgår af tabel 3, at tab fra installationer er størst i vintersæsonen. Det skyldes dels at omgivelsestemperaturen i teknikrum/bryggers er lavere på det tidspunkt og dels at rørene til og fra fjernvarmeunitten er varme i væsentligt længere tid i vintersæsonen.

Forbruget til rumvarme i vinterintervallet (24.-30. december 2009) er 328 kWh, hvilket svarer til et varmebehov på ca. 2 kW ved en rumtemperatur på ca. 20°C og en udetemperatur i intervallet på gennemsnitligt 1,6°C. Omregnes til dimensionerende udetemperatur på -12°C fås et varmebehov til rumvarme i størrelsesordenen 3,5 kW. Det dimensionerende varmebehov for EnergyFlexHouse ”Lab” er teoretisk set beregnet til 3,7 kW.

5 Konklusion

5.1 Resultater

En fjernvarmebeholderunit med en 175 liters beholder er demonstreret i Teknologisk Instituts EnergyFlexHouse i Taastrup. Formålet har været at analysere fjernvarmebeholderuniten i samspil med et større lavenergihus på forskellige tidspunkter af året og med forskellige tappemønstre for varmt brugsvand med henblik på eftervisning og videreudvikling af konceptet for lavtemperaturfjernvarme til lavenergibyggeri. Der er gennemført målinger i 3 intervaller med 3 forskellige tappemønstre: DS 439 (12,84 kWh), M (5,85 kWh) og L (11,655 kWh). Resultaterne viser at fjernvarmebeholderuniten fungerer fint i samspil med EnergyFlexHouse og udfører forskellige tappemønstre med den forventede brugsvandstemperatur. Dog kan det mest skrappe tappemønster ikke gennemføres helt. I de 3 måleintervaller er der registreret tab fra installationerne inkl. fjernvarmebeholderunit på mellem 67 og 125 W. Husets varmebehov er målt i et interval i vintersæsonen til ca. 2 kW ved en udetemperatur på 1,6°C. Omregnes til dimensionerende udetemperatur på -12°C fås et varmebehov til rumvarme i størrelsesordenen 3,5 kW mod teoretisk set 3,7 kW. I lighed med forudgående simuleringer viser målingerne, at fjernvarmebeholderuniten er følsom over for tappemønstre og ladeflow i forhold til opretholdelsen af en lav returtemperatur. Det er mest udbredt i sommersæsonen. For en given beholderstørrelse skal ladeflowet så vidt muligt indreguleres til et givet tappemønster og varmt brugsvandsforbrug for at få den helt optimale drift. En adaptiv styring er måske ikke løsningen, men nogle let forståelige råd om indstilling af ladeflow ved forskellige brugsmønstre foreslås. Det kunne fx være i form af reference til forskellige tappemønstre jf. europæiske standarder fx:

- S	2,1	kWh/døgn
- M	5,85	kWh/døgn
- L	11,655	kWh/døgn
- XL	19,1	kWh/døgn

Eller det kunne være i form af angivelse af ladeflowindstilling for antal typiske brusebad pr. dag:



Et nyt projekt bevilget under EUDP 2010-II programmet skal bringe konceptet et trin videre og udvide udbredelsespotentiallet markant. I næste trin skal det nuværende stadie af lavtemperaturfjernvarme videreudvikles i form af yderligere optimering af rør, fjernvarmeunits, styringskomponenter etc.

6 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] *Efficiency of domestic electric storage water heaters*, prEN 50440, August 2005
- [7] *ANNEX IV on Eco-design implementing measures for dedicated water heaters*, Den europæiske kommission, Juni 2010,
- [8] *Study on water heaters and tapping patterns in relation to proposed Ecodesign implementation measures*, C. Christiansen et al., Energistyrelsen, November 2009.