

Optimering og erfaringsopsamling fra pulsvarme til lavenergihuse ved andelssamfundet i Hjortshøj” ved Energiselskabet ved Andelssamfundet i Hjortshøj



Opdateret version, september 2015

Energiselskabet ved Andelssamfundet i Hjortshøj
Gammel Kirkevej 116 a
8530 Hjortshøj
att. Gunnar Boye Olesen



**Med støtte fra Dansk Fjernvarmes F&U konto
Projektnummer 2013-5**

Resumé

20 lavenergihuse er opført i 2008-2014 i Andelssamfundet i Hjortshøj ved Århus og tilsluttet fælles varmesystem med afbrydelig fjernvarme. Hvert hus har solfanger og lagertank og er tilsluttet fjernvarmeforsyningen. Fra fjernvarmecentralen sendes varmt vand i pulser, herefter kaldet pulsvarme. Varmepulserne opvarmer varmelagertanke i de enkelte huse i varmesæsonen. Der har været gennemført målinger på husene og deres forsyningsnet i de tre varmesæsoner 2012 - 13, 2013 - 14 og 2014-15. Der er detaljerede målinger for 17 af husene.

Målingerne af ledningstab viste at tabet ved pulsvarme incl. stop af fjernvarmen i sommerperioden (3-4 måneder) var omkring det halve af det forventede tab uden pulsvarme. Ledningstab ved puls-varme var højere end forventet, 22 MWh/år mod beregnet ved design 15 MWh/år. Forskellen kan forklares med kortere sommerpause end forventet (3-4 måneder mod forventet 5 måneder), samt længere periode med forhøjet fremløbstemperatur og længere periode med permanent varme i vinterperioden end forventet i design.

Husene har individuelle solfangere og store lagertanke og får derfor ikke leveret varme i langt det meste af sommersæsonen. Det medfører, at varmenettet er koldt det meste af perioden 1/5 - 1/10. Det var dog nødvendigt med varmetilskud i maj måned alle tre år, hvorfor sommerpausen i praksis var 3-4 måneder frem for forventet 5 måneder. Når der er slukket for fjernvarmen, leverer solvarmen langt det meste af varmebehovet til varmt vand. Alle huse har dog elvarmepatroner i deres varmtvandstanke, så de kan få mindre suppleringsvarme udenfor varmesæsonen. Målinger på brug af varmepatron for 4 huse viste at der er et elforbrug i elpatronerne, men det er beskedent sammenlignet med de andre varmeforbrug.

Når det sammenlignes med en situation med huse uden solvarmeanlæg og uden pulsvarme, ses det, at den samlede årlige reduktion af varmetab fra ledningsnettet er omkring 50% (fra 43 MWh til 22 MWh i den aktuelle husgruppe).

De enkelte huse er forsynet med termostater, som sikrer at varmen stoppes når lagertanken er fuld. Det har den risiko at ved for højt setpunkt for termostat bliver returtemperaturen for høj, specielt sidst i pulsen. Målingerne bekræfter at dette problem eksisterer. Et eksempel fra november 2013 viser at returtemperaturen stiger mod slutningen af pulsen, hvilket i det aktuelle eksempel skyldes at to huse ikke afbryder varmen, når deres varmetanke er varme.

Det blev forsøgt at sende returvand fra retur til fremløb efter pulsen for at reducere den varmemængde, der, tabes i stop mellem pulser. Da pulsen standsede når der ikke var mere varmeforbrug, gav det ikke med den aktuelle udformning nogen besparelser, da der ikke var noget forbrug på dette tidspunkt.

Der blev indbygget en støttepumpe, som betød lidt større flow i pulsperioden. Det betød at pulsperioden kunne reduceres, da der nu bliver leveret en større effekt.

Der er usikkerheder i vurderingerne, bl.a. fordi der er problemer med manglende måleresultater i perioder på enkelte målere, hvorfor ledningstab ikke kan vurderes i de perioder. Efter målinger i tre varmesæsoner vurderes det dog at konklusionen om en besparelse på knapt 50% er godt underbygget.

Der blev designet et pulsmodul, som i de enkelte huse skulle tilsluttes varmefremløb og retur, varmebeholder og kredse til radiatorer og gulvvarme. Tre moduler blev bygget og installeret. De færdige pulsmoduler simplificerede installationerne, men det var af pladshensyn ikke muligt at installere modulerne som tiltænkt ved siden af varmebeholderen, og der kom derfor længere rørforbindelser end planlagt mellem varmebeholder og varmetank end planlagt. Det betyder intet for funktionen, men gav en

lidt større installation og lidt større tab i det rum, hvor varmeinstallationen var (typisk bryggers eller badeværelse).

Der blev i fire huse installeret målere til elpatroner til at vurdere hvor meget el, der blev brugt som tilskudsvarme. Det viste et meget forskelligt forbrug af el-back up, fra 11 til 139 kWh/år pr. hus; med undtagelse af et hus med defekt solvarmeanlæg, hvor forbruget nåede godt 1000 kWh.

Der blev opstillet varmeprofiler for de tilsluttede huse baseret på døgnforbrug. Husenes varmeforbrug blev også vurderet ved at sammenligne graddagekorrigerede årsforbrug med beregnede årsforbrug. For gennemsnittet af de 17 huse svinger forbrugsopgørelserne fra 5% over til 1% under det forventede forbrug.

8 af husene, dvs. ca. halvdelen har forbrug, der afviger 10% eller mindre fra det forventede (opgjort som gennemsnit af vurdering med varmeprofil og vurdering med årsforbrug). Fire huse har forbrug, der er under 90% af det forventede og seks huse har over 110% af det forventede. Dermed ligger husene realiserede forbrug samlet meget tæt på det forventede forbrug, selvom der er en del individuelle forskelle, hvilket dog også er forventeligt.

I to af husene blev installeret målere for el-backup (to af de 4 nævnt ovenfor), rumvarme, solvarmeinput og varmtvandsforbrug. Desværre var varmtvandsmålerne defekte og derfor var det kun muligt at adskille rumvarmeforbrug fra varmtvandsforbrug + systemtab. For et af husene, som er et lavenergi klasse 2 hus, var rumvarmeforbruget i det aktuelle år 58% af samlet forbrug. For det andet hus, som er et passivhus, var det målte varmeforbrug kun 30% af det samlede forbrug; men hvis et skøn for systemtab i varmesæsonen medregnes (idet dette tab i praksis indgår i rumopvarmningen), bliver rumvarmeforbruget 43%, og hvis systemtab i sommerperioden ikke medregnes, idet dette dækkes af solvarmeanlægget, er rumvarmeforbruget 55%.

Omkostninger til pulsvarme er gennemgået. Den viser at der er driftsbesparelser ved pulsvarme; men at når betaling til investeringer medregnes, er den billigste løsning fjernvarme kombineret med solvarme, hvor fjernvarmeforsyningen til distributionsnettet kan standses 4 måneder pr. år. Den valgte løsning med solvarme + pulsvarme er dog billigere end konstant fjernvarme, når der regnes med 2,5% rente og med at nettabet for distributionsnettet betales af forbrugerne, hvilket er tilfældet i det aktuelle projekt. Der er usikkerheder for bl.a. solvarmeproduktion, og konklusionen skal derfor tages med nogen forbehold. I det konkrete projekter var der både rabatter og meromkostninger, som ikke er medregnet i den økonomiske analyse, ligesom Energiselskabets besparelse ved sparet rørtab i forsyningsledningen til projektområdet ikke er medregnet.

Forbrugerne har fået adgang til deres målerdata time for time via web-portalen eButler. Det forbedrer både muligheder for at optimere eget varmeforbrug og indstilling af pulsperioden.

Erfaringerne fra projektet er blevet brugt til et projektforslag til pulsvarme ved renovering af et lille fjernvarmesystem på Lyø. Projektet blev dog ikke bevilget. Desuden har Energiselskabet indført en mere begrænset form for pulsvarme i sommerperioden i en anden del af anlægget. Her forsynes boliggrupper, der, modsat projektområdet, har behov for suppleringsvarme.

Iøvrigt fortsætter pulsvarmen i bogruppe 7 og 8 efter projektperioden. Det vil fremover i højere grad være beboerne, der via deres fælles repræsentanter vil styre pulsvarmen.

Indholdsfortegnelse

1. Koncept: Pulsvarme til reduktion af varmetab - et koncept til fjernvarme til lavenergibyggeri.....	5
2. Pulsvarme ved Andelssamfundet i Hjortshøj.....	5
3. Ledningstab med og uden pulsvarme	6
4. Optimering af pulsvarme, returtemperatur m.m.....	9
5. Installation med fjernvarmeunit/pulsmodul.....	15
6. Elforbrug.....	17
7. Varmeforbrug i huse.....	18
8 Økonomi.....	25
9. Forbrugertilgængelighed af måledata.....	28
Bilag 1, Placering af ledninger og tomrør til styre-og målesystem.....	29
Bilag 2 : Målte varmekonsum og rørtab	30
Bilag 3, Diagram og skitse til pulsvarmemodul.....	33

1. Koncept: Pulsvarme til reduktion af varmetab - et koncept til fjernvarme til lavenergibyggeri

Danske huse bygges i dag med lavere varmetab end tidligere, hvilket medfører, at deres forbrug af varme er mindre. Når disse nye huse forsynes med fjernvarme, øges andelen af den varme, som tabes i fjernvarmeledningerne relativt til andet byggeri. Dette har størst betydning i områder, hvor der bygges lavenergihuse. Samtidig vil det mindre forbrug betyde, at fjernvarmevandet løber langsommere og dermed bliver koldere, før det når forbrugerne. Det vil kræve større brug af omløb for at sikre en tilstrækkelig vandstrøm og dermed en rimelig fremløbstemperatur, også til de yderste forbrugere. Større brug af omløb giver større varmetab. Problemerne kan reduceres med bedre isolerede rør, men også med "pulserende fjernvarme" eller pulsvarme, hvor fjernvarmen leveres i 1-2 daglige pulser. Derved sparer man en stor del af varmetabet i rørene i pauserne mellem pulserne. Pulsernes længde og antal kan varieres efter vejret, så der er lange pulser eller permanent varme når det er koldt. Udover at reducere varmetabet vil pulsvarme øge vandstrømmen i pulsperioderne og dermed reducere behovet for omløb. På den måde kan der skæres ned på unødigt flow og varmetab, som følger af forhøjede temperaturer i returledningen.

Ideen med pulsvarme har længe været kendt, men praktiseres såvidt vi ved aktuelt kun i Andelssamfundet i Hjortshøj ved Århus.

2. Pulsvarme ved Andelssamfundet i Hjortshøj

I den økologiske bebyggelse "Andelssamfundet i Hjortshøj" praktiseres pulsvarme i et nybyggeri med aktuelt 22 lavenergihuse i tæt-lavt byggeri. Husene er opført løbende siden 2008, og der forventes yderligere opført en bolig og et fælleshus. Af de 22 huse, der nu er opført, er 20 tilsluttet fjernvarmesystemet. Fjernvarmesystemet med pulsvarme har været i gang siden november 2008 og der har tidligere været detaljerede målinger for de 7 huse og deres forsyningsnet i varmesæsonen 1/10 -2009 - 1/5 2010 og på 11 huse i varmesæsonen 1/10 - 2010 - 1/5 2011. Målingerne er fortsat og i denne rapport er medtaget målinger fra varmesæsonerne 2012-13, 2013-14 og 2014-15 på op til 20 huse. Der er detaljerede målinger for 17 af husene.

Baggrunden for projektet er at byudbygningsområdet "Lokalplan 715" i Hjortshøj i Århus Kommune er blevet bebygget med tæt-lavt lavenergibyggeri. Energiselskabet ved Andelssamfundet i Hjortshøj har varmforsyningen for området. Dette energiselskab er et lille selskab etableret med det formål at levere den mest miljøvenlige varmforsyning til et lokalt område i Hjortshøj, der er udlagt til miljøvenligt byggeri. Lokalplan 715 er en del af dette område. Den lokale varmecentral har flis-og træpillefyr samt en stirlingmotor, der skal bruges som kraftvarmeanlæg. Selskabet forsyner 120 boliger med varme. Fjernvarmenettet drives som et lavtemperaturanlæg med mindst 60°C fremløb til forbrugerne. Da alle tilsluttede boliger har solvarme (også de ældre), stoppes anlægget i sommerperioden, når der er tilstrækkelig solvarme til at dække varmebehov lokalt.

Formålet med dette projekt er at demonstrere, hvordan et fjernvarmeanlæg til forsyning af tæt-lavt lavenergibyggeri kan drives med det lavest mulige ledningstab og anvendelse af almindelig fjernvarmeteknologi. Dette opnås ved at kombinere lokale varmelagre i boligerne med fjernvarme, der fremsendes i pulser med lav fremløbstemperatur (min. 60°C til forbrugerne). Varmelagrene er 550 l. for de fleste boliger, men for de største boliger (over 180 m²) er lageret 750-800 l. og i de mindste boliger kun 400 l. Pulserne afpasses efter vejrlig, så varmekonsumet i pauserne mellem pulserne svarer til lagrenes kapacitet. Om sommeren bruges varmelagrene til solvarme. I de enkelte boliger kræver systemet stort set ikke ekstra plads i forhold til et almindeligt solvarmeanlæg, eller

f.eks. et jordvarmeanlæg, der normalt har en lagertank af samme størrelse. Dog er tanken på 550 ltr. lidt bredere end normale tanke til solvarme eller jordvarme: ca. 80 cm i diameter, mod normalt 60 cm.

Pulserne styres automatisk med ventiler i de enkelte boliger.

Boligerne er opdelt i to grupper, bogruppe 7 og bogruppe 8. Området forsynes via indløb til bogruppe 7 mens bogruppe 8 forsynes gennem bogruppe 7, se oversigtsplan i bilag 1. Der er termostatiske omløb ved indgangen til de to grupper, som sikrer en passende høj fremløbstemperatur, når pulsen starter. Der er også termostatisk omløb i det sidste hus i bogruppe 8. Omløb starter før pulsen til boligerne og afbrydes, når fremløbstemperaturen er tilstrækkelig høj, typisk 55°C.

Der er flg. normale driftsformer:

- sommer, dvs. maj/juni - september: anlægget er lukket; men der kan manuelt startes enkelte pulser i perioder uden sol, hvor varmecentralen er startet.
- overgangsperiode, typisk oktober-november og april-maj: en daglig puls á 4-6 timer
- koldere overgangsperiode, typisk december og marts: længere daglig puls, 8-14 timer
- særligt kolde perioder, typisk i januar-februar: permanent forsyning

3. Ledningstab med og uden pulsvarme

Det blev før projektets gennemførsel beregnet at ledningstabet til og i den nye bebyggelse kan reduceres fra omkring 25% af den leverede varme ab værk til omkring 10% incl. tab p.g.a. afkøling af vand i rør efter puls. Dermed var der forventning om mere end en halvering af rørtabet. I det tidligere projekt blev det beregnet at ledningstabet blev reduceret med omkring 50% i forhold til en situation uden pulsvarme og uden sommerstop med lokal solvarme.

Der blev ved design af anlægget beregnet varmetab med puls som angivet i tabel 1

Samlet bogruppe 7 og 8	Tab/dag (kWh)	Drift/år (dage)	Tab/år (MWh)	Tab/forbrug (%)
Ledningstab m. puls	76	200	15	9
Ledningstab u. puls	120/138	314+51	45	26

Tabel 1: Forventet tab med pulsvarme beregnet før projektstart og forventet tab uden pulsvarme for de to bogrupper, beregnet i dette projekt. For beregningen uden pulsvarme regnes med varme hele året, men at en periode på 51 dage/år er der 10°C forhøjet fremløbstemperatur, fra 68°C til 78°C.

Tilslutninger af huse

Medio 2012 var tilsluttet ialt 17, heraf 10 huse i bogruppe 8 og 7 huse i bogruppe 7. I december 2013 blev yderligere to huse tilsluttet bogruppe 7, så der i det følgende varmeår var tilsluttet 9 huse i denne bogruppe. I sommeren 2014 blev yderligere et hus tilsluttet i bogruppe 7; og dette huse begyndte at bruge varme i den sidste varmesæson. To huse er ikke tilsluttet fjernvarmen.

Det forventes yderligere tilsluttet to huse inden bebyggelsen er fuldt udbygget, en bolig og et fælleshus.

Nærmere teknisk beskrivelse kan findes i rapporten Praktisk demonstration i lavenergibyggeri af pulsfjernvarme kombineret med solvarme, Energiselskabet ved Andelssamfundet i Hjortshøj og PlanEnergi (Projekt med støtte fra Dansk Fjernvarmes F&U konto), Juni 2012. Beskrivelsen af det fjernvarmeunit (kaldet pulsmodul), der blev lavet til det aktuelle projekt, er beskrevet i denne rapport.

Måling af varmetab ved pulsvarme

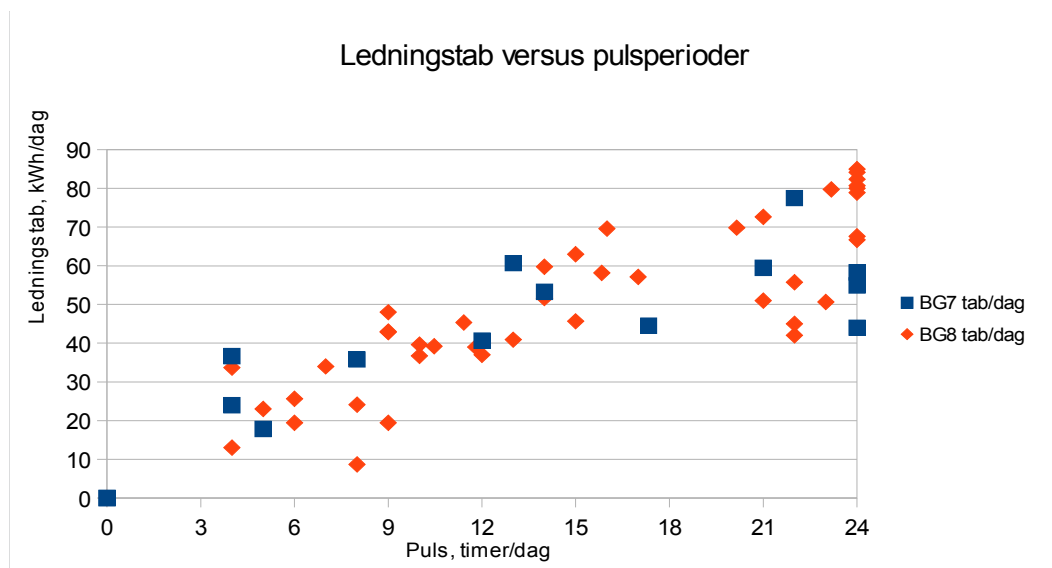
Som en del af projektet er husene forsynet med dataopsamling og energimålere af god kvalitet (klasse 2, Kamstrup). Fællesmålere for hver af de to boliggrupper er forsynet med tilsvarende energimålere og dataopsamling. Dataopsamlingen føres til Energiselskabets dataopsamlingsudstyr og der opsamles data hver time, når anlægget er i drift.

Dermed kan varmetab for de to boliggrupper beregnes som fællesforbrug minus sum af husenes forbrug. For bogruppe 7 skal også fratrækkes bogruppe 8's forbrug.

Rørtab og pulsperioder er angivet i bilag 2. Varmeforbrug og rørtab er opdelt i perioder med samme pulslængde, for at kunne vurdere rørtab med pulsvarme med forskellig pulslængde. Perioder, hvor en målers fjernaflæsning ikke har været i drift er undtaget, da det her ikke er muligt at angive rørtab.

Det blev ved de tidligere projekt konstatere at der er minimal besparelse med to pulser pr. dag sammenlignet med konstant forsyning. Der har derfor til dette projekt kun været anvendt en puls pr. dag, som til gengæld er af en længere varighed i kolde perioder.

Da der i hele perioden kun har været anvendt en puls/dag, kan forventes en entydig sammenhæng mellem samlet daglig pulslængde og dagligt ledningstab. Der er da også en utvetydig sammenhæng mellem pulsperioder og ledningstab, som det ses på figur 1.



Figur 1. Sammenhæng mellem pulslængde og rørtab, data i bilag 2.

Af figur 1 fremgår dog også at der er en del variation i tab ved samme pulslængde. Det skyldes en række forhold:

- i visse vinterperioder har det været nødvendigt at hæve fremløbstemperaturen fra varmecentralen op til 10°C til maksimalt 80°C (78°C ved indløb til bogruppe 7-8) fra normal 70°C fremløb fra central (68°C ved indløb til bogruppe 7-8). Derfor har nogle perioder med permanent varme (puls 22-24 timer) et højere ledningstab.
- enkelte målinger omfatter opstart af varme efter sommerpause, her ses lidt højere ledningstab ved kort pulslængde
- husene afbryder selv puls, når varmetank er varm. Der er derfor mindre tab i stikledninger når varmekonsumet er lavt.
- usikkerhed på målingerne.
- For bogruppe 7 er der også forskel på antal huse tilsluttet.

Ikke desto mindre er det klart vist at der er markant lavere ledningstab korte varmpulser, 12 timer/dag og kortere. Ved 4-6 timers daglig puls er ledningstabet under det halve af tabet ved permanent forsyning.

Ud fra data til figur 1 vurderes ledningstab ved permanent forsyning som følger:

- i vinterperioder med forhøjet fremløbstemperatur 65 kWh/dag for bogruppe 7 og 79 kWh/dag for bogruppe 8,
- i resten af året 54 kWh/dag for bogruppe 7 og 79 kWh/dag for bogruppe 8

Tab udenfor vinterperioden, hvor der ikke er permanent varme er beregnet ved at reducere tab i vinterperiode dels med forskel i varmetab mellem forhøjet fremløbstemperatur (anvendt i vinterperioder med høj belastning) og normal fremløbstemperatur¹ dels med forskel i jordtemperatur mellem ²vinterperiode og resten af året.

Ud fra dette kan forventet ledningstab uden puls beregnes for de to bogrupper og sammenlignes med realiserede varmetab. Resultaterne fremgår af tabel 3.

¹ Baseret på måledate for tab og fremløbstemperaturer er der regnet med 8% lavere tab ved normal fremløbstemperatur end ved forhøjet fremløbstemperatur

² Ud fra data for jordtemperatur i 80 cm dybde fra EFP-rapport 27 til Energistyrelsen, graf side 28 er jordtemperatur i perioden med konstant varme vurderet til 3,3°C (medio december - medio februar) og i resten af året til 9,8°C. Med de aktuelle fremog-returtemperaturer giver det et 17% lavere tab for resten af året end for perioden med konstant varme. Samlet betyder det at tabet (i W/m) er 25% lavere udenfor perioden med konstant puls og forhøjet fremløbstemperatur.

Ledningstab(M Wh/år)	BG7	BG8	Ialt	Ialt (W/m)	Ialt(%)
Målt ledningstab	10	12	22	5,3	19%
Tab uden puls	20	23	43	10,3	37%
Forventet tab ved puls			15	3,6	9%
Forventet tab uden puls	25	19	44	10,6	26%

Tabel 3: Målt ledningstab pr. år sammenlignet med forventet tab uden puls beregnet ud fra data til figur 1, og forventede tab med og uden puls baseret på forventede tab ved design af varmforsyningen. For bogruppe 7 er målt ledningstab fra 2012-13 og for bogruppe 8 er det gennemsnit af 2012-13, 2013-14 og 2014-15. Tab/m er gennemsnit af de ialt 476 m dobbeltrør i de to bogrupper og er gennemsnit over et år, incl. en sommerperiode, der med puls er uden varmforsyning og derfor uden tab. De relative tab er for målte tab og "Tab uden puls" er i forhold til et forbrug på 117 MWh for de to bogrupper (gennemsnit af 2012-13, 2013-14 og 2014-15) mens det for de forventede forbrug er i forhold til et større forventet varmeforbrug.

Som det ses af tabel 3 er det samlede ledningstab væsentligt mindre end det ville have været uden puls, omkring det halve af forventet tab uden puls, baseret på de målte værdier af ledningstab. Dermed holder konklusionen om at den type pulsvarme, der praktiseres i projektet, kan halvere ledningstabet.

Tabet er større end forventet, hvilket kan skyldes:

- at der en del af året, 15- 60 dage/år forhøjet fremløbstemperatur.
- at varmesæsonen var mere end de 200 dage, der var forventet i designet. Både sommeren 2013 og 2014 var sommerpausen i varmeleverancen ikke de forventede 5 måneder, men kun godt 4 måneder. Også i 2015 fortsatte varmeleverancen det meste af maj. Der var i perioderne før og efter sommerpausen en kort puls, 4-6 timer/dag. Det ekstra rørtab er opgjort til hhv. 1,8 MWh og 1,6 MWh for hhv. 2014 og 2015r, som rørtab i BG7+BG8.
- der var længere perioder med permanent varme end forventet
- der kan også være større tab end beregnet i ledningsnettet. selvom den lille forskel mellem vurdering af ledningstab uden puls baseret på målte tab og på design ikke tyder på det.

4. Optimering af pulsvarme, returtemperatur m.m.

Det er i princippet muligt at optimere pulsvarmedriften på en række måder:

1. begrænsning af returtemperatur
2. Jævn fordeling af varme mellem de tilsluttede huse.
3. begrænsning af pulslængde med større flow
4. begrænsning af pulslængde med stop for puls efter behov
5. begrænsning af vand, der afkøles i rør efter puls.

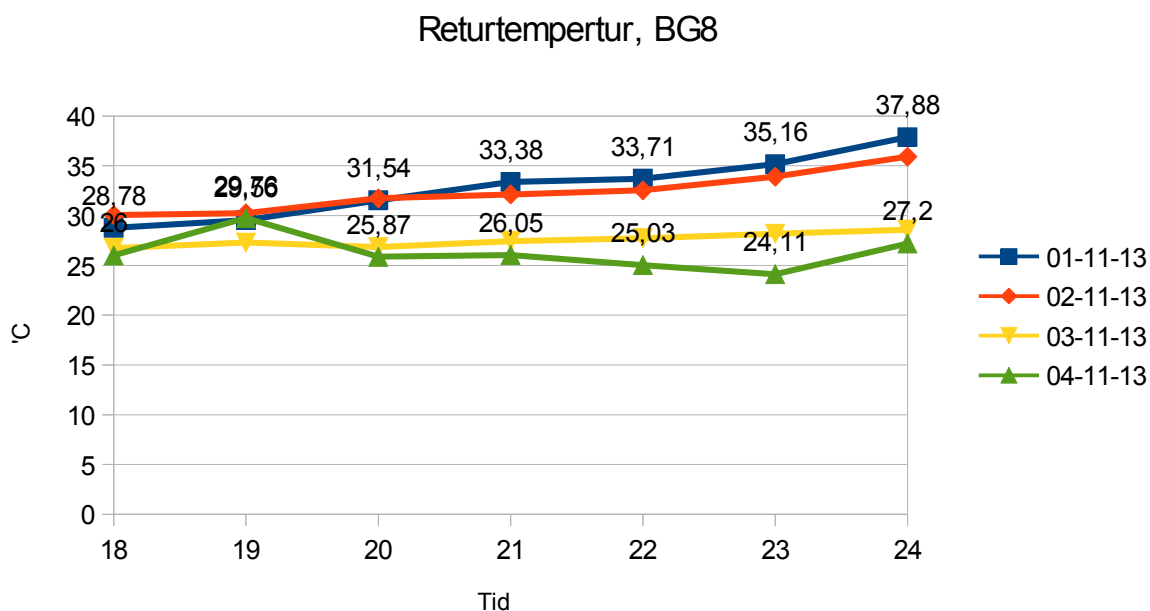
4.1 Begræsning af returtemperatur

De enkelte huse er forsynet med termostater, som sikrer at varmen stoppes når lagertanken er fuld. Det har den risiko at ved for højt setpunkt for termostat bliver returtemperaturen for høj, specielt sidst i pulsen.

Derfor er der behov for at justere termostater i tankene, så tankene bliver fyldt med varmt vand samtidig, og for at pulsen stopper når returtemperaturen begynder at blive høj. I nogle situationer er det dog nødvendigt at acceptere en høj returtemperatur. Det er specielt når solvarmeanlæggene leverer varme, der opvarmer tankene til under den temperatur der kræves for at producere varmt vand, ca. 55°C. Så skal de øverste dele af tankene fyldes med vand fra fjernvarmeforsyningen til de er varme nok til at producere varmt vand, hvilket giver en returtemperatur, som i ekstreme tilfælde kan nå 55°C. Da husene alle er forsynet med gulvvarme, er returtemperaturen dog under normale omstændigheder væsentligt lavere (typisk 35-45°C).

Termostaterne blev reguleret så de standsede pulsen til de enkelte huse, når både bunden af husets tank var ca. 40°C og midten af tanken var ca. 55°C.

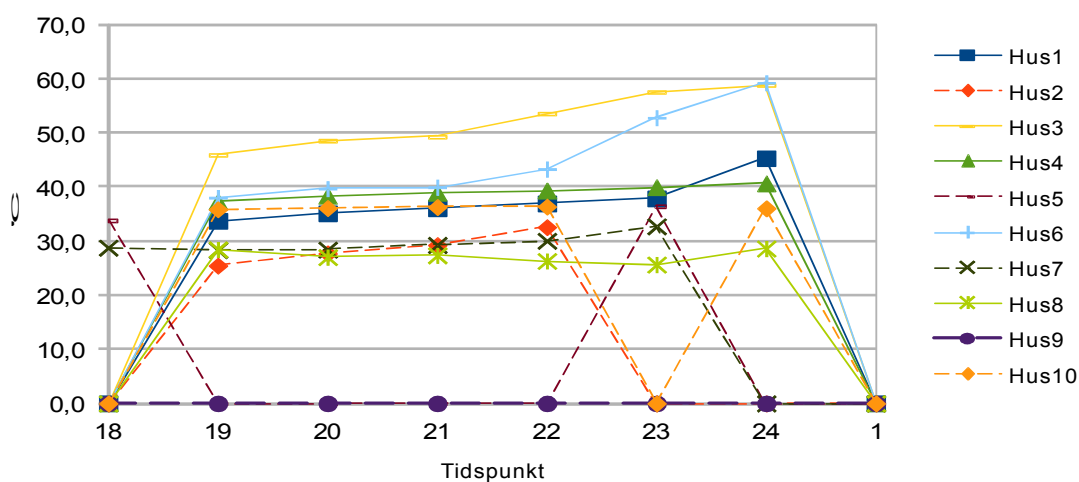
Et eksempel er en puls på 6 timer i november 2013, illustreret i figur 2



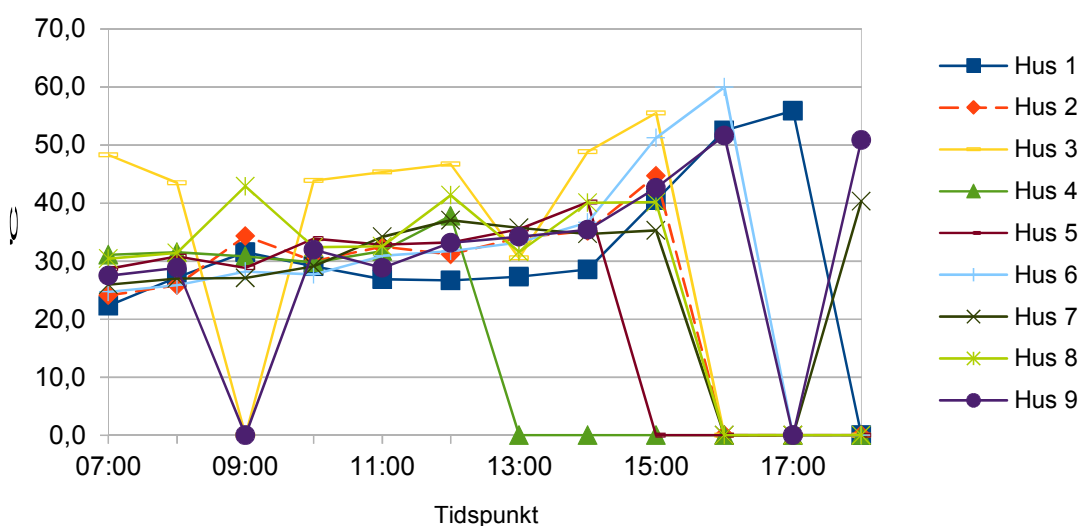
Figur 2: Stigende returtemperatur under puls for 4 dage i november 2013 for bogruppe 8 (fællesmåler), temperaturlæsninger er angivet for 1/11 og 3/11.

Der er generelt stigende temperaturer gennem en puls, men også nogen variation, f.eks. stiger temperaturen 9°C d. 1/11, men kun 1°C d. 3/11. Afgørende for denne forskel er om husenes termostater slår fra når husets returtemperatur når et passende niveau, hvilket afhænger af deres indstilling.

Hus-returtemperaturer ved puls 1/11-13



Hus-returtemperaturer ved puls 1/4-15



Figur 3 Returtemperaturer fra de enkelte huse 1/11-13 og 1/4-15 i bogruppe 8. Der er angivet temperaturen "0" for huse hvor varmetilførslen er afbrudt med husets tanktermostater og ved start/slut af puls.

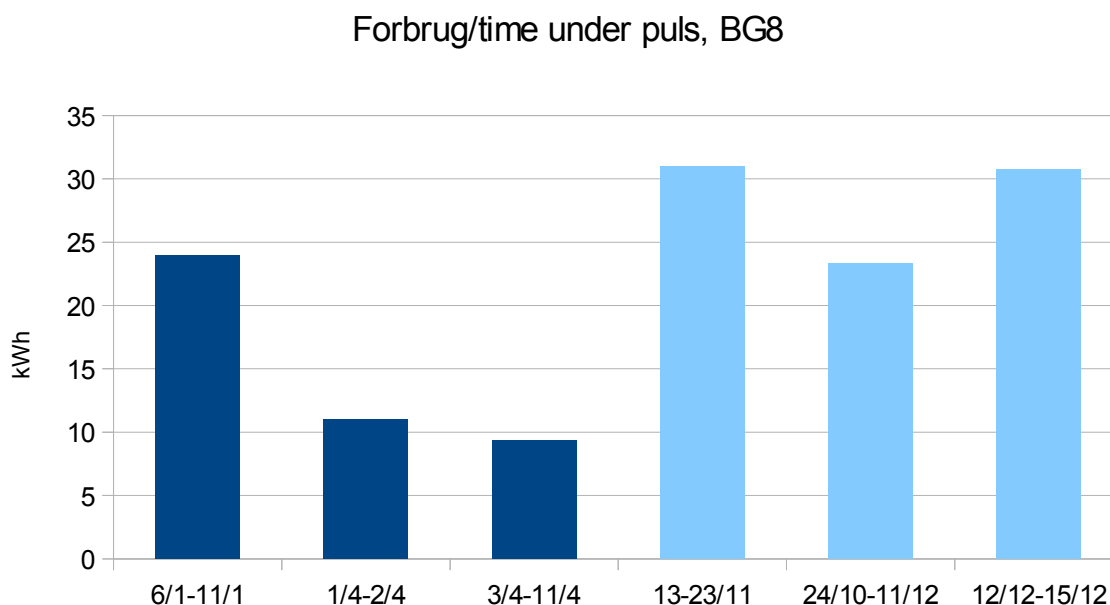
Det ses af figur 3 at husene generelt afbryder når tanken når en passende temperatur, men for flere af husene starter varmen igen efter 1-2 timer. I 2013 var der huse, der ikke afbrød, selv når tanken var varm. Det er ikke længere tilfældet; men der er stadig huse, der får høj returtemperatur i den sidste del af pulsen.

4.2 Jævn fordeling af varme mellem husene

For at fordele pulsen jævnt mellem de tilsluttede huse, reguleres flow ind i husene med strengreguleringsventiler, så de sidste huse også har tilstrækkeligt flow. Dette kan fordele flowet jævnt; men kræver manuel efterindstilling med mellemrum, f.eks. når der kobles nye huse til. Strengreguleringsventiler er løbende reguleret blevet så alle huse har fået et tilfredsstillende flow.

4.3 Begrænsning af pulslængde med større flow

Der blev indbygget en støttepumpe, som betød lidt større flow i pulsperioden. Det betød at pulsperioden kunne reduceres, men da der samtidig var flere huse tilsluttet blev der kun en mindre reduktion.



Figur 4. Leverance til huse i bogruppe 8 før og efter installation af støttepumpe, oktober 2013. Der er udvalgt perioder med puls, hvor effekten af kraftigere flow kan forventes at være synlig.

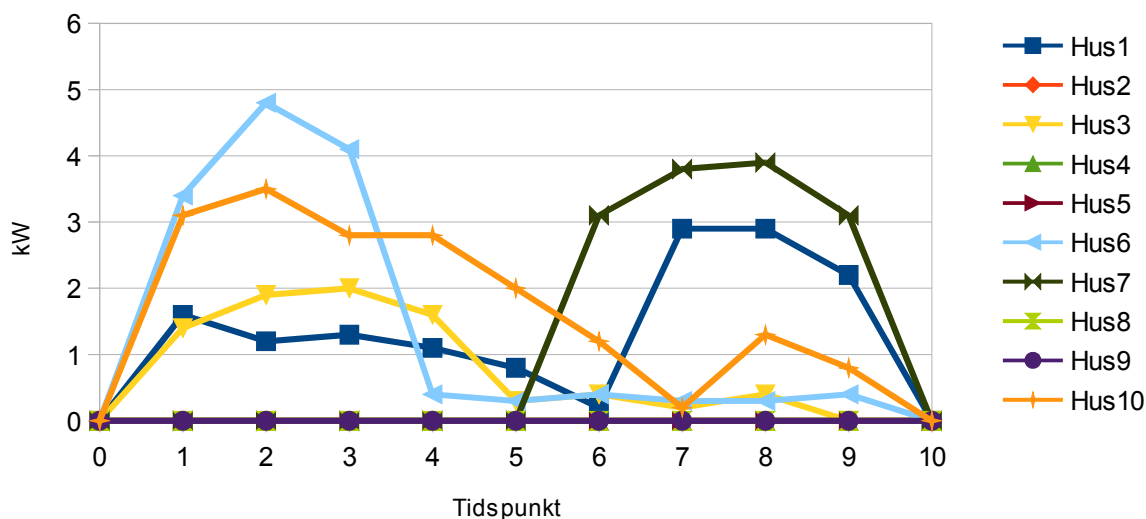
Figur 4 indikerer at der er blevet leveret mere varme pr. time under puls efter støttepumpen er indbygget i 2013. Der var ikke tilsluttet flere huse i bogruppe 8 i 2013. Der er den usikkerhed at pulslængderne blev indstillet manuelt og de er derfor et udtryk for ønsker om komfort, ikke konkret varmebehov, hvilket er et væsentligt usikkerhedsmoment. Ikke desto mindre er der som angivet i figur 4 en klar indikation af at støttepumpen øger leveret varmeeffekt og dermed reducerer den nødvendige pulslængde.

4.4 Begrænsning af pulslængde med stop for puls efter behov

I foråret 2014 blev styringen omkodet til at stoppe pulsen indenfor den sidste del af pulsperioden, når ingen huse længere havde behov for varme. Dermed kunne pulsen automatisk variere mellem f.eks. 6 og 12 timer. Systemet havde dog ikke den ønskede virkning idet huse, som stoppede deres puls efter en kort periode pga varm tsnk, startede igen i korte perioder, så der ikke var et tidspunkt, hvor alle huse havde stoppet deres puls pga varm tank.

Et eksempel på dette er vist i figur 5

Effekt pr. hus i BG8 under puls 5/5-2014



Figur 5, effekt af huse i BG8 ved puls 5/5-2014 startende ved midnat. Flere huse har lukket for varmen og optræder derfor ikke på grafen. Det gælder hus 2, 4, 5, 8 og 9. Disse huse har manuelt eller automatisk stoppet pulsen og forsynes derfor kun med solvarme.

Som det ses er der i dette tilfælde flere huse, der har en forventelig puls med afbydelse efter 4-7 timer (hus 1, 3, 6, 10). Pulsen kunne så stoppes når disse huse når minimum effekt kl. 6-7; men da hus 7 først begynder at modtage puls kl. 5 og hus 1 og 10 begynder at modtage varme igen efter et stop, kan dette ikke gøres med den aktuelle styring. Desuden er der det problem at hus 3 og 6 ikke stopper flow, når deres tanke er fulde. Det formodes at termostater står forkert for disse huse.

Energiselskabet vil arbejde videre med muligheder for en mere automatisk indstilling af pulslængde, både med stop af samlet puls og stop for puls til de enkelte huse, idet dette kan reducere tab i stikledninger.

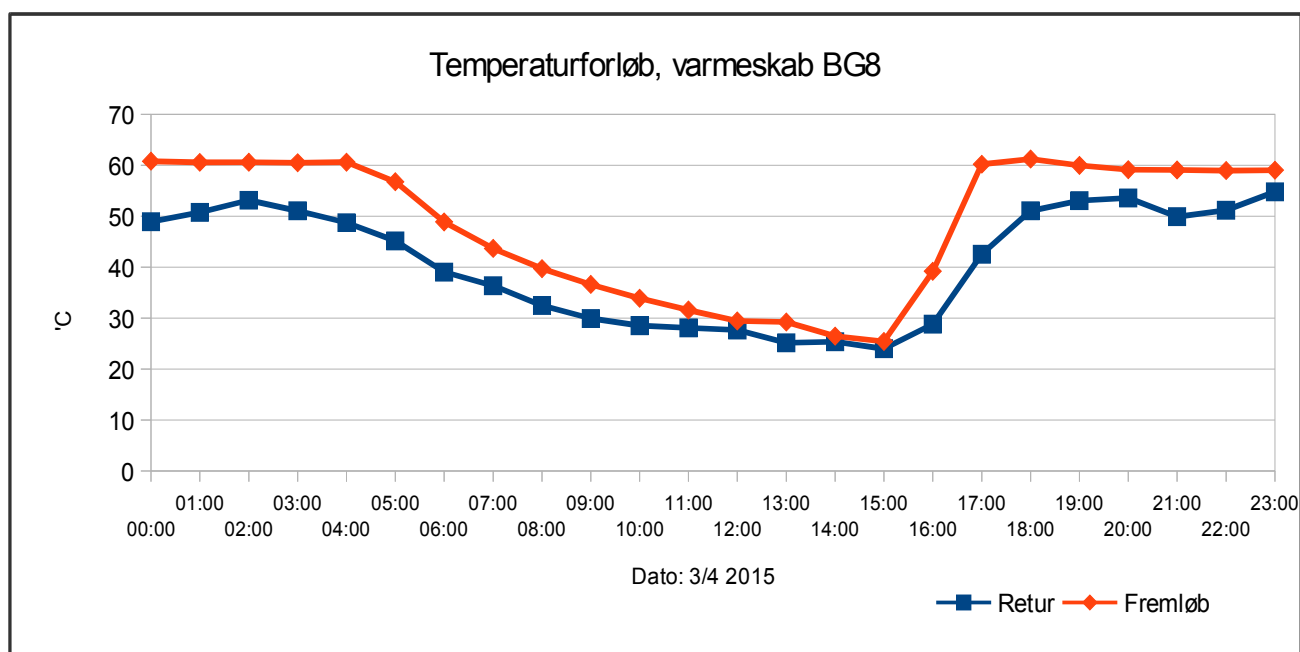
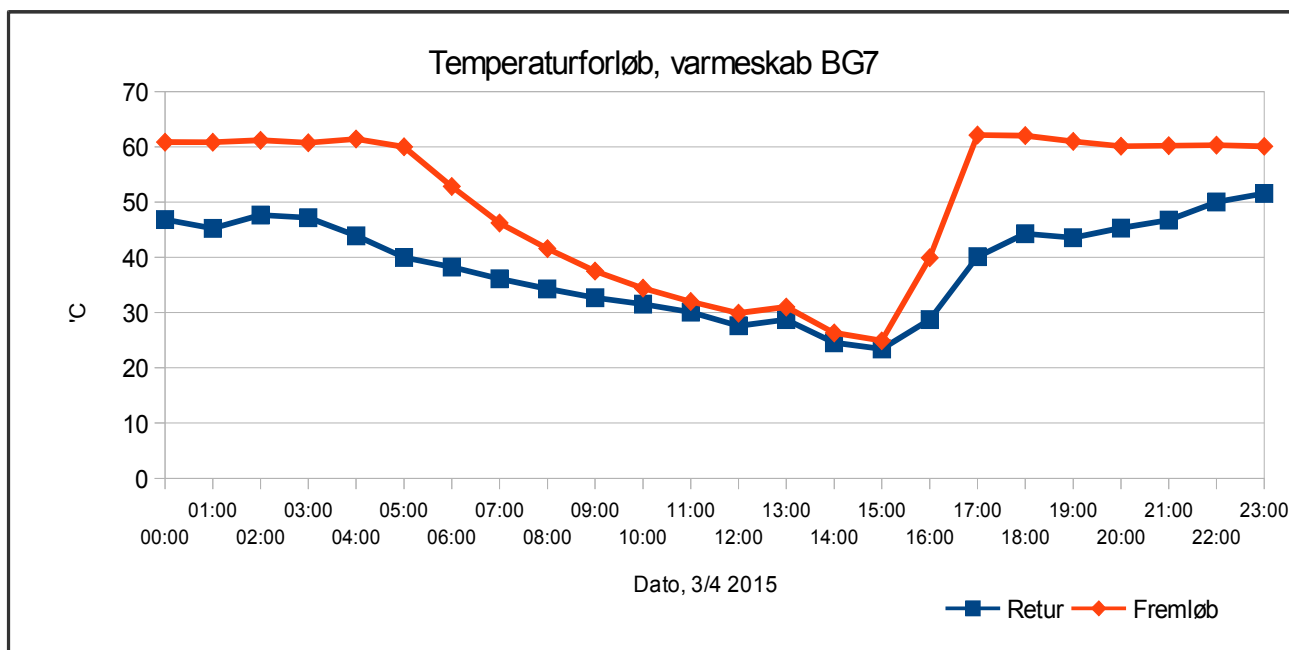
4.5 Begrænsning af vand, der afkøles i rør efter puls.

Det blev forsøgt at sende returvand til retur til fremløb efter pulsen, men da pulsen først standsede når der ikke var mere varmeforbrug, var der ikke noget forbrug efter pulsen. Det er ikke lykkedes at finde en driftsform, der kan udnytte varmen i fremløb ved slut af puls uden at det har negative effekter i form af enten længere puls, eller mindre varmeleverance til nogle huse.

4.6 Maksimal afkøling af vand i rør

Mens der er meget varme at spare ved at lade varmforsyningen afkøle i pauser mellem pulser, er der vigtigt at rør og installationer ikke når ned på niveau'er, hvor der er risiko for skader. I dette måleprogram har vi ikke temperaturmålinger i selve rørene, men vi har temperaturmålinger i to overjordiske varmeskabe, hvor pulsvarme styres. Da vintertemperaturerne over jorden er langt lavere end jordtemperaturerne er det også relevant at se på realiserede afkølinger i varmeskabene. Rør i varmeskabene er isolerede og selve skabene er yderligere isolerede.

Da der kun er pulserende varmforsyning i de mindre kolde perioder, har vi ikke målinger for de koldeste vinterperioder. Omvendt betyder denne driftsform at der ikke er problemer med for stor nedkøling i de koldeste perioder. Konkrete målinger af nedkøling er vist i figur 6



Figur 6. Nedkølingsforløb for de to varmeskabe i projektet på en typisk dag med puls, 3/4 2015, hvor temperaturen svingede mellem -2°C og +9°C med et døgn gennemsnit på 3°C³

Der var pause i varmeleverancen kl. 05-16, men da hovedrørene først varmes via omløb, er der først varmeleverance i BG8 omkring kl. 17. Den lave fremløbstemperatur kl. 16 er i en opvarmningsperiode med aktive omløb, men uden varme til de tilsluttede huse.

Temperaturen når minimum på 24,9 - 25,4°C for fremløb og 23,5-24-25°C for retur efter 11 timers pause. Dermed når temperaturen langt fra ned på det kritiske niveau og er omkring 20°C over omgivelsestemperaturen. Da der ikke er pause i pulserne ved udetemperaturer under -5°C vurderes det at der ikke er at temperaturfaldet ikke når kritiske niveau'er.

³ Data fra Dansk Meteorologisk Institut for Midt-og Vestjylland

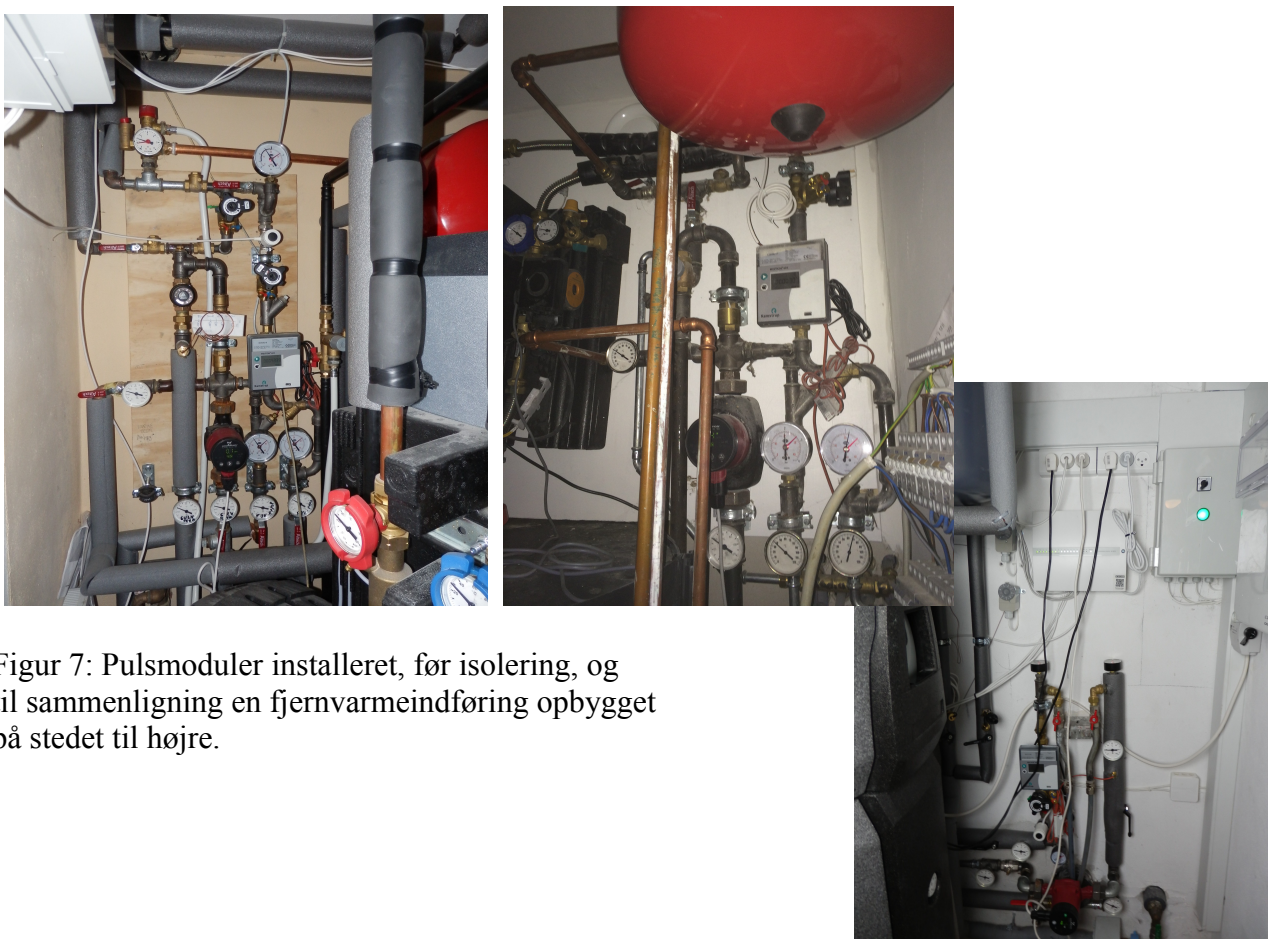
5. Installation med fjernvarmeunit/pulsmodul

Da der i en række af de første huse med pulsvarme var større installationsomkostninger end forventet, blev der i projektet udviklet et modul til tilslutning af fjernvarmen. Modulet indeholdt indeholdt pulsventil, varmemåler, strengreguleringsventiler, pumpe til varmecirkulation i huset i perioder uden puls, blandesløjfe til gulvvarme og udgange til varmetank, radiator-og gulvvarmeanlæg. Modulet blev indrettet så pumpen både kunne sørge for cirkulation udenfor pulsperioden og drive blandesløjfen til gullvarmen. Det blev designet så det direkte kunne monteres på siden af varmetanken fra Sonnenkraft. Diagram og skitse til modulerne er angiver i bilag 3.

Efter modulet var designet blev potentielle leverandører kontaktet; men da der til det akutte projekt kun skulle bruges 3-4 moduler, var større leverandører ikke interesserede. Istedet blev modulerne samlet af en selvstændig VVS, Per Schultz, som samlede modulerne lokalt. Der blev ialt fremstillet tre moduler.

De tre moduler blev installeret i tre nye huse i bogruppe 7, to i december 2013 og det sidste i august 2014. Det var p.g.a. pladsproblemer ikke i nogen af husene mulighed for at installere modulerne umiddelbart til højre for varmelagertanken, som designet var lavet til. Derfor blev der brugt 2-3 m ekstra rør til at forbinde modul med tank. Alligevel var installationsomkostningen i husene både lavere og mere forudsigeligt end ved opbygning af pulssystemet på stedet, som det skete i de tidligere opførte huse. Samtidig blev det sikret at der kun blev brugt en pumpe, hvor en del installatører til de første huse valgte en løsning med to pumper til hhv. cirkulation i varmekreds udenfor pulsperiode og til gulvvarmekreds. To pumper gav ekstraomkostninger for byggeriet.

To af pulsmodulerne er vist installeret i figur 7 sammen med en installation uden pulsmodul.



Figur 7: Pulsmoduler installeret, før isolering, og til sammenligning en fjernvarmeindføring opbygget på stedet til højre.

Ekstraomkostningerne ved pulsvarmen kan opgøres til omkostninger til ekstraomkostninger ved pulsvarmeunit fremfor almindelig fjernvarmetilslutning, samt ekstraomkostning ved solvarmeanlæg med 500 ltr. lagertank frem for solvarmeanlæg med normal varmtvandsbeholder på 250-300 ltr.

Omkostningerne for en løsning med hhv. almindelig fjernvarme, fjernvarme med solvarme og de aktuelle anlæg med pulsvarmemodul og 500 ltr. varmelagertank med integreret solvarme er angivet i nedenstående tabel 4.

Danske kr. excl. moms	Pulsvarmeunit og solvarmeanlæg	Almindelig fjernvarmetilslutning med gulvvarme + solvarme	Almindelig fjernvarmetilslutning med gulvvarme, uden solvarme
Varmemåler	3235	3235	3235
Pulsventil	566	0	0
Strengreguleringsventiler, 2 stk	1174	0	0
Termostater, 2 stk	1380	0	0
Pumpe	1271	1271	1271
VVS-dele, fjernvarmeindgang, gulvvarmesløjfe	6604	4167	4167
Pulsvarme-styreboks	1862	0	0
Samling af modul	1941	0	0
Solvarmeanlæg, varmt vand	42840	31040	5380
Ialt	60873	39713	14053

Tabel 4. Omkostninger ved fjernvarmeinstallation med gulvvarmesløjfe og varmtvandsproduktion. Der er sammenlignet et Sonnenkraft Comfort E solvarmeanlæg med 3 moduler og 500 ltr tank, et Sonnenkraft Compact E med 3 moduler og en 300 ltr. tank, samt en Metro Plus-70 varmtvandsbeholder. Omkostninger for VVS-dele er skønnede baseret på omkostninger for dele til modul. Omkostninger omfatter ikke installationsarbejde og manifold'er til fordeling af varme mellem husets rum. Priser er generelt listepreiser excl. moms.

Som det ses er der en merpris for pulsvarme + solvarme på ca. 21.000 kr i forhold til en simplere installation med fjernvarme og solvarme, hvoraf de 11.000 kr skyldes et mere avanceret solvarmeanlæg, som også har en lidt højere ydelse, da solvarmen kan supplere rumvarme og der er større lagerbeholder. I forhold til en fjernvarmeinstallation uden solvarme er merprisen omkring 46.000 kr.

Ovenstående prisberegning skal betragtes som et overslag, idet en række forhold trækker op og ned, både i det aktuelle projekt og ved fremtidige projekter. Der er bl.a.:

- Der blev i det aktuelle projekt opnået rabatter, som primært skyldes at det var et demonstrationsprojekt. Ved fremtidige projekter kan der forventes rabatter ved samtidig anlæg af en række huse.
- Der er ikke medregnet omkostninger til installation af solvarmeanlæg. Der forventes ikke forskel i omkostninger mellem de to typer solvarme, mens omkostningen ikke er med i anlæg uden solvarme. Merprisen for installation af solvarmeanlæg i nyt hus, udover installation af fjernvarme, anslås til 6000 kr.
- Der er fællesomkostninger til installation af samlet styring af puls, pulsventil i fremløb til området og fjernalæsning af målere. Hvor meget disse omkostninger påvirker omkostningen pr. hus afhænger af områdets størrelse samt valg af tekniske løsninger. Ofte vil nyt byggeri

blive forsynet med fjernaflæsning, hvilket i princippet kan kombineres med styring af pulsventil uden væsentlige ekstraomkostninger. Et færdigt system til dette eksisterer dog ikke, såvidt vi er bekendt.

- Det aktuelle projekt blev støttet af Dansk Fjernvarmes F&U konto, som bl.a. betalte arbejds løn til samling af pulsmoduler. Et sådant tilskud kan ikke forventes ved fremtidige anlæg.

6. Elforbrug

Der er et elforbrug til pumper, pulsventil, solvarmestyring samt elpatron i varmelagertank.

Elforbrug til pumper sørger for cirkulation af vand udenfor puls samt for blandesløjfe til gulvvarme. Disse pumper har en effekt omkring 5 W, hvilket over varmesæsonen på 7 måneder giver et elforbrug på 23 kWh/år. Da alle husene er forsynet med gulvvarme som hovedvarmekilde til rumvarme, er pumpen nødvendig til gulvvarmen, og dens elforbrug medregnes derfor ikke til pulsvarmen eller solvarmen.

Visse huse har også elforbrug til pumpe til brugsvand, idet brugsvandet opvarmes i varmeveksler, der opvarmes med varmelagertanken. Denne pumpe kører kun når der tappes varmt vand, ca. 15 min/dag eller knapt 100 timer/år og elforbruget vurderes derfor til at være under 5 kWh/år.

Pulsventilen har en effekt på 2 W, hvilket med en samlet forsyningsperiode, pulsperioder + permanent varme, på 3800 timer giver et elforbrug på 7,6 kWh/år.

Solvarmestyring og solvarmepumpe forventes samlet at bruge 65 kWh/år. Dette gælder både anlæg med pulsvarme og simple solvarmeanlæg.

Elpatronen skal supplere solvarmen om sommeren på dage, hvor der ikke er pulsvarme. Den styres af husejerne og kunne derfor også bruges til back-up. For at få et overblik over forbruget af el til elpatroner blev der i fire huse i forbindelse med projektet opsat bimålere til måling af dette elforbrug. Resultaterne ses i tabel 5.

Periode		Hus1	Hus2	Hus3	Hus4
1/10 - 30/4	Fyringssæson '13-'14	10,4	115,7	22,3	599,2
1-30/5	Forsommer, '14	0,5	Incl. i fyringss.	Måling mangler	0,0
1/6 - 31/8	Sommer, '14	0,0	18,4	Måling mangler	202,4
1-30/9	Eftersommer, '14	0,5	5,1	Måling mangler	243,6
1-31/10	Fyringsæson, 1 mdr. '14	13,1	16,9	Måling mangler	51,6
1/10 - 30/9	Varmeår '13-14	11,4	139,2	34	1045,2

Tabel 5 Elforbrug til varme via elpatron i 4 huse. Husangivelser svarer ikke til dem, der er anvendt i figur 5. P.g.a. problemer med fjernaflæsning mangler nogle målinger for Hus 2 og 3.

Som det ses af tabel 5 er der meget stor forskel på back-up forbrug for de 4 huse. Hus 1 har større varmelagertank end de øvrige, hvilket giver sig udslag i lavt back-up forbrug. Hus 4 havde defekt solvarmanlæg i det meste af perioden, og er iøvrigt det eneste huse med brugsvandscirkulation.

Mens elforbruget til back-up er beskedent i forhold til varmekonsum for de fleste huse, viser eksemplet med Hus4, at et defekt solvarmeanlæg kan give et uforholdsmæssigt stort back-up forbrug.

Ud fra ovenstående antager vi at elforbruget til back-up er omkring 100 kWh/år, hvoraf 1/3, 35 kWh/år i sommerperioden. Udfra dette er det samlede varmeforbrug til varmeinstallation med og uden pulsvarme og solvarme angivet i tabel 6

Elforbrug, kWh/år	Pulsvarmeunit og solvarmanlæg	Almindelig fjernvarmetilslutning med gulvvarme + solvarme	Almindelig fjernvarmetilslutning med gulvvarme, uden solvarme
Cirkulationspumpe	23	23	23
Pulsventil	8	0	0
Solvarmeanlæg	65	65	0
El back-up varme	100	35*	0
Ialt	196	123	23

Tabel 6 Elforbrug for varmeinstallationer med og uden pulsvarme og solvarme.

* Elforbruget til back-up er under forudsætning af at der lykkes for fjernvarme i sommerperioden, som der sker i Andelssamfundet i Hjortshøj

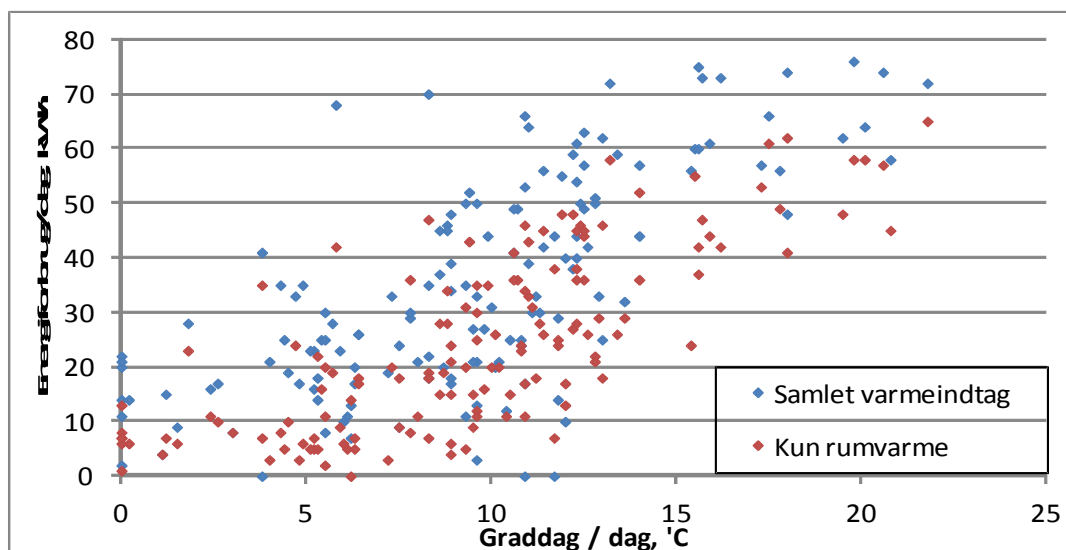
Elforbruget til back-up med pulsvarme er baseret på de realiserede forbrug. Ved en optimering af pulsen bør der ikke være back-up varme af betydning i varmesæsonen og el back-up kan så reduceres til sommerperioden.

7. Varmeforbrug i huse

Husene er alle opført som lavenergihuse, som lavenergiklasse 1 eller 2 efter byggereglement BR06, eller som passivhuse. Vi har i projektet målt varmeforbrug time for time og har derfor mulighed for at sammenligne forventet forbrug med realiseret forbrug for 17 af husene, hvor der har været målinger over tilstrækkelig lange perioder. Vi har opgjort husenes varme forbrug time for time og sammenlignet med solkorrigerede graddage fra Teknologisk Institut.

Vi har valgt at sammenligne med det solkorrigerede forbrug idet alle husene har både aktiv og passiv solvarme. Da det solkorrigerede graddagetallet kun opgøres samlet for hele landet, baseret på målinger i Tåstrup, indfører det en mindre, ekstra usikkerhed i sammenligningen. En anden usikkerhed kommer ved at husene har ret store termiske masser samt varmelagertanke, hvilket betyder at husenes forbrug en dag kan påvirke det målte varmeforbrug dagen før og dagen efter. Begge disse usikkerheder kan give nogen afvigelse på sammenligning for en enkelt dag; men giver mindre usikkerhed på gennemsnittet, både mht. lokale vejrforskelle og mht. overførsel af målt forbrug fra en dag til en anden.

For to af husene har vi både målt varmeforbrug fra det fælles net og rumvarmeforbrug. Sammenligning af målte dagsforbrug og graddage for varmesæsonen 2013-14 ses i figur 8 for et af disse huse.



Figur 8 Varmeforbrug for udvalgt hus sammenlignet med solkorrigerede graddage for varmesæson 2013-14, excl. dage, hvor målinger mangler eller er upålidelige.

Som de ses af figur 8 er der en rimelig sammenhæng mellem graddage og varmeforbrug, men også nogen afvigelse, specielt for sammenligning mellem graddagetallet og husets samlede varmeindtag fra fælles varmeforsyning.

Med lineær regression har vi fundet husenes varmeprofil, dvs. sammenhængen mellem solkorrigerede graddage og varmeforbrug. For huset i figur 8 er sammenhængen mellem forbrug og graddagetallet (GD):

Samlet varmeindtag pr. dag = $2,94 \cdot GD + 7,0$, standardafvigelse 25%

Rumvarmeforbrug pr. dag = $2,65 \cdot GD - 0,6$, standardafvigelse 19%

Det samlede varmeforbrug kan så beregnes ved at gange første faktor med det samlede solkorrigerede graddagetallet for et normalår, 2545 graddage, og den anden faktor med antal dage i varmeåret, hvilket er 200. Hertil lægges forventet elvarmetilskud i varmesæsonen, som for de huse, hvor det ikke er målt direkte, sættes til 66 kWh.

Dette varmeforbrug kan så sammenlignes med det forventede forbrug i et normalår beregnet ud fra husenes størrelse og lavenergiklasse. Det benyttes følgende rumvarmeforbrug for de tre lavenergiklasser:

- passivhuse, årsforbrug 15 kWh/m²
- klasse 1 huse, årsforbrug 30 kWh/m²
- klasse 2 huse, årsforbrug 45 kWh/m²

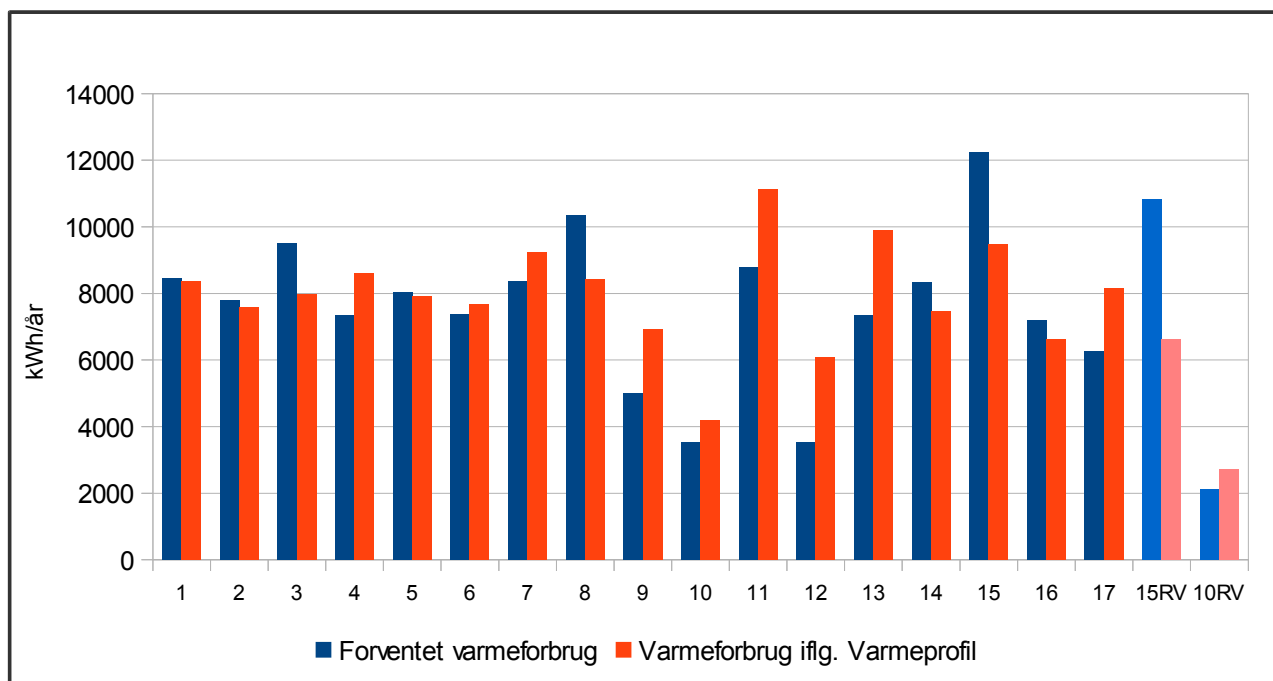
Til dette forbrug skal lægges forventet varmeforbrug til varmt vand i varmesæsonen, udover solvarmeproduktionen. Det er udover solvarmeanlæggenes produktion estimeret til 500 kWh/år for huse med en beboer, 1000 kWh/år for huse med 2 beboere, 1400 kWh/år for personer med 3-4 beboere og 1700 kWh/år for huse med 5 beboere.

Det giver forventede forbrug og forbrug beregnet med husenes varmeprofiler som angivet i tabel 7

Areal, m2	Klasse	Beregnet rumvarme, kWh/år	Personer	Beregnet Varmeforbrug, kWh/år	Varmeforbrug iflg. Varmeprofil	Standardafvigelse for varmeprofil
157	2	7065	4	8465	8368	16%
142	2	6390	4	7790	7583	13%
180	2	8100	4	9500	7985	14%
198	1	5940	4	7340	8611	16%
156	2	7020	2	8020	7905	14%
133	2	5985	3	7385	7675	12%
155	2	6975	3	8375	9245	15%
192	2	8640	5	10340	8443	16%
100	2	4500	1	5000	6926	12%
141	Passiv	2115	4	3515	4201	9%
164	2	7380	4	8780	11120	16%
141	Passiv	2115	4	3515	6076	11%
141	2	6345	2	7345	9894	20%
154	0	6930	4	8330	7457	17%
241	2	10845	4	12245	9489	25%
129	1	5805	4	7205	6616	12%
108	2	4860	3	6260	8156	26%
241	2	10845	kun rumvarme		6616	19%
141	Passiv	2115	kun rumvarme		2733	6%

Tabel 7. Varmeforbrug for normalår, dels forventet ved design af huse og dels beregnet via opmålt varmeprofil for 2013-2014, tillagt forventet elforbrug. Der regnes med forbrug i normalår, . De to nederste rækker angiver målt rumvarmeforbrug for to af husene. Sidste kolonne angiver standardafvigelsen for bestemmelsen af varmeprofil ud fra daglige målinger og daglige, solkorrigerede graddaetal.

Forholdet mellem forventet og realiseret varmekforbrug ifølge tabel 7 er illustreret i figur 9.

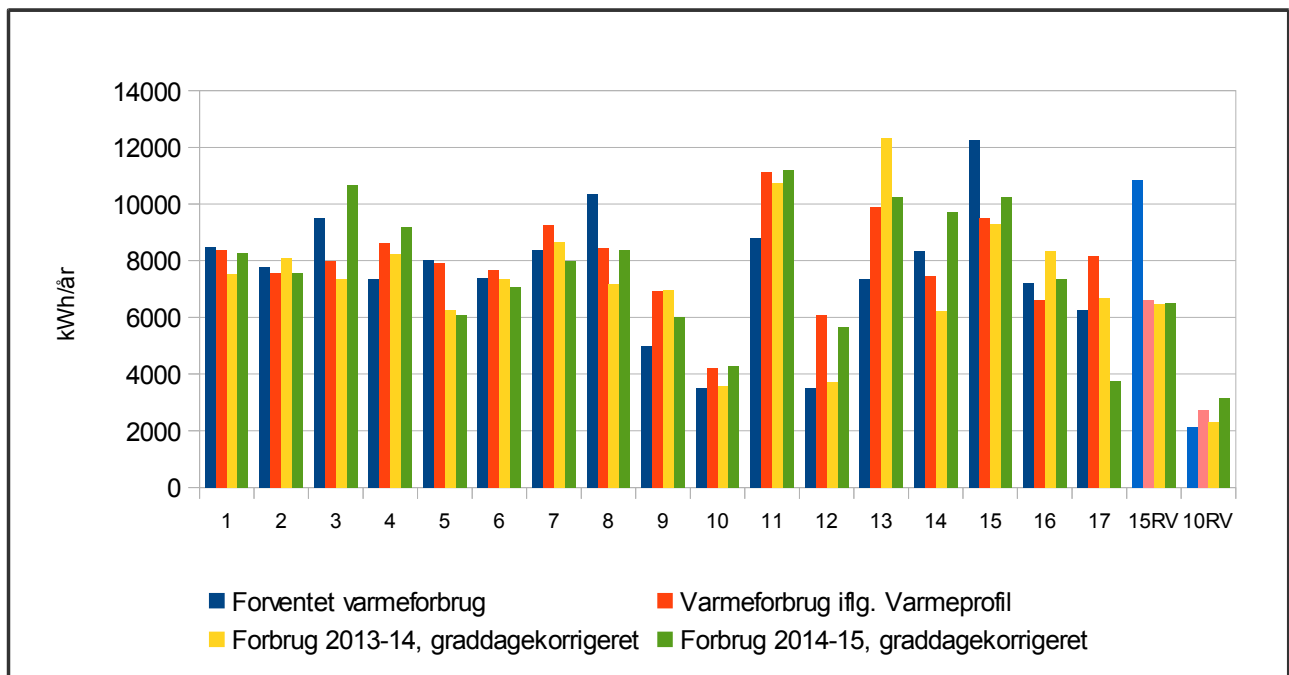


Figur 9. Forventet varmeforbrug og varmeforbrug ifølge varmeprofil, begge dele for normalår, for de 17 huse og for to af husenes rumvarmeforbrug. De angivne nummerangivelser for husene svarer ikke til de ovenfor anvendte.

En simplere sammenligning meller forventet og realiseret forbrug er at tage udgangspunkt i det målte årsforbrug og justere det antagne rumvarmeforbrug i forhold til graddagetallet for at få et forbrug i et normalår.

Dette er gjort for varmesæsonen 2013-14 og 2014-15 for de 17 huse.

Det giver forbrugsopgørelser som angivet i figur 10, hvor også forventet og varmeprofil-baserede varmeforbrug er medtaget.

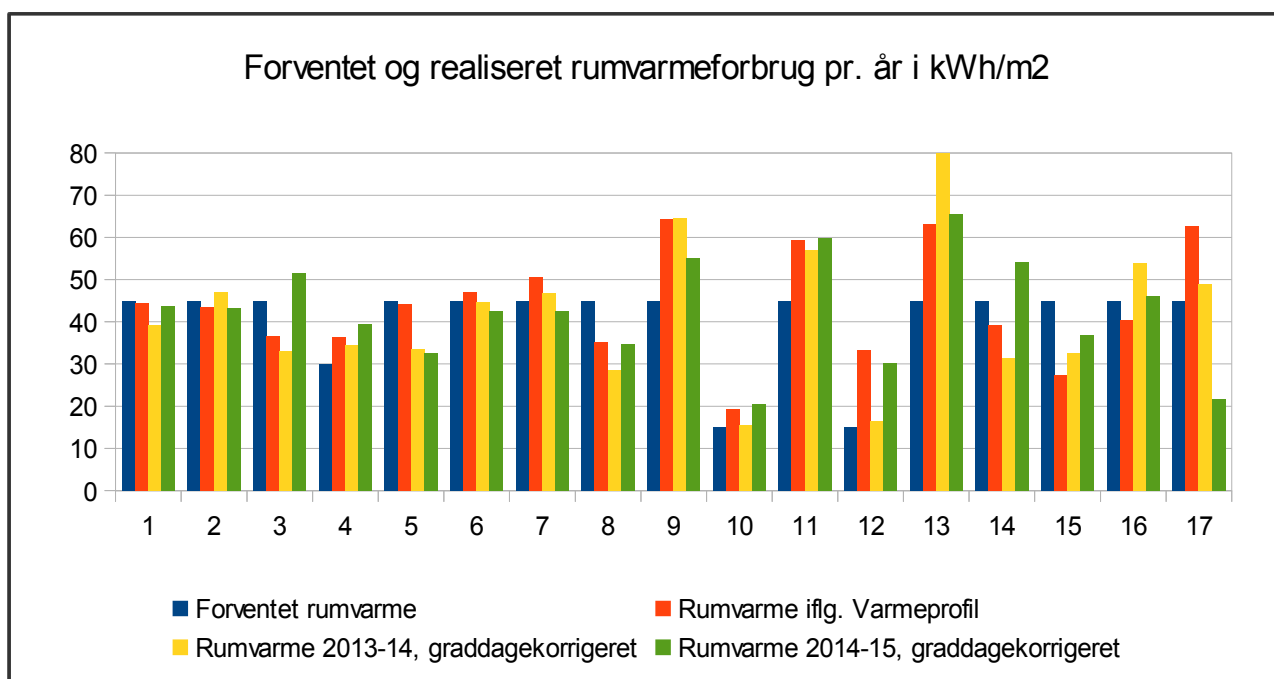


Figur 10. Forventet samlet varmekonsum sammenlignet med forbrug opgjort med varmeprofiler og med årsforbrug for 2013-14 og 2014-15, graddagekorrigeret. For begge år benyttes sommerperioden for 2014, da der endnu ikke er måledata for sommeren 2015.

Som det ses af figur 9 og 10 er der både huse med højere og med lavere varmekonsum end forventet. Det ses også at der er en del forskel på de forskellige opgørelser af forbrug. Resultatet er at for fire af husene er det forventede forbrug højere end opgørelserne mens det for fem af husene er mindre. For de resterende ni huse er det forventede forbrug indenfor variationen af opgørelserne.

For gennemsnittet af de 17 huse svinger de tre forbrugsopgørelser fra 5% over til 1% under det forventede forbrug.

Hvis man sammenligner rumvarmekonsumet pr. m² fås en lidt mere illustrativ sammenligning, som det ses på figur 11.



Figur 11 Forventet rumvarmeforbrug sammenlignet med forbrug opgjort med varmeprofiler og med årsforbrug for 2013-14 og 2014-15, graddagekorrigeret. Begge år benytter sommerperioden for 2014, da der endnu ikke er måledata for sommeren 2015. For hus 10 og 15 er anvendt målte rumvarmeforbrug mens der for de øvrige huse er anvendt målte samlede varmeforbrug justeret med overslag over varmtvandsforbrug og elvarmeforbrug som til tabel 7.

Ved vurdering af de enkelte huse, vil der altid være nogen forskel ved sammenligning af forventede og realiserede varmeforbrug, bl.a. p.g.a. beboervaner. Det er dog interessant at se på hvor mange af husene, forbruget afviger væsentligt fra det forventede. 8 af husene, dvs. ca. halvdelen har forbrug, der afviger 10% eller mindre fra det forventede (opgjort som gennemsnit af vurdering med varmeprofil og vurdering med årsforbrug). Fire huse har forbrug, der er under 90% af det forventede og seks huse har over 110% af det forventede. Der største afvigelse er hhv. 40% under forventet forbrug og 53% over. For huset med det relativt lave forbrug (nr. 15) er der tale om et stort hus, hvoraf en del af det opvarmede areal er kælder, hvor ikke alle rum holdes på stuetemperatur hele tiden. For huset med det relativt store forbrug (nr. 12) er der tale om et passiv-hus, der bruger mere end forventet, men dog mindre end lavenergihusene

Samlet viser opgørelsen at der er rimelig god overensstemmelse mellem forventede og realiserede forbrug, med en væsentlig variation mellem de enkelte huse, hvilket man kan forvente p.g.a. forskel i brugeradfærd. Der er også en svag tendens til et højere forbrug end forventet, men det er dog indenfor den forventede variation.

På to af husene blev monteret målere på rumvarme, varmtvandsforbrug, solvarmeproduktion og eltilskud. Hermed skulle det være muligt at vurdere forbruget i detaljer, samt vurdere betydning af solvarmeanlæggenes produktion. Eltilskud og rumvarmeforbrug er nævnt ovenfor. Desværre skete der en fejl ved montage af den ene solvarmemåler, så solvarmeanlægget tabte væske og derfor ikke producerede solvarme som forventet. Der var også fejl på varmtvandsmålerne, og da det blev konstateret for den ene måler blev den skiftet. Resultaterne af målingerne ses nedenfor i tabel 8 opgjort for varmesæson 2013-14 og for sommerperioden 2014.

	Hus 1					Hus 2				
Målte forbrug, kWh	1/10-31/12-13	1/1-30/4 14	1/5-30/9 14	1/10-31/12-14	1/1 - 1/5-15	1/10-31/12-13	1/1-30/4 14	1/5-30/9 14	1/10-31/12-14	1/1 - 1/5-15
Fjernvarme	2618	4292	312	3032	4804	1023	1888	55	1369	2127
Rumvarme	1867	2753	226	1794	2964	422	1204	105	772	1541
Solvarme	1	3	53	43	164	161	498	2204	356	177
Varmt vand	45	0	0	0	0	25	0	0	110	0
Elforbrug	300	299	446			11	11	12		

Tabel 8. Målte varmestrømme for de to huse med udvidet måleprogram, bemærk fejl på varmtvandsmålerne, der viser alt for lave forbrug.

Som det ses af tabel 9 var der fejl på begge varmtvandsmålere, også efter den ene var skiftet. Varmtvandsforbruget blev efterfølgende for Hus2 opgjort til 39 m³.

Målingerne for det udvidede måleprogram kan bruges til at vise forbrug for de to huse opdelt i hhv. leveret rumvarme og varmt vand + systemtab. Resultaterne ses i tabel 9.

	Hus 1			Hus 2		
kWh forbrug	Varme sæson 2013-14	Sommer 2014	Varme sæson 2014-15	Varme sæson 2013-14	Sommer 2014	Varme sæson 2014-15
Rumvarme	4620	226	4761	1626	105	2313
Varmt vand + systemtab	2893	585	3075	1966	2166	1716
Ialt	7513	811	7836	3592	2271	4029*

Tabel 9 Forbrug opdelt i rumvarmeforbrug og varmtvandsforbrug + systemtab. Husnumre svarer ikke til de ovenfor anvendte.

* Elforbrug skønnet til 22 kWh som 2013-14

Som det ses af tabel 9 udgør rumvarmeforbruget en væsentlig mindre andel af det samlede varmeforbrug i lavenergihuse end det gør i traditionelle huse. For Hus2, der er et passivhus, er rumvarmeforbruget 30 hhv. 40% af det samlede varmeforbrug i de to aktuelle år. For Hus1 var rumvarmeforbruget omkring 58% begge år. Både 2013-14 og 2014-15 var lune vintre. Rumvarmeforbrugets andel er større i et normalår.

En del af systemtabet bidrager indirekte til rumvarmen, idet installationer incl. varmetanke er indendørs i opvarmede rum.

Selvom det ikke lykkedes at måle varmtvandsforbrug i kWh, har vi en manuel måling af varmtvandsforbruget for Hus2, som er 39 m³ for året 1/10-2013 til 1/10-2014. Hvis det antages at det varme vand opvarmes 45°C, er varmeforbruget til varmt vand 2036 kWh. Med en yderligere antagelse om jævn fordeling af forbruget pr. måned, kan varmeforbruget for varmt vand opdeles i et sommerforbrug på 848 kWh og et vinterforbrug på 1188 kWh. Med denne antagelse bliver systemtabet 1318 kWh (58%) i sommerperioden og 778 kWh (22%) i vinterperioden.

Da varmeanlægget er placeret midt i huset og huset er udstyret med et ventilationsanlæg med varmeveksler med høj virkningsgrad må det formodes at det meste af systemtabet i vinterperioden fordeles i huset og bidrager til rumvarmen. Når dette tab medregnes til rumvarmen kan det samlede rumvarmeforbrug skønnes til 43% af det samlede varmeforbrug for 2013-14. For 2014-15 med lidt højere rumvarmeforbrug bliver rumvarmeforbruget omkring 50% for varmeåret 2014-15.

Det store tab i sommerperioden, hvor solvarme leverer over 90% af varmen, kan forklares med at der i perioder er større produktion af solvarme end der er brug for til varmt vand. Tabet om sommeren er derfor ikke et tab i indkøbt energi, men et tab af egenproduceret solvarme. Dette kan kun reduceres ved et mindre solvarmeanlæg, men det ville give en mindre dækningsgrad for solvarmen.

Systemtabet om sommeren kan derfor opdeles i et "almindeligt systemtab", der kan estimeres til 5/7 af systemtabet vinter (5/7 af 778 kWh = 556 kWh), og uforbrugt solvarmeproduktion. Den kan så beregnes til 1318-556 kWh = 762 kWh for 2014-15. I praksis bliver solvarmeoverskuddet tabt ved at der er høje temperaturer i varmetanken og dermed store varmetab og unødvendig opvarmning af varmerummet. 762 kWh varmetab svarer til en varmestrøm på i gennemsnit 264 Watt i de 5 varme måneder i 2014. En opvarmning på 265 Watt i husets varmerum, der er en del af det samlede hus, vil ikke give anledning til en ubehagelig opvarmning af huset.

Hvis man ikke medregner systemtabet i sommerperioden, idet det dækkes af solvarme, og medregner systemtab vinter til rumvarmen, stiger rumvarmeforbrugets andel af det samlede forbrug til 55% i det aktuelle tilfælde med et passivhus.

8 Økonomi

Baseret på ovenstående kan driftsudgifter vurderes for de aktuelle huse med pulsvarme, huse med solvarme uden pulsvarme og huse, der kun har fjernvarme.

Elforbrug er angivet i tabel 6. Den ekstra vedligeholdelse, udover normal fjernvarme, består af et årligt eftersyn af solvarmeanlæg (som ejeren selv kan udføre) og almindelig vedligeholdelse, samt efter nogle år evt. afkalkning af varmtvandsbeholder. Der regnes her med en udgift på 100 kr./år til solfangervæske og diverse, idet den øvrige vedligeholdelse modsvarer vedligeholdelse på andre anlæg. Det giver følgende driftsomkostninger, med en elpris på 2 kr/kWh.

Driftsomkostninger, kr/år	Pulsvarmeunit og solvarmanlæg	Almindelig fjernvarmetilslutning med gulvvarme + solvarme	Almindelig fjernvarmetilslutning med gulvvarme, uden solvarme
Elforbrug	196 kWh = 392 kr	123 kWh = 246 kr	23 kWh = 46 kr
Ekstra vedligeholdelse	100 kr	100 kr	0

Ialt	492 kr	346 kr	46 kr
------	--------	--------	-------

Tabel 10 Driftsomkostninger pr. hus.

Varmeforbruget for et gennemsnitshus er 7985 kWh (gennemsnit af de 17 huse i tabel 7) samt solvarmeproduktion, der for et hus er målt til 2863 kWh. Da en del solvarmeproduktionen ser ud til at blive spildt, fraregnes dette (uforbrugt overproduktion) på 762 kWh⁴ Hertil kommer rørtab på 19% med pulsvarme, 39% uden pulsvarme og solvarme, samt 27% for huse med solvarme, som kan stoppe fjernvarme 4 måneder pr. år; men uden pulsvarme. Varmeforbrug incl. rørtab fremgår af tabel 11.

Varmeforbrug pr. år, kWh	Pulsvarmeunit og solvarmanlæg	Almindelig fjernvarmetilslutning med gulvvarme + solvarme	Almindelig fjernvarmetilslutning med gulvvarme, uden solvarme
Forbrug i hus	7985	7985	10083
Rørtab	1528	2104	3056
Ialt	9513	10089	13139

Tabel 11 Gennemsnitlige varmeforbrug for de 17 huse med pulsvarme, samt tilsvarende huse uden pulsvarme, med og uden solvarme.

Varmeprisen er aktuelt 0,79 kr/kWh + moms. Heraf er 60% variable omkostninger. Hvis rørtab betales af forbrugerne skal rørtab medregnes med en pris på 0,79 kr/kWh. Hvis rørtabet betales af varmeselskabet skal det medregnes med en pris på 60% af 0,79 kr/kWh = 0,474 kr/kWh. Samlede variable omkostninger er opgjort i tabel 12 for de to tilfælde.

Variable omkostninger, kr excl. moms	Pulsvarmeunit og solvarmanlæg	Almindelig fjernvarmetilslutning med gulvvarme + solvarme	Almindelig fjernvarmetilslutning med gulvvarme, uden solvarme
Driftsomkostninger	492	346	46
Varmeomkostninger 1	7515	7970	10380
Varmeomkostninger 2	7032	7305	9414
Drift og varme 1	8007	8316	10426
Drift og varme 2	7524	7651	9460

Tabel 12. Variable omkostninger excl. moms for et gennemsnitshus. Ved "Varmeomkostninger 1" og "Drift og varme 1" medregnes rørtab til forbrugstarif, mens ved "Varmeomkostninger 2" og "Drift og varme 2" afregnes rørtab til fjernvarmeselskabets variable omkostninger.

Som det ses af tabel 12 er der en mindre driftsbesparelse ved pulsvarmen. Denne skal sammenholdes med den større investering, der er angivet i tabel 4.

De samlede omkostninger pr. år er opgjort i tabel 13 med renter på hhv. 4% og 2,5% og med 30 års belåning af investeringer, afdraget med lige store årlige andele (annuitetslån). 4% rente er den af Finansministeriet angivne rente for samfundsøkonomiske beregninger for varmeinvesteringer mens

⁴ Der regnes med at tabet sommer uden solvarme ville være det samme som vinterforbrug pr måned, hvilket er $5/7 \cdot 778 \text{ kWh} = 556 \text{ kWh}$. Resten af tabet, $1318 - 556 \text{ kWh} = 762 \text{ kWh}$, regnes så som uforbrugt solvarmeproduktion.

2,5% rente er den rente, som private bygherrer kan opnå ved lån med lang løbetid.

Økonomi pr. hus, kr excl. moms	Pulsvarmeunit og solvarmanlæg	Almindelig fjernvarmetilslutning med gulvvarme + solvarme	Almindelig fjernvarmetilslutning med gulvvarme, uden solvarme
Investering	60873	39713	14053
Årlig ydelse, 4% rente	3520	2297	813
Årlig ydelse, 2,5% rente	2908	1897	671
Drift og varme 1 (variable omk.)	8007	8316	10426
Drift og varme 2 (variable omk.)	7524	7651	9460
Totaler			
4% rente, D&V1	11528	10613	11239
4% rente, D&V2	11045	9948	10273
2,5% rente, D&V1	10916	10214	11097
2,5% rente, D&V2	10433	9549	10132

Tabel 13 Samlet økonomi i kr excl. moms for 4% og 2,5% rente, både med nettab afregnet til forbrugertarif (D&V1) og til varmeselskabets variable omkostninger (D&V2)

Som det ses af Tabel 13 er huse med solvarmeanlæg uden pulsvarme den billigste løsning i alle tilfælde mens pulsvarmen er billigere end normal fjernvarme, hvis der regnes med 2,5% rente og nettab afregnes til forbrugertarif. Dette er netop den situation, der er tilfældet i det aktuelle projekt, hvor bogruppe 7 og 8 betaler for nettab i eget net.

Der er en række usikkerheder i beregningerne, bl.a.:

- Overproduktion af solvarme er skønnet og kun baseret på et anlæg p.g.a. måleproblemer
- Solvarmeproduktion er kun baseret på måling for et anlæg.
- Investeringer omfatter ikke installationsomkostninger

Nogle forhold er mere positive for pulsvarmen i det aktuelle projekt, og muligvis for andre, lignende projekter end angivet i tabel 13:

- Der er opnået rabatter ved fællesindkøb af solvarmeanlæg og flere pulsvarmekomponenter, i beregningerne til tabel 13 er alt regnet til listepriser, hvor det er muligt.
- Der er opnået tilskud fra Dansk Fjernvarme.
- Det er muligt at opnå billigere rente, hvis man accepterer variabel rente
- Udover den opgjorte besparelser har varmeselskabet sparet varmetab i hovedrøret til BG7-8, idet disse to grupper ligger lidt adskilt fra resten af bebyggelsen.

Nogle forhold er mere negative for pulsvarmen end angivet i tabel 13:

- En del husejere har haft større omkostninger til installationer da den mere komplekse varmeinstallation er uvant for VVS-firmaer, der udfører husinstallationer. Dette var specielt et problem for huse uden pulsmodul.
- Der regnes med at husejere selv udfører service på solvarmeanlæg. Hvis husejerne ikke selv kan gøre det, kommer der en ekstraomkostning til et servicering af solvarmeanlæggene.

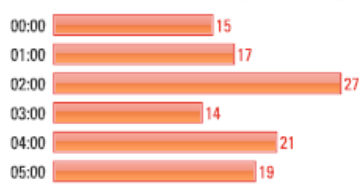
- Det er muligt at der kommer ekstraordinære vedligeholdelsesomkostninger gennem anlæggenes projekterede levetid på 30 år.

9. Forbrugertilgængelighed af måledata

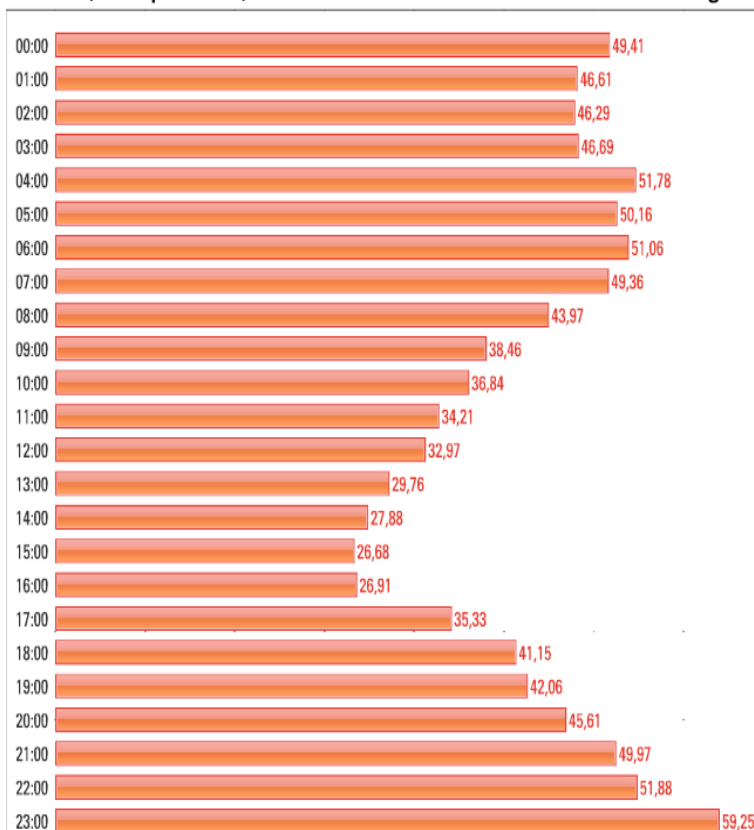
Energiselskabet har udbygget fjernaflæsningssystemet med en tilkobling til en web-portal, "eButler", som giver forbrugerne mulighed for at se deres forbrug time for time og dermed se evt. varmespild og optimere deres varmeforbrug. Samtidig har eButler en bedre brugerinterface end Energiselskabets egen dataopsamling, og den bruges derfor også ved indstilling af pulsperioder.

Udskrifter fra eButler er angivet i figur 12 for en udvalgt dag, 28/3 2014 for bogruppe 8s hovedmåler, hvor der var puls kl 17-06. Der er i figur 8 udskrifter for varmeforbrug i kW og returtemperaturer. Udover dette er der også data vandflow og fremløbstemperatur for hver måler.

Varme, energiforbrug · 28/03/2014 · 037 Hovedmåler bg 8



Varme, temperatur, retur · 28/03/2014 · 037 Hovedmåler bg 8



Figur 12 Udskrifter fra eButler for varmeforbrug og returtemperaturer for bogruppe 8 på en udvalgt dag, 28/3-2014, i en periode, hvor der var puls kl. 17-06, og hvor der var en høj returtemperatur i en del af pulsen.

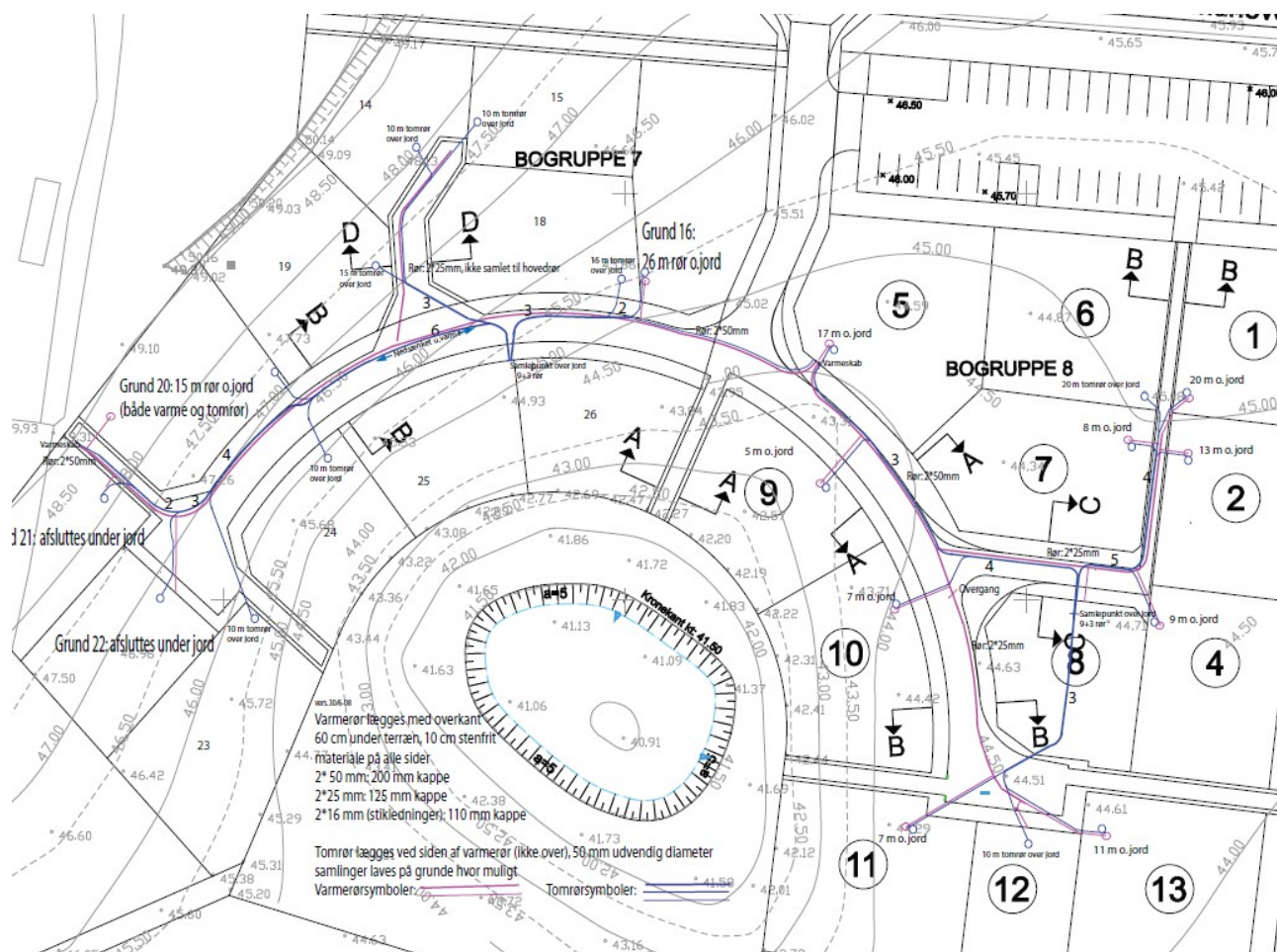
Bilag 1, Placering af ledninger og tomrør til styre-og målesystem

Planlagte rørføringer.

Varmeledninger er lilla, tomrør er blå

Hovedpulsventil er placeret i skabe ved fremløb til byggeriet t.v. på tegningen. Omløb er placeret ved indgangene til de to bogrupper (t.v. på tegningen og midt i tegningen ved grund 5, samt i det yderste hus, grund 13.

Styring foregår fra to styreskabe, ét i hver bogruppe med programmerbare styreenheder.



Bilag 2 : Målte varmekonsum og rørtab

Varmeforbrug og rørtab er opdelt i perioder med samme pulslængde for de to bogrupper, forbrug i kWh. For boggruppe 7 er det kun i dele af 2013 og 2015 muligt at benytte målingerne til at beregne rørtab, da der har været målerfejl i flere huse.

Boggruppe 7

2013	Fællesmåler	Huse i alt	Rørtab	Dage	Tab/dag	Tab i %	Pulstimer/dag
2/1 - 5/1	2490	Målerfejl hus 140		4			22
6/1-11/1	4290	1402	267	6	45	6%	17
13/1-17/2	36900	12751	1584	36	44	4%	24
18/2-12/3	17760	6192	1341	23	58	8%	24
13/3-31/3	14320	4944	1044	19	55	7%	24
1/4-2/4	1020	336	119	2	59	12%	21
3/4-11/4	2600	891	366	9	41	14%	12
12/4-24/4	5020	Målerfejl hus 132		6			Varier.
25/4-9/5	2490	959	537	15	36	22%	8
9/5-20/5	2460	Målerfejl		12			Varier.
21/5-26/9	0	0	0	129			0
28/9-2/10	240	0	120	5	24	50%	4
3-13/10	1310	345	196	11	18	15%	5
17-20/10	1260	302	310	4	77	25%	22
20/10-31/12	-	Målerfejl, hus 122, 128, 120		-			Varier.

2014	Fællesmåler	Huse i alt	Rørtab	Dage	Tab/dag	Tab i %	Pulstimer/dag
1/1 - 31/12		Målerfejl hus 120, 122, 142		365			Varier.

2015	Fællesmåler	Huse ialt	Rørtab	Dage	Tab/dag	Tab i %	Pulstimer/dag
2/1-21/3		Målerfejl, hus 122, 142		79			Varierende
22/3-25/3	2480	1112	203	4	51	8%	Varierende
26/3-2/4	4580	2327	426	8	53	9%	14
3/4-28/4	7140	3041	1578	26	61	22%	13
29/4-1/5	470	204	110	3	37	23%	4

For boggruppe 7 er tab beregnet som varmekonsum gennem fællesmåler fratrasket forbrug i huse og fratrasket forbrug af BG8, der er tilsluttet BG7. Reelt tab er beregnet relativt til fællesmåler.

Bogruppe 8

2012	Fællesmåler	Huse ialt	Rørtab	Dage	Tab/dag	Tab i %	Pulstimer/dag
1/10-10/11	8108	6761	1347	40	34	17%	ca.4
11/11-21/11	3665	3104	561	12	47	15%	4-10
22/11-1/12	3432	2996	436	11	40	13%	10
2/12-3/12	940	815	125	2	63	13%	10-24
4/12-18/12	9445	8183	1262	15	84	13%	24
19/12-1/1	7166	6253	913	13,5	68	13%	24

2013	Fællesmåler	Huse ialt	Rørtab	Dage	Tab/dag	Tab i %	Pulstimer/dag
2/1 - 5/1	1431	1208	223	4	56	16%	22
6/1-11/1	2621	2272	349	6	58	13%	16
13/1-17/2	22710	19744	2966	36	82	13%	24
18/2-12/3	10202	Målerfejl		23			24
13/3-31/3	8332	7064	1268	19	67	15%	24
1/4-2/4	565	463	102	2	51	18%	21
3/4-11/4	1343	1010	333	9	37	25%	12
12/4-17/4	1767	Målerfejl		6			varierende
18/4-24/4	925	631	294	7	42	32%	22
25/4-9/5	386	256	130	15	9	34%	8
9/5-20/5	764	Målerfejl		12			varierende
21/5-26/9	0	0	0	129			0
27/9-2/10	136	58	78	6	13	57%	4
3-13/10	769	518	251	11	23	33%	5
17-24/10	1516	1158	358	8	45	24%	22
25-28/10	807	Målerfejl		4			varierende
29/10-7/11	1955	1619	336	10	34	17%	7
8-12/11	1568	1355	213	5	43	14%	varierende
13-23/11	3601	3070	531	11	48	15%	9
24/10-11/12	7852	6647	1205	19	63	15%	15
12/12-15/12	1278	1107	171	4	43	13%	9
16-28/12	6127	5083	1044	13	80	17%	24

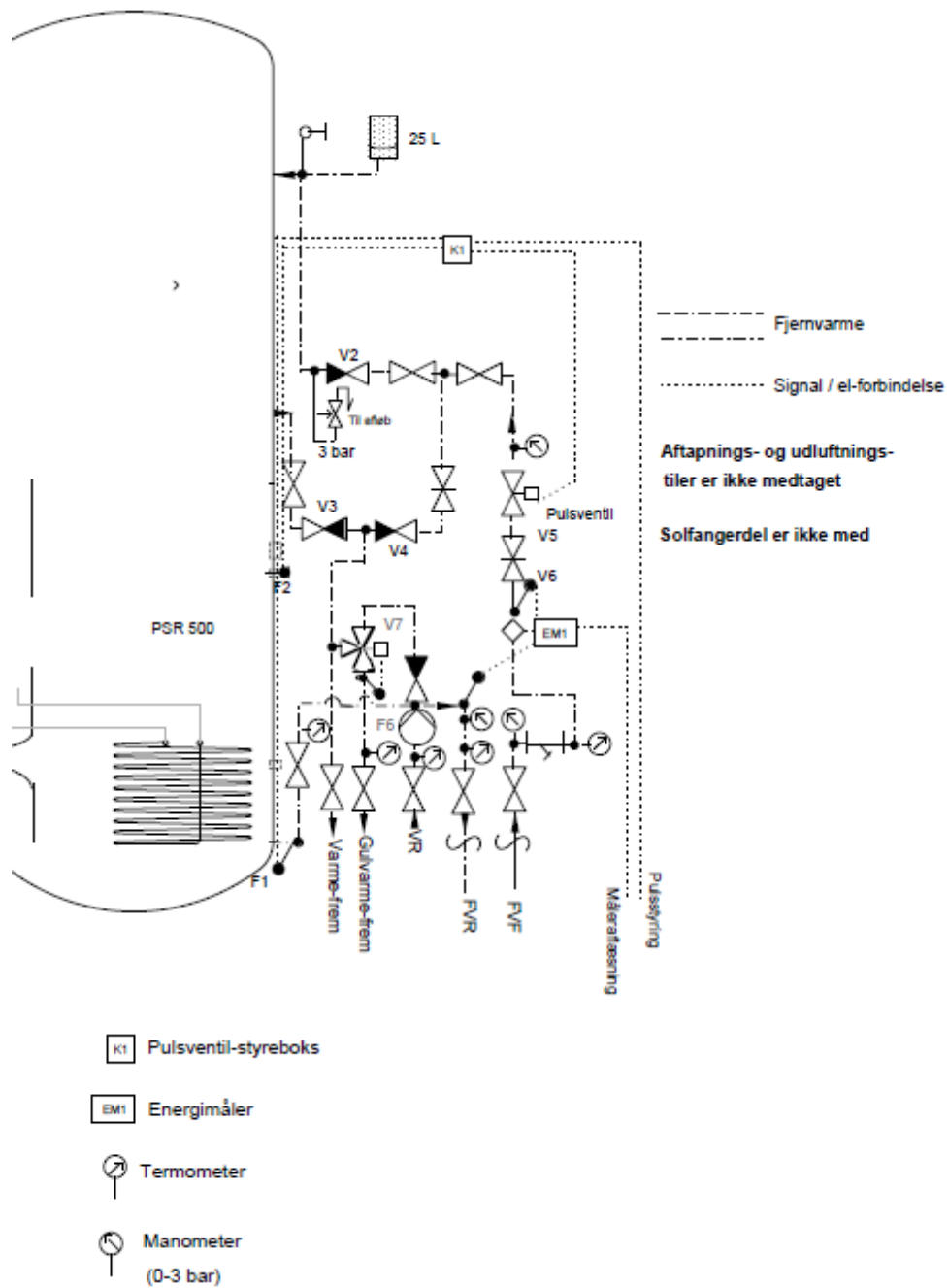
2014	Fællesmåler	Huse ialt	Rørtab	Dage	Tab/dag	Tab i %	Pulstimer/dag
2-19/1	7965	6889	1076	18	60	14%	14
20-24/1	2900	2552	348	5	70	12%	16
25/1-10/3	21884	18001	3843	45	85	18,00%	24

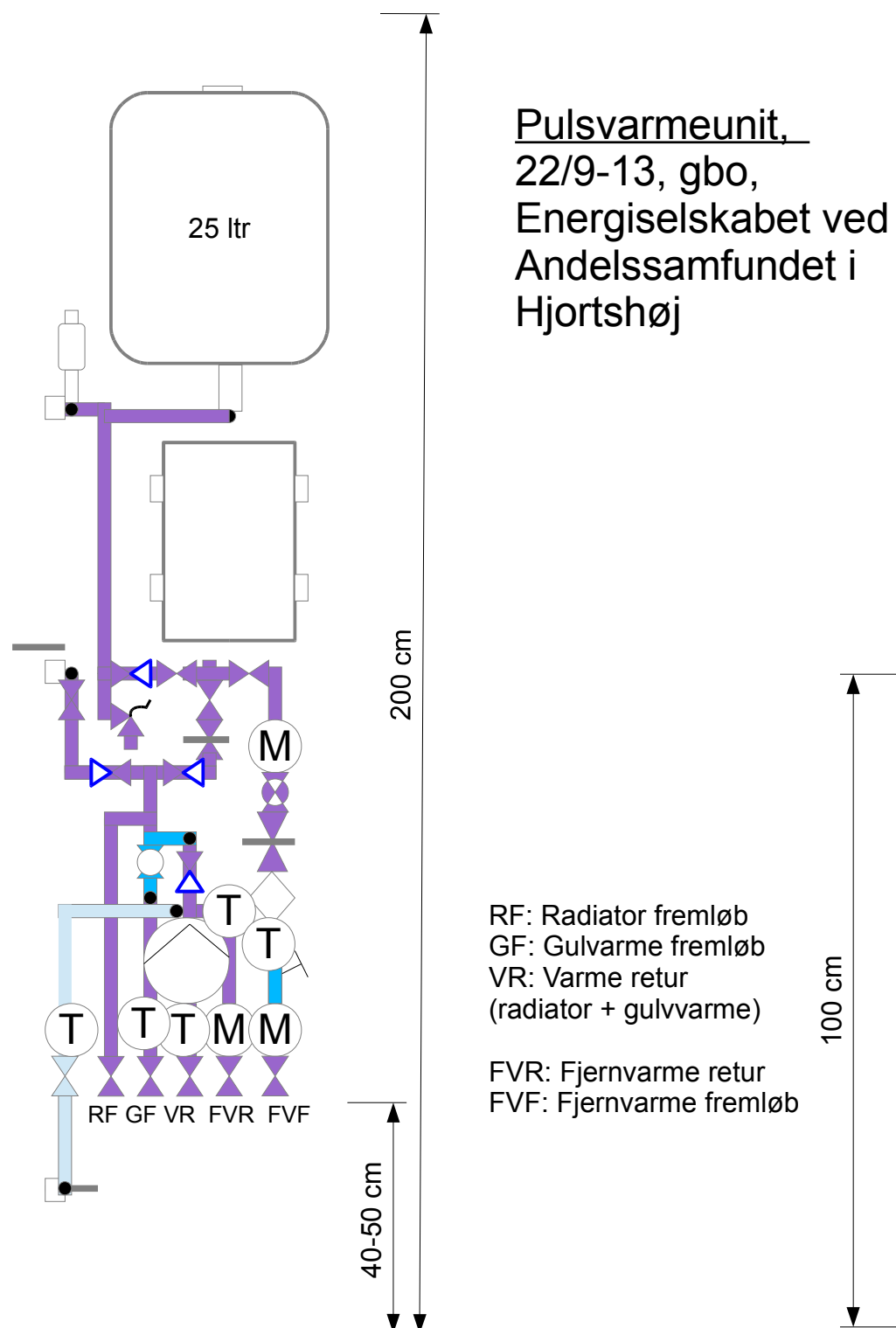
11-16/3	889	546	343	6	57	39%	17
17/3-13/4	6252	4806	1446	28	52	23%	14
14-20/4	796	539	257	7	37	32%	10
21/4-1/5	498	216	282	11	26	57%	6
2-9/5	487	294	193	8	24	40%	8

2014 - 2	Fællesmåler	Huse ialt	Rørtab	Dage	Tab/dag	Tab i %	Pulstimer/ dag
3-17/10	883	592	291	15	19	33%	6
18-26/10	1800	1432	368	9	19	20%	9
27/10-24/11	7849	6525	1324	29	41	17%	13
25/11-5/12	4128	3571	557	11	46	13%	15
5-30/12	13432	11380	2052	26	51	15%	23

2015	Bruttoforbrug	Huse ialt	Rørtab	Dage	Tab/dag	Tab i %	Pulstimer /dag
3/1-18/1	7655	6493	1162	16	73	15%	21
19/1-25/1	4243	3678	565	7	81	13%	24
26/1-12/2	9237	7881	1356	17	80	15%	23
13/2-22/2	5586	4797	789	10	79	14%	24
23/2-7/3	5857	4949	908	13	70	16%	20
8/3-13/3	1086	829	257	6	43	24%	9
14/3-25/3	2863	2319	544	12	45	19%	11
26/3-24/4	4638	3462	1176	30	39	25%	10
25/4-29/4	554	359	195	5	39	35%	12

Bilag 3, Diagram og skitse til pulsvarmemodul.





Tegning over pulsvarmemodul. Tank tilsluttes til højre ve de tre udgange.