

# Indholdsfortegnelse

<b>Forord .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Indledning (problemstilling) .....</b>	<b>4</b>
1.1 Rapportens opbygning .....	5
<b>2. Potentialet i almennyttig sektor.....</b>	<b>6</b>
2.1 Lejlighedernes energiforbrug.....	6
<b>3. Flowmodel (bestemmelse af dimensionerende flow).....</b>	<b>8</b>
3.1 Bestemmelse af dimensionerende flow.....	8
3.2 Testresultater for de fire ejendomme .....	9
3.3 Sammenligning med målinger: VIBO afdeling 121, Charlotteager Hedehusene.....	9
3.3.1 Centralvarmeanlæg .....	9
3.3.2 Dimensionerende flow .....	10
3.4 Sammenligning med målinger: AKB blok 5 Nyvej 37, Hedemarken, Albertslund .....	12
3.4.1 Centralvarmeanlæg .....	12
3.4.2 Dimensionerende flow .....	13
3.5 Sammenligning med målinger: KAB, Utterslevhuse, Husum .....	15
3.5.1 Centralvarmeanlæg .....	15
3.5.2 Dimensionerende flow .....	16
3.6 Sammenligning med målinger: KAB, Kildevænget, Gladsaxe .....	19
3.6.1 Centralvarmeanlæg .....	19
3.6.2 Dimensionerende flow .....	19
<b>4. Trykmodel (bestemmelse af dimensionerende tryk) .....</b>	<b>23</b>
4.1 Bestemmelse af dimensionerende differenstryk .....	24
4.2 Testresultater for de fire ejendomme .....	25
4.3 Tilgrundliggende målinger: VIBO afdeling 121, Charlotteager Hedehusene .....	25
4.4 Tilgrundliggende målinger: AKB blok 5 Nyvej 37, Hedemarken, Albertslund.....	27
4.5 Tilgrundliggende målinger: KAB, Utterslevhuse, Husum.....	29
4.6 Tilgrundliggende målinger: KAB, Kildevænget, Gladsaxe.....	31
4.7 Generelt vedr. pumpe og varmesystem.....	33
<b>5. Excel-værktøj (flowdiagram &amp; anvendelse).....</b>	<b>34</b>
5.1 Dimensionering af pumper trin 1 til 3.....	34
5.2 Spotmåling .....	36
5.3 Driftsjournal .....	37
5.4 Beregning ud fra årsforbrug.....	38
5.4.1 Anvendelse af spotmåling.....	38
5.4.2 Anvendelse af driftsjournal.....	40
5.5 Beregning ud fra målt tryk.....	42
5.5.1 Anvendelse af spotmåling.....	42
5.5.2 Anvendelse af driftsjournal.....	44
5.6 Energiberegner .....	46
5.7 Diagrammer .....	49

<b>6. Integration med pumpevalgsværktøjer HAAN/OTP .....</b>	<b>50</b>
6.1 Wilo - Select .....	51
6.2 Grundfos - Wincaps .....	54
6.3 Smedegaard – Online pumpevalgsprogram .....	58
<b>7. Eksempler på anvendelse .....</b>	<b>61</b>
7.1 Case VIBO .....	61
7.2 Case KAB Utterslevhuse .....	63
7.3 Case KAB Kildevænget .....	65
7.4 Case AKB Hedemarken .....	67
<b>8. Andre observationer .....</b>	<b>68</b>
8.1 Indledning .....	68
8.2 Måleresultater .....	68
8.3 Diskussion .....	71
8.4 Konklusion af eksperimentet .....	72
<b>Appendiks 1. Måleplatform .....</b>	<b>73</b>
<b>Appendiks 2. Udførte målinger .....</b>	<b>75</b>

## Forord

Denne rapport er den faglige rapportering/dokumentation til forskningsprojektet bevilget under PSO 2005 administreret af Dansk Energi Net:

### *337-080 – Værktøj for pumpevalg – overvågning og renovering (varmeinstallationer)*

Rapporten beskriver udviklingen af et excel-baseret pumpevalgsværktøj. Værktøjet kan rekvireres ved henvendelse til Claus Martin Hvenegaard, Teknologisk Institut. Værktøjet henvender sig til boligselskaber og behandler valget af pumpen til varmeinstallationer i etageejendomme.

Udviklingen af værktøjet er sket i tæt samarbejde med pumpebranchen repræsenteret ved:

WILO – Jesper Thomsen  
Grundfos – Mogens Sørensen  
Smedegaard – Jens Erik Jensen

Desuden har Teknologisk Institut benyttet en række ejendomme, for hvilke varmeinstallationerne har været genstand for kontinuert måling af tryk, temperatur, flow og el-effekt gennem en periode på ét kalenderår.

Følgende boligselskaber har deltaget i projektgruppen og bistået med demonstrationsejendomme:

VIBO – John Christensen  
AKB – John Kepny Rasmussen  
KAB – Alex Rytt

Arbejdet har været udført i perioden juni 2005 – december 2006. Ovennævnte personer har sammen med Jørn Borup Jensen deltaget i kvartalsvise styregruppemøder.

Modeludviklingen og rapportskrivningen er primært udført af Teknologisk Institut i form af:

Hans Andersen, Industri & Energi  
Otto Paulsen, Industri & Energi  
Claus Martin Hvenegaard, Industri & Energi

Arbejdet er hovedsagligt finansieret af Elfor. Den resterende finansiering er kommet ved hjælp af egenfinansiering fra henholdsvis boligselskaber og pumpefirmaer.

Arbejdet har været suppleret med en række foredrag. Erfa-træf 2006 for energirådgivere (november 2006) og EEMODS 2007 i Beijing (juni 2007) er to eksempler på udadvendt aktivitet fra projektgruppens side. Desuden har arbejdet medført en meget målrettet aktivitet omkring implementering af el- og varmebesparelser i samarbejde med boligselskaber, Dansk Energi Net og Landsbyggefonden. Dette arbejde løber frem til sommeren 2007.

Hans Andersen  
December 2006

# 1. Indledning (problemstilling)

I Danmark findes ifølge Danmarks Statistik ca. 1 million ejendomme fordelt som følger vurderet efter byggeår:

Byggeår	- 1900	1900- 1909	1910- 1919	1920- 1929	1930- 1939	1940- 1949	1950- 1959	1960- 1969	1970- 1979	1980- 1989	1990- 2005	I alt
<b>Antal [tusinde]</b>	105	87	48	60	130	79	109	141	119	58	84	<b>1020</b>

Ca. 750.000 lejligheder er opført før energikrisen i starten af halvfjerdserne. En lang række af disse ejendomme er enten i færd med - eller har gennemført – meget kraftige forbedringer af klimaskærmen og varmeinstallationen i form af:

- Ny facadebeklædning (inkl. isolering)
- Nye vinduer
- Glasaltaner
- Termostatventiler på varmeapparater

Alle disse tiltag bevirker, at det dimensionerende varmebehov - ved -12 °C i udetemperatur – er reduceret dramatisk siden pumpeinstallationen oprindelige projekteringsstidspunkt.

Pumperne er selvfølgelig blevet skiftet (typisk hvert tiende år), men der er ikke ressourcer til at foretage en ny beregning, når pumpen skiftes i forbindelse med havari. I denne situation benyttes ”udskiftningslister” hvor en tilsvarende pumpestørrelse anbefales.

Endog anbefales nummeret større såfremt den eksakte størrelse er udgået af sortimentet. Udviklingen indenfor pumper har været at samme byggestørrelse kan præstere mere, og det vil som oftest være byggestørrelsen der af praktiske årsager afgør pumpevalget.

Udgiften til indkøb, installation og drift af cirkulationspumper i boligejendomme udgør en lille del af energiudgifterne og øvrige driftsudgifter i varmeanlæg. Der har derfor været lidt fokus på dette område. Specielt har fremkomsten af de ”intelligente pumper” med omdrejningsregulering betydet, at pumpen ”siges” i mange tilfælde at tilpasse sig anlægget med rigelig vandstrøm og uden støj i ventiler mm.

Dette gælder også selvom pumpen er både to eller tre gange for stor. Elforbruget er lille i forhold til varmeforbruget i denne sektor, men på ingen måde ubetydeligt set ud over de mange lejligheder i sektorens.

Incitamentet burde være til stede set fra boligselskabets side. Den mindre pumpe er altid billigere, også selv om der holdes fast ved at pumpen skal være regulerbar.

Den regulerbare pumpe vil, på trods af at dette projekt afdækker langt mindre flowvariation end tidligere antaget, stadigvæk være at fortrække idet den på effektiv måde kan tilpasse sig et ændret flow-behov, som kan optræde f.eks. i forbindelse med en renovering af klimaskærm- og/eller fornyet hydraulisk indregulering af anlægget.

Med baggrund i ovenstående har man derfor valgt at udvikle et dimensionerings/ pumpevalgsværktøj, der i ambitionsniveau lægger sig mellem udskiftningslisten og en egentlige gennemregning af anlægget. Værktøjet baseres sig på detaljerede målinger på fire anlæg, suppleret med en ekstrapolation. Der er herefter lagt en del praktiske baserede tommelfingerregler og anden sund fornuft indsamlet blandt erfarne varmeteknikere. Værktøjet tager udgangspunkt i en række lettilgængelige parametre og indeholder en flowmodel og en trykmodel.

Værktøjets resultater bevirker, at boligselskabets folk når tid er, kan gennemregne alle deres pumper og udforme en alternativ udskiftningsliste baseret på et revurderet beregningsgrundlag for maksimal flow-ydelse og løftehøjde. Denne alternative liste kan herefter bruges på hel normal vis når de installerede pumper hen ad vejen melder sig til udskiftning.

Der vil ikke være privat økonomi i at forcere udskiftninger. Udgiften til VVS-arbejdet vil overskygge besparelsen, selv om den meget ofte vil befinde sig i området 30-50 % af eksisterende elforbrug.

## 1.1 Rapportens opbygning

Rapporten kan læses som en sammenhængende rapport, men det er også muligt at læse de enkelte kapitler alt efter, hvilket emne man ønsker belyst.

**Kapitel 2** omhandler en energimæssig perspektivering af emnet. Med baggrund i de gennemgåede testejeendomme er udarbejdet vurdering af el- og varmpotentialet i hele etagebyggeriet ved at få optimeret pumpeanlæggene til varmeinstallationerne.

**Kapitel 3** omhandler den udviklede flow-model. I kapitlet kan findes forudsætningerne for estimat af nødvendigt pumpeflow ved en udetemperatur på -12 °C. Modellen er en tilpasset model, der udelukkende må basere sig på inddata, som er tilgængelige for en driftsansvarlig på den konkrete ejendom. Det være sig data fra varmeregnskabet, driftsjournalen og kontinuert temperatur registrering. Modellen er verificeret på de fire konkrete demo-anlæg.

**Kapitel 4** omhandler den udviklede tryk-model. I kapitlet kan findes forudsætningerne for estimat af maksimalt nødvendigt pumpetryk ved en udetemperatur på -12 °C. Modellen er en tilpasset model, der udelukkende må basere sig på inddata, som er tilgængelige for en driftsansvarlig på den konkrete ejendom. Modellen beregner et teoretisk nødvendigt tryk i afhængighed af anlægsstørrelse, spotmålinger m.v. Der korrigeres yderligere for nødvendige tryktillæg i form af varmevekslere, kontra-ventiler m.v., der er fundet ved en direkte inspektion. Modellen er verificeret på de 4 konkrete demo-anlæg.

**Kapitel 5** beskriver den brugerflade, som er udviklet ovenpå de to grundlæggende modeller til tryk- og flowdimensionering. Brugerfladen tager udgangspunkt i ét anlæg, hvor brugeren således bliver guidet igennem analysen for til sidst at få præsenteret et – sparepotentiale i form af at vælge en anden pumpe end den i forvejen installerede.

**Kapitel 6** beskriver hvorledes den i dette projekt pumpevalgsmetodik kan bruges integreret med produktværktøjerne som producenterne WILLO, Smedegaard og Grundfos hver især stiller til rådighed. Det beskrives indgående, hvorledes man anvender de nye fundne dimensionerende driftspunkter for maksimalt pumpetryk og pumpeflow for at finde en egnet pumpe. Desuden beskrives, hvorledes man finder de forskellige driftspunkter for valgt pumpe til at kalkulere et fremtidigt elforbrug, som således kan sammenlignes med et beregnet elforbrug for den eksisterende pumpe.

**Kapitel 7** omhandler 4 eksempler på konkret værktøjsanvendelse. For de 4 demoanlæg er gennemført og præsenteret et evt. pumpekift. Først er de grundlæggende modeller anvendt, dernæst er en alternativ pumpe valgt i producentværktøjet og sidst er dette valg perspektiveret i form af årlig besparelse m.v.

**Kapitel 8** opsamlar en række andre sparepotentialer – end lige pumpevalget – som projektgruppen er faldet over på de meget gennemmålte demo-installationer.

I appendiks til rapporten er skitseret det anvendte målesetup på de fire demoanlæg. Desuden er gengivet nogle grafiske nøgle-illustrationer fra de mange detaljerede målinger af effekt, temperatur(er), pumpeflow og pumpetryk.

## 2. Potentialet i almennyttig sektor

Som beskrevet i indledningen findes ca. 1 million boliger i etagebyggeri i Danmark. Boliger, hvor varmeanlæggene er af en type som behandlet i dette projekt.

Den almennyttige sektor administrerer ca. 360.000 af disse lejligheder. De resterende udlejes på privatbasis m.v. i følgende fordelingsnøgle:

Etagebebyggelse		
	Stk. 2006	Andel [%]
Privatpersoner inkl. I/S	140.760	13,8
Almene boligselskaber	362.425	35,5
A/S, ApS og andre selskaber	97.790	9,6
Private andelsboligforeninger	140.527	13,8
Offentlig myndighed	25.210	2,5
Ejerlejligheder	210.064	20,6
Andet el. uoplyst	43.117	4,2
<b>I alt</b>	<b>1.019.893</b>	<b>100,0</b>

Tabel 2.1 Fordelingsnøgle for etagebyggeri

Almennyttig sektor har i projektet været repræsenteret ved:

- VIBO – 5.000 boliger (fortrinsvis etagebebyggelse)
- AKB – 17.500 boliger (fortrinsvis etagebebyggelse)
- KAB – 35.000 boliger (fortrinsvis etagebebyggelse)

Vurderet ud fra antallet af lejligheder har ca. 15 % af den almennyttige sektor altså være repræsenteret i projektgruppen.

### 2.1 Lejlighedernes energiforbrug

Suppleres detaljerede målinger på de indeholdte 4 demo-anlæg med tidligere udførte målinger på almennyttige ejendomme (forprojektet) haves efterhånden et rimeligt statistisk materiale målt på antallet af lejligheder. I tabellen nedenfor er vist hoveddata for disse 7 ejendomme.

	Antal lejl.	Årstal	årlig vrm	årlig el	vrm pr. lejl.	el. pr. lejl.	pot el [%]	pot el [kWh]
Valbyholm	292	1952/1993	2500000	3000	8562	10	30	3
Parkvænget	32	1967	335000	1744	10469	55	50	27
Utterslevhuse	214	1996	1970000	7900	9206	37	60	22
Rødovreparkvej	150	1962	1301000	1750	8673	12	50	6
Kildevænget	450	1959	5000000	10000	11111	22	75	17
Charlotteager	182	1979/1998	1633000	7800	8973	43	37	16
Hedemarken	60	1970	600000	2040	10000	34	63	21
<b>Gennemsnit</b>					<b>9570</b>	<b>30</b>	<b>52</b>	<b>23</b>

Opgørelsen viser – baseret på 1.400 lejemål, 0,4 % - et gennemsnitligt varmemeforbrug pr. lejlighed på 10.000 kWh inkl. tabsbidrag til rørføring, central m.v.

Opskaleres dette tal til hele den almennyttige sektors etagebyggeri (362.000 boliger) kan der beregnes et årligt varmemeforbrug i sektoren på ca. **3.500 GWh**. Ca. 75 % af boligmassen er opført før 1970.

Elforbruget til pumpedrift har tidligere været opgjort til ca. 300 GWh. Dette tal må med basis i indeværende detaljerede kortlægning siges at være kraftigt overvurderet.

På alle installationer har været udført detaljerede målinger over en længere periode. Med basis i disse målinger kan opgøres et gennemsnitligt nuværende elforbrug til pumpedrift på ca. 30 kWh pr. lejlighed. Der er registreret store variationer i forbruget lige fra 12 kWh pr. lejlighed til 55 kWh pr. lejlighed.

Regnes med en worst-case situation (50 kWh pr. lejlighed) vil det samlede elforbrug til pumpedrift i forbindelse med varmecirkulationen maksimalt kunne udgøre ca. 50 GWh i alt etagebyggeri inkl. ejer, privat m.v. Dertil kommer selvfølgelig et forbrug til brugsvandpumper. Vurderet ud fra gennemsnittet i de syv gennemgåede ejendomme vil et elforbrug til pumpedrift i etagebebyggelse nærmere være 30 GWh, hvor de **11 GWh** forventes at findes i den almennyttige sektors ca. 362.000 lejligheder.

Der er derfor en grænse for sparepotentialet opgjort i absolutte tal. Det gennemsnitlige relative el-sparepotentiale er opgjort til ca. 50 % (minimum 30 % på alle ejendomme). På den baggrund kan opgøres et absolut potentiale på ca. 5 GWh i den almennyttige sektor til pumpedrift i forbindelse med varmecirkulationen.

Med en gennemsnitlig elregning på 1,75 kr. pr. kWh svarer dette til en nødvendig årlig udgift på ca. 9 millioner kroner.

I gennemsnit forsyner pumperne ca. 100 lejligheder. Dvs. at der forefindes ca. 3.500 pumper til varmecirkulation. Den gennemsnitlige unødvendige årlige udgift pr. pumpe er derfor ca. 2.500 kr. En ny pumpe koster i størrelsesordenen 10-15.000 kroner. Derfor vil der som nævnt ikke være privatøkonomi i en forceret udskiftning, men valget af rigtig størrelse bør overvejes mere end tilfældet er i dag.

Forholdet mellem el og varme i forbindelse med varmeinstallationen ses at være 1 til 350 set i forhold til energiindholdet. På trods af at enhedsprisen for varme i mange situationer er 2-3 gange lavere end enhedsprisen for elektricitet viser forholdet alligevel at der bør være stor fokus på varmebesparelser på disse anlæg.

I kapitel 8 i rapporten er gennemgået en række muligheder. Alene forhold som:

- Udekompenseringsanlæg
- Indregulering

forventes ved at kunne resultere i et samlet sparepotentiale på 150-200 GWh i sektoren. Dette svarer til en årlig udgift på ca. 88 millioner kroner, som godt nok er fordelt på de 362.000 lejemål som en del af det lovpligtige varmeregnskab.

***Sparepotentialet i almennyttig boligsektor kan opgøres til 5 GWh el og 175 GWh vrm via simple tiltag som pumpekift, indstilling af udekompenseringskurve og gennemførelse af ny hydraulisk indregulering.***

## 3. Flowmodel (bestemmelse af dimensionerende flow)

### 3.1 Bestemmelse af dimensionerende flow

#### Grundlæggende model

Det viser sig med de usikkerheder, der ellers ligger i dimensionering af flow, at det er acceptabelt at basere flowet alene på det årlige varmebehov, maksimaltimal og graddageafhængigt forbrug. Dette hænger sammen med at der i varme anlæg er en betydelig mulighed for at styre anlæggets flow ved fremløbstemperaturen, og ved indregulering af anlægget.

Det dimensionerende varmetab  $P_{\max}$  i kW fås af

$$P_{\max} = \frac{\text{GAF} \cdot E_{\text{varme}} \cdot 1.000}{h_{\max}}$$

hvor

GAF er den procentdel af varmekonsumet der er graddageafhængigt (%). GAF ligger typisk mellem 70 og 80 %.

$E_{\text{varme}}$  er det årlige varmekonsum, inkl. forbruget til opvarmning af varmt brugsvand (MWh). Værdien fås fra varmeregnskabet

$h_{\max}$  er antallet af maksimaltimer (h). Modellen som udgangspunkt 2.600 timer. Hvis bygningen er meget vindfølsom, f.eks. pga. utætte vinduer regnes med et maksimaltimal på 2.800.

Vindfølsomhed på en konkret bygning findes i en analyse, hvor der **ikke** kan ses en entydig sammenhæng mellem udetemperatur og varmekonsum.

Antallet af maksimaltimer  $h_{\max}$  beregnes således:

$$h_{\max} = \frac{3.112 \text{ }^\circ\text{C d\AA}g/\text{a}r \cdot 24 \text{ h/d\AA}g}{(17 \text{ }^\circ\text{C} - (-12 \text{ }^\circ\text{C}))} \cong 2.600 \text{ h/a}r$$

Det vil sige at  $P_{\max}$  kan beregnes således ud fra standardværdien 2600 maks. timer.

$$P_{\max} = \frac{\text{GAF} \cdot E_{\text{varme}} \cdot 1.000}{2.600}$$

GAF-procenten findes individuelt ud fra varmeregnskabet data på månedsbasis. Hvis varmeregnskabet på månedsbasis ikke findes, foreslås anvendt en værdi på 75 %.

Det dimensionerende (maksimale) flow i  $\text{m}^3/\text{h}$  beregnes herefter således:

$$Q_{\max} = 3,6 \cdot \frac{P_{\max}}{c_p \cdot \Delta T}$$



$\Delta T$  findes individuelt på det enkelte anlæg, som forskellen mellem fremløbs- og returtemperaturen ved en udetemperatur på  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Hvis disse data ikke haves, foreslås anvendt en  $\Delta T$  på  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  for to-strengsanlæg og en  $\Delta T$  på  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  for et-strengsanlæg.

## 3.2 Testresultater for de fire ejendomme

I tabel 3.2 ses testresultater vedr. flow og temperaturdifferens for de fire anlæg. Tabellen indeholder de beregnede dimensionerende flow  $Q_{\text{dim beregnet}}$ , de målte dimensionerende flow  $Q_{\text{dim målt}}$ , de maksimale flow pumperne vil kunne yde under hensyntagen til anlæggenes differenstryk og pumpernes virkningsgrader  $Q_{\text{pumpe max.}}$  og de procentvise afvigelser mellem de maksimale flow og de målte dimensionerende flow  $Q_{\text{var max-målt}}$ .

Afdeling	$Q_{\text{dim beregnet}}$ [m <sup>3</sup> /h]	$Q_{\text{dim målt}}$ [m <sup>3</sup> /h]	$Q_{\text{pumpe max.}}$ [m <sup>3</sup> /h]	$Q_{\text{var max-målt}}$ [%]	$Q_{\text{min målt}}$ [m <sup>3</sup> /h]	$Q_{\text{max målt}}$ [m <sup>3</sup> /h]
VIBO - Charlotteager	11,7	11,4	20	43	7,5	11,5
AKB - Hedemarken	9,5	9,8	24	59	3	6
KAB - Utterslevhuse	18,7	19,9	20	0,5	13	18
KAB - Kildevænget	38,6	35,7	50	29	32	37

Tabel 3.2 Testresultater vedr. flow for de fire anlæg.

I tabellen ses, for tre af pumperne, store afvigelser mellem de maksimale flow og de målte dimensionerende flow. Dette viser, at disse pumper er for store, altså vil kunne yde større flow end nødvendigt. Kun for pumpen i Utterslevhuse er der god overensstemmelse mellem det maksimale flow og det målte dimensionerende flow.

I tabel 3.3 ses testresultater vedr. anlæggenes dimensionerende temperaturdifferenser  $\Delta T_{\text{dim}}$  og de målte dimensionerende temperaturdifferenser  $\Delta T_{\text{dim målt}}$ .

Afdeling	$\Delta T_{\text{dim}}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$\Delta T_{\text{dim målt}}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]
VIBO - Charlotteager	20	14
AKB - Hedemarken	15	15
KAB - Utterslevhuse	20	26
KAB - Kildevænget	10	11

Tabel 3.3 Testresultater vedr. temperaturdifferenser for de fire anlæg.

I tabellen ses, for to af anlæggene, store afvigelser mellem de oplyste dimensionerende temperaturdifferenser og de målte dimensionerende temperaturdifferenser. Dette viser, at man skal være påpasselig med at anvende de oplyste dimensionerende temperaturdifferenser i forbindelse med beregning af det dimensionerende flow. Hvis eksempelvis den oplyste dimensionerende temperaturdifferens var benyttet i beregningen af det dimensionerende flow for Utterslevhuse, ville flowet være beregnet til ca.  $24\text{ m}^3/\text{h}$  mod  $18,7\text{ m}^3/\text{h}$  ved anvendelse af målte dimensionerende temperaturdifferens. Dette viser med al tydelighed hvor vigtig kendskabet til et anlægs dimensionerende temperaturdifferens er.

## 3.3 Sammenligning med målinger: VIBO afdeling 121, Charlotteager Hedehusene

### 3.3.1 Centralvarmeanlæg

Centralvarmeanlægget er et to-strengs anlæg med termostatventiler. Anlægget er dimensioneret til en fremløbstemperatur på  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  og en returtemperatur på  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  ved en udetemperatur på  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Fremløbstemperaturen reguleres efter udetemperaturen, således at centralvarmevandet sendes frem til forbrugsstederne med en temperatur på 80 °C ved en udetemperatur på -12 °C. Ved en udetemperatur på 20 °C sendes centralvarmevandet frem med en temperatur på 30 °C.

Anlægget er et direkte fjernvarmeanlæg med blandeventil som det ses på figur 3.1.

Centralvarmeanlægget forsyner 10 af afdelingens 26 opgange.

I centralvarmeanlægget er monteret en omdrejningstal regulerbar cirkulationspumpe (Smedegaard Isobar 6-95-C-CM).



Figur 3.1. Cirkulationspumpen i boilerummet

### 3.3.2 Dimensionerende flow

Ved hjælp af nedenstående udtryk med GAF procentdel (graddage uafhængigt forbrug), årligt varmeforbrug og antal maksimal timer får man følgende dimensionerende varmetab i kW for lejlighederne i de ti opgange:

$$P_{\max} = \frac{(10/26) \cdot 0,655 \cdot 1.976 \text{ MWh} \cdot 1.000}{2.600 \text{ h/år}} = 191 \text{ kW}$$

GAF-procenten på 65,5 er fundet ud fra varmeregnskabet på månedsbasis. Bemærk at GAF-procenten er ekstraordinær lav.

Dette svarer til et dimensionerende (maksimalt) flow i m<sup>3</sup>/h på:

$$Q = 3,6 \cdot \frac{P_{\max}}{c_p \cdot \Delta T} \Rightarrow$$

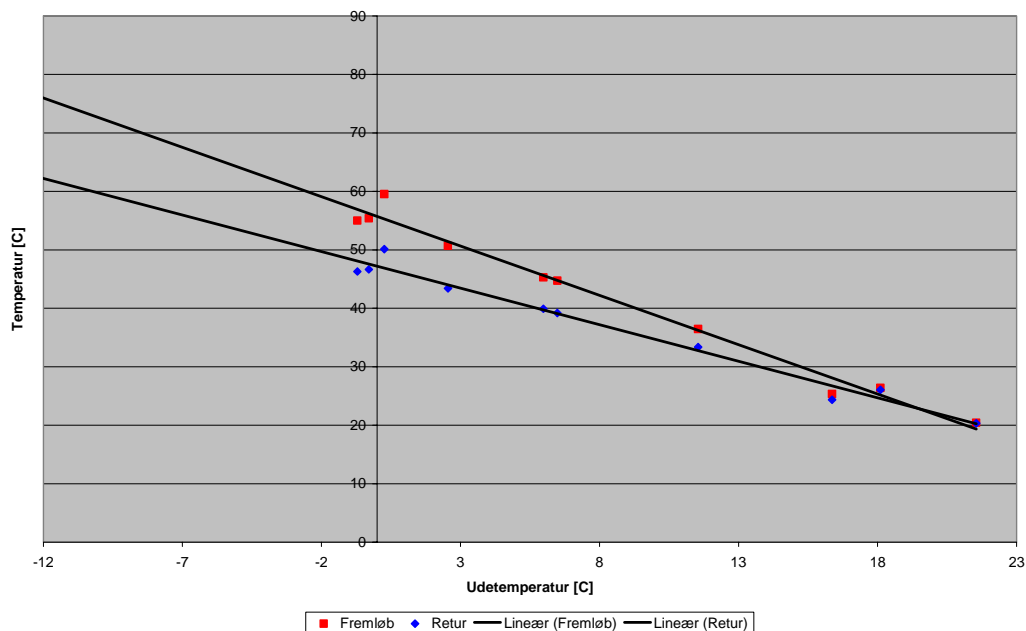
$$Q = 3,6 \cdot \frac{191 \text{ kW}}{4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K} \cdot 14^\circ\text{C}} = 11,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

Differenstemperaturen  $\Delta T$  på 14 °C stammer fra kontinuerte registreringer af fremløbs- og returtemperaturerne på anlægget. Ud fra disse kontinuerte målinger, som er foretaget med en tidsopløsning på 15 minutter, er der beregnet

månedlige gennemsnittemperaturer. Disse gennemsnitstemperaturer ses i figur 3.2 som funktion af udetemperaturer fra DMI.

Som det ses er der en lineær sammenhæng mellem udetemperaturerne og fremløbs- samt returtemperaturerne.

På figuren ses tendenslinier for henholdsvis fremløbs- og returtemperaturerne. Disse tendenslinier er ekstrapoleret til  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ . På den måde er differensstemperaturen  $\Delta T$  på  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$  fremkommet.



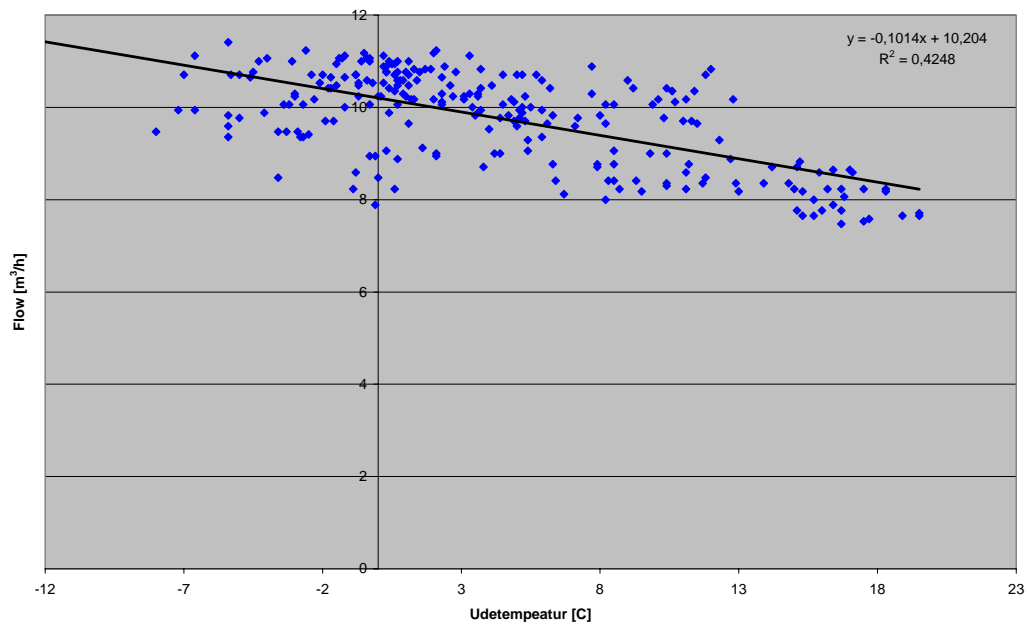
Figur 3.2. Månedlige gennemsnittemperaturer (fremløb og retur) som funktion af udetemperaturerne (fra DMI). Den gode sammenhæng skyldes selvfølgelig, at fremløbstemperaturen styres efter udetemperaturen.

I figur 3.3 ses kontinuerte målinger af flowet. Disse målinger er foretaget med en tidsopløsning på 15 minutter, men i figuren ses beregnede daglige gennemsnitsflow. I figur 3.3 ses disse gennemsnitsflow som funktion af udetemperaturer fra DMI.

Som det ses er der en rimelig lineær sammenhæng mellem udetemperaturerne og flowene. Variationerne må antages at skyldes både termostaternes automatik, f.eks. sol- og vindpåvirkning af lejlighederne, manuel indstilling af termostater, pumpens regulering mm.

På figuren ses en tendenslinie for flowet. Denne tendenslinie er ekstrapoleret til  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ . På den måde fremkommer et flow på  $11,4\text{ m}^3/\text{h}$  ved en udetemperatur på  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Dette flow svarer med tilstrækkelig nøjagtighed til det flow, som pumpeværktøjet beregner.



Figur 3.3. Målte flow pr. dag som funktion af udetemperaturerne (fra DMI).

### 3.4 Sammenligning med målinger: AKB blok 5 Nyvej 37, Hedemarken, Albertslund

#### 3.4.1 Centralvarmeanlæg

Centralvarmeanlægget er et to-strengs anlæg med termostatventiler. Anlægget er dimensioneret til en fremløbstemperatur på 70 °C og en returtemperatur på 55 °C ved en udetemperatur på -12 °C.

Fremløbstemperaturen reguleres efter udetemperaturen, således at centralvarmevandet sendes frem til forbrugsstederne med en temperatur på 70 °C ved en udetemperatur på -12 °C. Ved en udetemperatur på 20 °C sendes centralvarmevandet frem med en temperatur på skønsmæssigt 60 °C.

Anlægget er et indirekte fjernvarmeanlæg med varmeveksler.

I centralvarmeanlægget i blok 5 er monteret en 4-trins cirkulationspumpe (Smedegaard El-vario 6-125-4 ).



Figur 3.4. Cirkulationspumpe i blok 5

### 3.4.2 Dimensionerende flow

Ved hjælp af nedenstående udtryk med GAF procentdel (graddage uafhængigt forbrug), årligt varmeforbrug og antal maksimal timer får man følgende dimensionerende varmetab i kW for lejlighederne i de ti opgange:

$$P_{\max} = \frac{0,704 \cdot 609 \text{ MWh} \cdot 1.000}{2.600 \text{ h/år}} = 165 \text{ kW}$$

Dette svarer til et dimensionerende (maksimalt) flow i m<sup>3</sup>/h på:

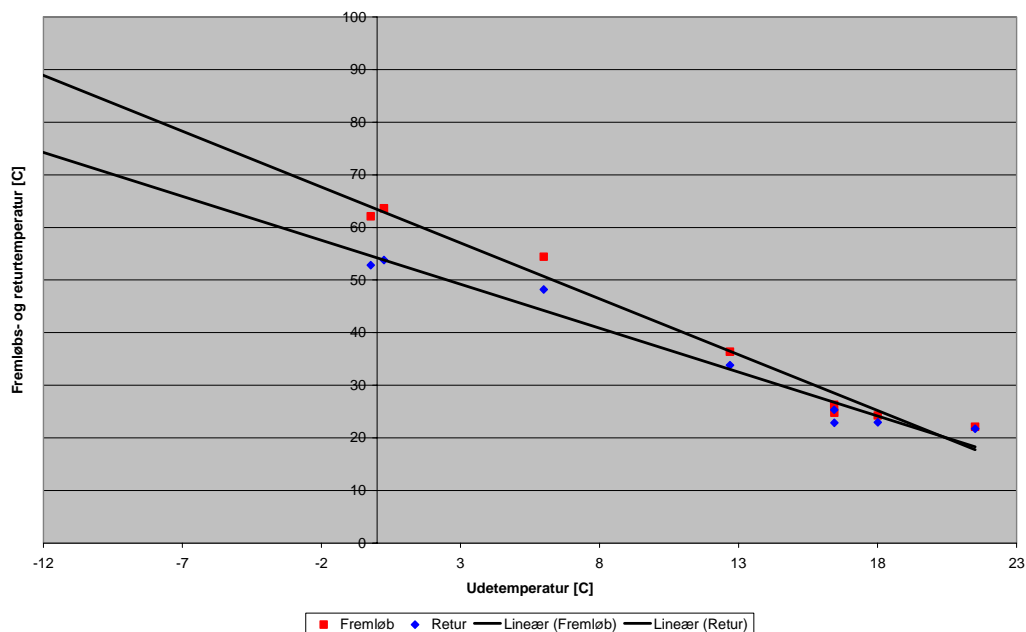
$$Q = 3,6 \cdot \frac{P_{\max}}{c_p \cdot \Delta T} \Rightarrow$$

$$Q = 3,6 \cdot \frac{165 \text{ kW}}{4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K} \cdot 15^\circ\text{C}} = 9,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Differenstemperaturen  $\Delta T$  på 15 °C stammer fra kontinuerte registreringer af fremløbs- og returtemperaturerne på anlægget. Ud fra disse kontinuerte målinger, som er foretaget med en tidsopløsning på 15 minutter, er der beregnet månedlige gennemsnittemperaturer. Disse gennemsnitstemperaturer ses i figur 3.5 som funktion af udetemperaturer fra DMI.

Som det ses er der en lineær sammenhæng mellem udetemperaturerne og fremløbs- samt returtemperaturerne.

På figuren ses tendenslinier for henholdsvis fremløbs- og returtemperaturerne. Disse tendenslinier er ekstrapoleret til  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ . På den måde er differensstemperaturen  $\Delta T$  på  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  fremkommet.



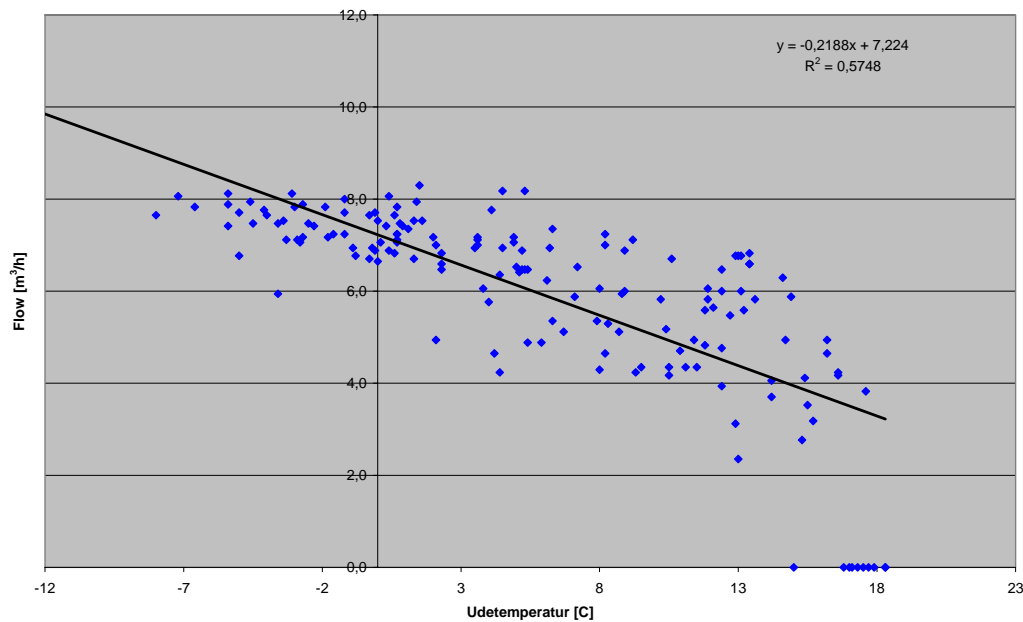
Figur 3.5. Månedlige gennemsnitstemperaturer (fremløb og retur) som funktion af udetemperaturerne (fra DMI).

I figur 3.6 ses kontinuerte målinger af flowet. Disse målinger er foretaget med en tidsopløsning på 15 minutter, men i figuren ses beregnede daglige gennemsnitsflow. I figur 3.6 ses disse gennemsnitsflow som funktion af udetemperaturer fra DMI.

Som det ses er der en rimelig lineær sammenhæng mellem udetemperaturerne og flowene. Som det ses er der en rimelig lineær sammenhæng mellem udetemperaturerne og flowene. Variationerne må antages at skyldes både termostaternes automatik, f.eks. sol- og vindpåvirkning af lejlighederne, manuel indstilling af termostater, pumpens regulering mm.

På figuren ses en tendenslinie for flowet. Denne tendenslinie er ekstrapoleret til  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ . På den måde fremkommer et flow på  $9,8\text{ m}^3/\text{h}$  ved en udetemperatur på  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Dette flow svarer stort set til det beregnede på  $9,5\text{ m}^3/\text{h}$ , som beregningsværktøjet giver.



Figur 3.6. Målte flow pr. dag som funktion af udetemperaturerne (fra DMI).

## 3.5 Sammenligning med målinger: KAB, Utterslevhuse, Husum

### 3.5.1 Centralvarmeanlæg

Centralvarmeanlægget er et to-strengs anlæg med termostatventiler. Anlægget er dimensioneret til en fremløbstemperatur på 70 °C og en returtemperatur på 50 °C ved en udetemperatur på -12 °C.

Fremløbstemperaturen reguleres efter udetemperaturen, således at centralvarmevandet sendes frem til forbrugsstederne med en temperatur på 70 °C ved en udetemperatur på -12 °C. Ved en udetemperatur på 20 °C sendes centralvarmevandet frem med en temperatur på ca. 40 °C.

Anlægget er et indirekte fjernvarmeanlæg med varmeveksler som det ses på figur 3.7.

I centralvarmeanlægget i boilerummet i nr. 134 er monteret to stk. omdrejningstal regulerbare cirkulationspumper (Grundfos UPE 40-120 F).



Figur 3.7. Cirkulationspumper i Utterslevhuse

### 3.5.2 Dimensionerende flow

Ved hjælp af nedenstående udtryk med GAF procentdel (graddage uafhængigt forbrug), årligt varmeforbrug og antal maksimal timer får man følgende dimensionerende varmetab i kW for lejlighederne i de ti opgange:

$$P_{\max} = \frac{0,74 \cdot 1.989 \text{ MWh} \cdot 1.000}{2.600 \text{ h/år}} = 566 \text{ kW}$$

Dette svarer til et dimensionerende (maksimalt) flow i m<sup>3</sup>/h på:

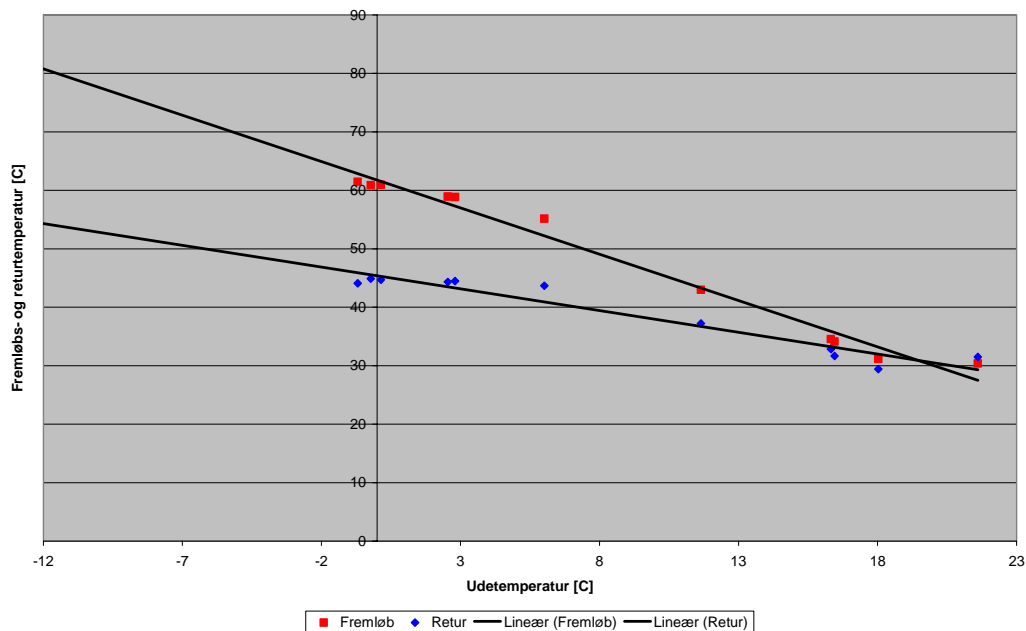
$$Q = 3,6 \cdot \frac{P_{\max}}{c_p \cdot \Delta T} \Rightarrow$$

$$Q = 3,6 \cdot \frac{566 \text{ kW}}{4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K} \cdot 26^\circ\text{C}} = 18,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

Differenstemperaturen  $\Delta T$  på 26 °C stammer fra kontinuerte registreringer af fremløbs- og returtemperaturerne på anlægget. Ud fra disse kontinuerte målinger, som er foretaget med en tidsopløsning på 15 minutter, er der beregnet månedlige gennemsnittemperaturer. Disse gennemsnittemperaturer ses i figur 3.8 som funktion af udetemperaturer fra DMI.

Som det ses er der en lineær sammenhæng mellem udetemperaturerne og fremløbs- samt returtemperaturerne. På figuren ses tendenslinier for henholdsvis fremløbs- og returtemperaturerne. Disse tendenslinier er ekstrapoleret til -12 °C. På den måde er differenstemperaturen  $\Delta T$  på 26 °C fremkommet.





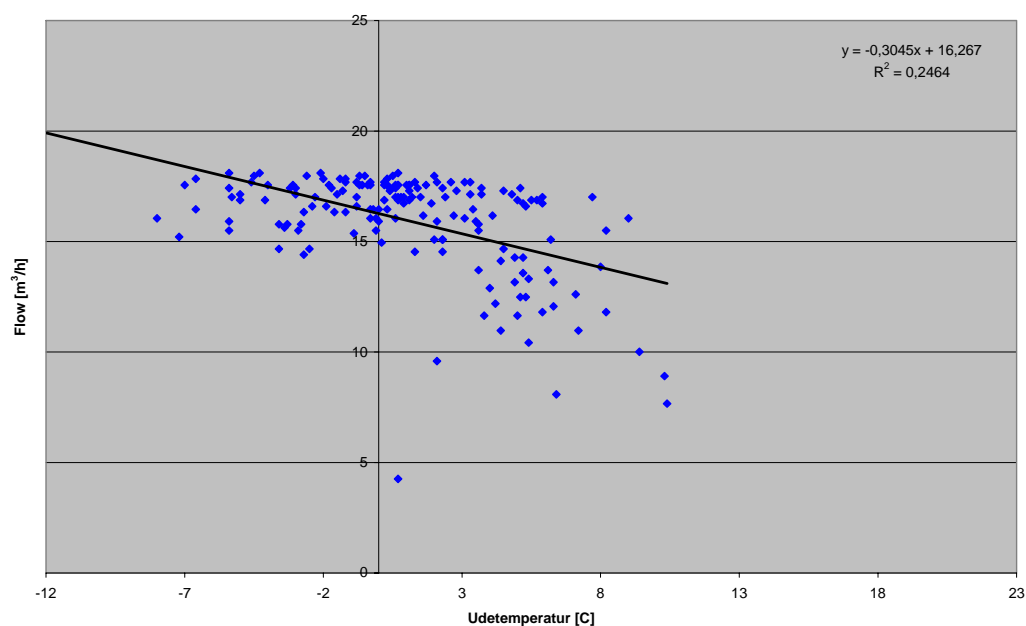
Figur 3.8. Månedlige gennemsnitstemperaturer (freløb og retur) som funktion af udetemperaturerne (fra DMI). Den relativt større afkøling ved lave udetemperaturer indikerer, at anlæggets fremløbstemperaturkurve er rimeligt indstillet.

I figur 3.9 ses kontinuerte målinger af flowet. Disse målinger er foretaget med en tidsopløsning på 15 minutter, men i figuren ses beregnede daglige gennemsnitsflow. I figur 3.9 ses disse gennemsnitsflow som funktion af udetemperaturer fra DMI.

Som det ses er der en rimelig lineær sammenhæng mellem udetemperaturerne og flowene. Som det ses er der en rimelig lineær sammenhæng mellem udetemperaturerne og flowene. Variationerne må antages at skyldes både termostaternes automatik, f.eks. sol- og vindpåvirkning af lejlighederne, manuel indstilling af termostater, pumpens regulering mm.

På figuren ses en tendenslinie for flowet. Denne tendenslinie er ekstrapoleret til -12 °C. På den måde fremkommer et flow på 19,9 m<sup>3</sup>/h ved en udetemperatur på -12 °C.

Dette flow svarer stort set til det beregnede på 18,7 m<sup>3</sup>/h.



*Figur 3.9. Målte flow pr. dag som funktion af udetemperaturerne (fra DMI). Flowet er rimeligt konstant. Ved højere udetemperaturer, hvor der er større mulighed for solindfald findes en stor spredning af flowet og det er i overensstemmelse med det forventede.*

## 3.6 Sammenligning med målinger: KAB, Kildevænget, Gladsaxe

### 3.6.1 Centralvarmeanlæg

Centralvarmeanlægget er et en-strengs anlæg med termostatventiler. Anlægget er dimensioneret til en fremløbstemperatur på 60 °C og en returtemperatur på 50 °C ved en udetemperatur på -12 °C. Fremløbstemperaturen reguleres efter udetemperaturen, således at centralvarmevandet sendes frem til forbrugsstederne med en temperatur på 60 °C ved en udetemperatur på -12 °C. Ved en udetemperatur på 20 °C sendes centralvarmevandet frem med en temperatur på ca. 30 °C. Anlægget er et indirekte fjernvarmeanlæg med varmeveksler. Centralvarmeanlægget forsyner 13.340 m<sup>2</sup> ud af afdelingens samlede areal på 38.220 m<sup>2</sup>.

I centralvarmeanlægget i boilerummet i nr. 134 er monteret en omdrejningstal regulerbare cirkulationspumpe (WILO IP-E 80/2-15).



Figur 3.10. Cirkulationspumpe i Kildevænget

### 3.6.2 Dimensionerende flow

Ved hjælp af nedenstående udtryk med GAF procentdel (graddage uafhængigt forbrug), årligt varmeforbrug og antal maksimal timer får man følgende dimensionerende varmetab i kW for lejlighederne i de ti opgange:

$$P_{\max} = \frac{(14.340/38.220) \cdot 0,75 \cdot 4.923 \text{ MWh} \cdot 1.000}{2.800 \text{ h/år}} = 495 \text{ kW}$$

I dette eksempel er anvendt et maksimalt metal på 2.800 pga. vindfølsomhed. Analysen af vindfølsomhed ses senere i afsnittet.

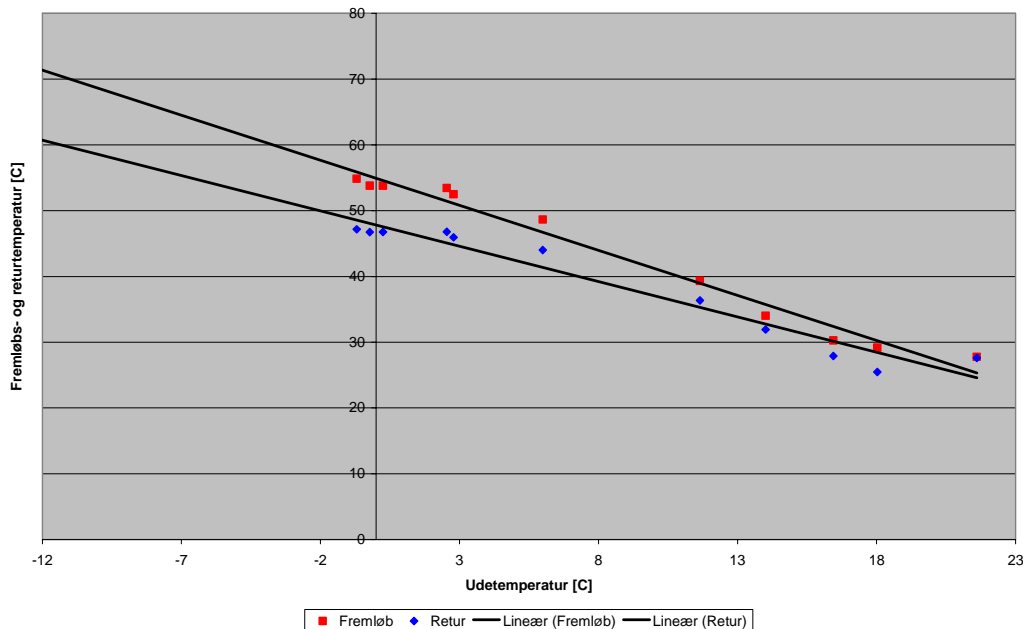
Dette svarer til et dimensionerende (maksimalt) flow i m<sup>3</sup>/h på:

$$Q = 3,6 \cdot \frac{P_{\max}}{c_p \cdot \Delta T} \Rightarrow$$

$$Q = 3,6 \cdot \frac{495 \text{ kW}}{4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K} \cdot 11^\circ\text{C}} = 38,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

Differenstemperaturen  $\Delta T$  på 11 °C stammer fra kontinuerte registreringer af fremløbs- og returtemperaturerne på anlægget. Ud fra disse kontinuerte målinger, som er foretaget med en tidsopløsning på 15 minutter, er der beregnet månedlige gennemsnittemperaturer. Disse gennemsnitstemperaturer ses i figur 3.11 som funktion af udetemperaturer fra DMI.

Som det ses er der en lineær sammenhæng mellem udetemperaturerne og fremløbs- samt returtemperaturerne. På figuren ses tendenslinier for henholdsvis fremløbs- og returtemperaturerne. Disse tendenslinier er ekstrapoleret til -12 °C. På den måde er differenstemperaturen  $\Delta T$  på 11 °C fremkommet.



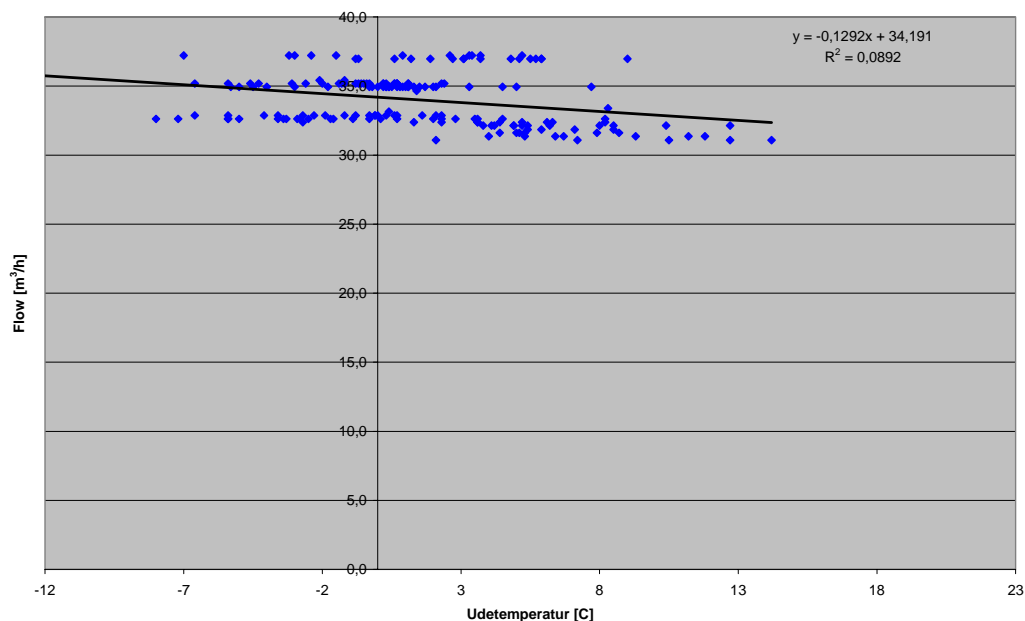
Figur 3.11. Månedlige gennemsnitstemperaturer (fremløb og retur) som funktion af udetemperaturerne (fra DMI).

I figur 3.12 ses kontinuerte målinger af flowet. Disse målinger er foretaget med en tidsopløsning på 15 minutter, men i figuren ses beregnede daglige gennemsnitsflow. I figur 3.12 ses disse gennemsnitsflow som funktion af udetemperaturer fra DMI.

Som det ses er der en rimelig lineær sammenhæng mellem udetemperaturerne og flowene. Variationerne skyldes manuel indstilling af pumpen. Uden dette indgreb ville anlægget have noget nær konstant flow, som er typisk for et-strengsanlæg. Tilsyneladende kunne det lave flowniveau have været generelt anvendt, da det findes ved lave udetemperaturer.

På figuren ses en tendenslinie for flowet. Denne tendenslinie er ekstrapoleret til -12 °C. På den måde fremkommer et flow på 35,7 m<sup>3</sup>/h ved en udetemperatur på -12 °C.

Dette flow svarer stort set til det beregnede på 38,6 m<sup>3</sup>/h.



Figur 3.12. Målte flow pr. dag som funktion af udetemperaturerne (fra DMI).

### Vindfølsomhed

I formelen til beregning af det dimensionerende varmetab og dermed det dimensionerende flow er der, for denne ejendom, anvendt et maks. time tal på 2.800. Forklaringen på det er, at bygningerne er vindfølsomme.

I tabel 3.1 ses samhørende værdier for udetemperatur, vindhastighed og varmeforbrug pr. måned.

I figur 3.13 og 3.14 ses resultater af regressionsanalyser ved varmeforbrug som den afhængige variabel og henholdsvis udetemperaturen (alene) samt udetemperaturen og vindhastigheden som uafhængige variable. Her ses det tydeligt at vindhastigheden har væsentlig betydning for varmeforbruget. Regressionskoefficienten ( $R^2$ ) stiger fra 0,77 til 0,94, når vindhastigheden inddrages til forklaring af variationerne i de månedlige varmeforbrug.

Måned	Udetemperatur [C]	Vindhastighed [m/s]	Varmeforbrug [MWh]
Januar	-0,7	5,3	279,9
Februar	0,25	4,5	271,8
Marts	-0,23	4,7	222,3
April	6	4,7	104,4
Maj	11,6	5,1	58,9
Juni	14	3,9	43,9
Juli	21,6	3,7	32
August	18	3,9	38,3
September	16,5	5	40,9
Oktober	12,7	5,2	178,6
November	2,79	5,3	248,4
December	2,54	6	327,6

Tabel 3.2 Samhørende værdier for udetemperatur, vindhastighed og varmeforbrug pr. måned

Temp									
RESUMEOUTPUT									
<u>Regressionsstatistik</u>									
Multipel R	0,879057								
R-kvadrere	0,772742								
Justeret R-	0,750016								
Standardfe	56,14909								
Observatio	12								
<u>ANOVA</u>									
	fg	SK	MK	F	Signifikans F				
Regressior	1	107201,5	107201,5	34,00285	0,000166				
Residual	10	31527,2	3152,72						
I alt	11	138728,7							
	Koefficiente	Standardfej	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%	Nedre 95,0%	Øvre 95,0%	
Skæring	263,3628	24,79903	10,61988	9,14E-07	208,1071	318,6185	208,1071	318,6185	
X-variabel	-12,50195	2,143976	-5,831196	0,000166	-17,27902	-7,724869	-17,27902	-7,724869	

Figur 3.13. Varmeforbrug pr. måned for afdelingen som funktion af udetemperaturen (DMI)

Temp og vind									
RESUMEOUTPUT									
<u>Regressionsstatistik</u>									
Multipel R	0,969211								
R-kvadrere	0,93937								
Justeret R-	0,833308								
Standardfe	50,64337								
Observatio	12								
<u>ANOVA</u>									
	fg	SK	MK	F	Signifikans F				
Regressior	2	397372,6	198686,3	77,46807	2,13E-06				
Residual	10	25647,51	2564,751						
I alt	12	423020,1							
	Koefficiente	Standardfej	t-stat	P-værdi	Nedre 95%	Øvre 95%	Nedre 95,0%	Øvre 95,0%	
Skæring	0	#I/T	#I/T	#I/T	#I/T	#I/T	#I/T	#I/T	#I/T
X-variabel	-9,895991	1,765061	-5,6066	0,000226	-13,82879	-5,96319	-13,82879	-5,96319	
X-variabel	50,28555	4,235864	11,87138	3,23E-07	40,84746	59,72364	40,84746	59,72364	

Figur 3.14. Varmeforbrug pr. måned for afdelingen som funktion af udetemperaturen og vindhastigheden (DMI)

## 4. Trykmodel (bestemmelse af dimensionerende tryk)

Differenstrykket i et varmeanlæg vælges i praksis ved anvendelse af en serie tommelfingerregler. Principielt kan hver rørstrækning optimeres med hensyn til dimensionen, idet parametrene bliver vandføringen, flow og flow i forhold til det største flow i anlægget, samt priser på el, varme, installationspriser, rentefod, levetid for anlægget og finansiering. Denne optimering fører oftest til fornuftige dimensioner, men kan også føre til anlæg, der vil give stød, for store statiske tryk og andre urimeligheder. Derfor vælges ofte et tryktab pr m rør som udgangspunkt for dimensionering. Størrelsen er i reglen 100 – 200 Pa/m. Den lave værdi vælges ved udstrakte, dvs. store anlæg og den høje værdi ved små anlæg. Den almindelige tankegang er nu at anlæggets ”minimalkarakteristik” (for to-strengs anlæg) er givet ved at der altid skal ligge et tryk over termostatventilerne, også ved lukket ventil. Ved stigende flow kommer så rørsystemets modstand til. Denne modstand vokser kvadratisk med flowet. F. eks. kan modstanden svare til 7,5 kPa ved nul flow og 20 kPa ved max flow. (Det er denne minimalkarakteristik, der efterlignes af de intelligente pumpe *proportional*karakteristik). Denne ”minimalkarakteristik” anvendes til ekstrapolation fra et registreret tryk til et dimensionerende tryk.

På figur 4.1 ses den registrerede sammenhæng mellem differenstryk over varmeanlæg (ekskl. veksler eller blandesløjfe) tryk og anlægsstørrelse for de fire anlæg. Denne sammenhæng er regnet som generel for alle anlæg, hvis der ikke findes en aktuell måling eller registrering af et differenstryk.

Det skal her bemærkes, at der er en betydelig elasticitet i valg af differenstryk. Det fremgår af de målte modstande i to-strengsanlæggene, at trykket varierer betydeligt ved samme afgivne effekt. Det er en forsvarlig hypotese, at hvis et givet flow kan etableres ved to forskellige flow så er det faktisk kun nødvendigt for pumpen at levere det laveste tryk. Det overskydende tryk tages i anlæggets termostatventiler.

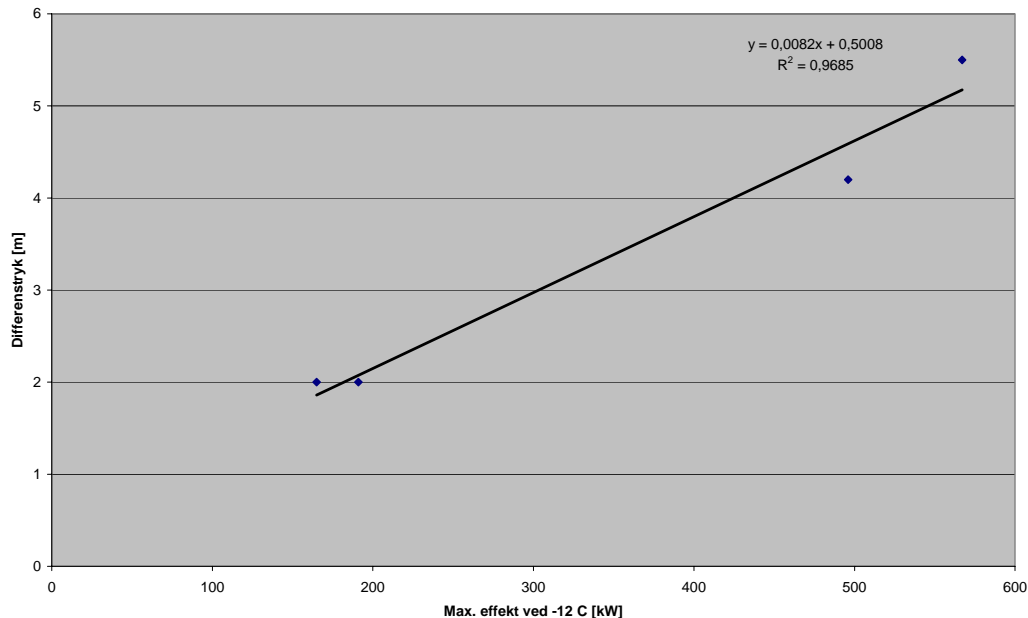
Beregningsværktøjet kan tage udgangspunkt i kurven på fig. 4.1. Det kan tage udgangspunkt i en stikprøvemæssig måling af trykket og det kan tage udgangspunkt i en egentlig registrering. Når trykket er kendt over anlægget kan der herefter korrigeres for tryktab i veksler eller blandesløjfe. Hvis disse komponenters Kv-værdier ikke kendes er der i værktøjet indført værdier herfor, der svarer til en fornuftig dimensionering.

Når der anvendes målinger som udgangspunkt ekstrapoleres til dimensioneringssituationen. Til dette er der taget udgangspunkt i de målte flowvariationer i de fire anlæg. Hvis brugeren har indikationer af større eller mindre flowvariationer i anlægget kan default-værdierne rettes.

Sammenfattende indeholder modellen:

- 1 En karakteristisk og generel sammenhæng mellem anlægsstørrelse og tryktab i anlægget, inkl. minimums og maksimumsværdier for differenstrykket.
- 2 En mulighed for at anvende øjebliksmåling (spotmåling) eller registreringer over længere perioder
- 3 Et-strengsanlæg eller to-strengsanlæg
- 4 Tryktab i veksler eller i blandesløjfens ventiler

## 4.1 Bestemmelse af dimensionerende differenstryk



Figur 4.1. Differenstryk som funktion af max. effekten for de fire anlæg

I figur 4.1 ses differenstryk som funktion af max. effekten (beregnet i afsnit 3 for de fire anlæg) for de fire anlæg. Differenstrykkene ses endvidere i tabel 4.1.

Der er, som det ses, en klar sammenhæng mellem differenstrykkene og max. effekterne.

Differenstrykket over et centralvarmeanlæg er derfor lineært afhængigt af anlæggets max. effekt. Differenstrykket i som funktion af max. effekten i kW kan derfor udtrykkes således:

$\Delta p_{\text{anlæg}} = (0,0082 \cdot P_{\text{max}}) + 0,5088$  [mVS] med  $P_{\text{max}}$  i kW. Til dette tryk skal lægges differenstrykket i boilerummets rørsystem, vekslere mm.

Der er regnet med at denne sammenhæng med tilnærmelse er generel. Årsagen til dette er at der er en række bindinger for differenstrykket i anlægget. Ved anlæg af stor udstrækning må der nødvendigvis tillades et større differenstryk for at få rimelige rørdimensioner ude i anlægget. Hvis et stort og et lille anlæg sammenlignes vil man finde et mindre tryktab pr m rørsystem ved det store end ved lille anlæg. På trods af det findes, som nævnt, højere differenstryk på de store anlæg. Ved de udstrakte anlæg vil der herefter fremkomme nye bindinger, idet stigende differenstryk medfører risiko for støj og dårlig regulering mm øges samt at det kan medføre store statiske tryk i anlægget med risiko for lækage og andre problemer til følge.

Der kan findes undtagelser:

- Hvis det store anlæg består af parallelle kredse af lille udstrækning, skal effekten i figur 4.1 regnes pr anlægsgren.
- Hvis der til indregulering af anlægget anvendes ”dynamiske ventiler” med reguleringsvirkning, dvs. flowbegrænsere eller differenstrykregulatorer i hver streng er der en mulighed for at et anlæg kan arbejde med et højere maksimalt differenstryk. Men dette er ikke almindeligt, fordi der meget let opstår problemer, f.eks. vil et sådant ”finberegnet” anlæg være meget ufleksibelt ved udvidelser og vil ikke kunne levere et større flow end det beregnede mm.



Alt taget i betragtning, bør kurven ikke ekstrapoleres meget udover ca. 10 m og det er risikabelt at regne med differenstryk mindre end 2 m. Disse grænser er indført i Excel-værktøjet, som beskrives i afsnit 5.

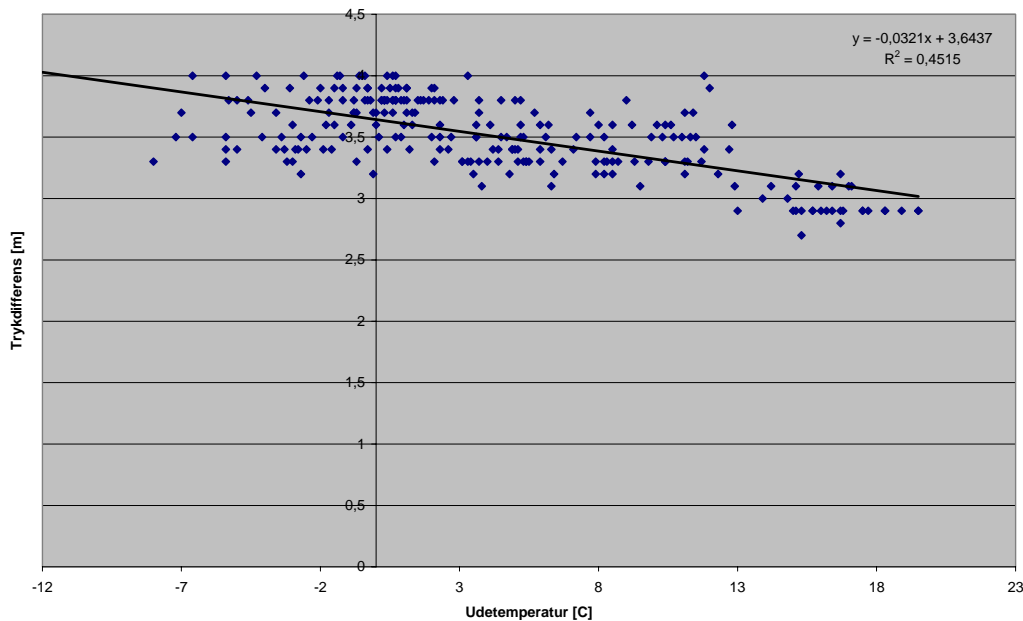
## 4.2 Testresultater for de fire ejendomme

Afdeling	H <sub>anlæg beregnet</sub> [m <sup>3</sup> /h]	H <sub>pumpe bereget</sub> [m <sup>3</sup> /h]	H <sub>pumpe max.</sub> [m <sup>3</sup> /h]	H <sub>var max-målt</sub> [%]	H <sub>min målt</sub> [m <sup>3</sup> /h]	H <sub>max målt</sub> [m <sup>3</sup> /h]
VIBO - Charlotteager	2	4	6	33	2,8	4,0
AKB - Hedemarken	2	2,2	3	27	2,2	3,2
KAB - Utterslevhuse	5,4	5,6	6	7	5,6	9,2
KAB - Kildevænget	4,2	5,4	10	46	4,0	5,6

Tabel 4.1 Testresultater vedr. trykdifferenser for de fire anlæg.

I tabellen ses, for tre af pumperne, store afvigelser mellem de maksimale differenstryk over pumpen og de beregnede dimensionerende differenstryk. Dette viser, at disse pumper er for store, altså vil kunne yde større differenstryk end nødvendigt. Kun for pumpen i Utterslevhuse er der god overensstemmelse mellem det maksimale differenstryk og det målte dimensionerende differenstryk.

## 4.3 Tilgrundliggende målinger: VIBO afdeling 121, Charlotteager Hedehusene

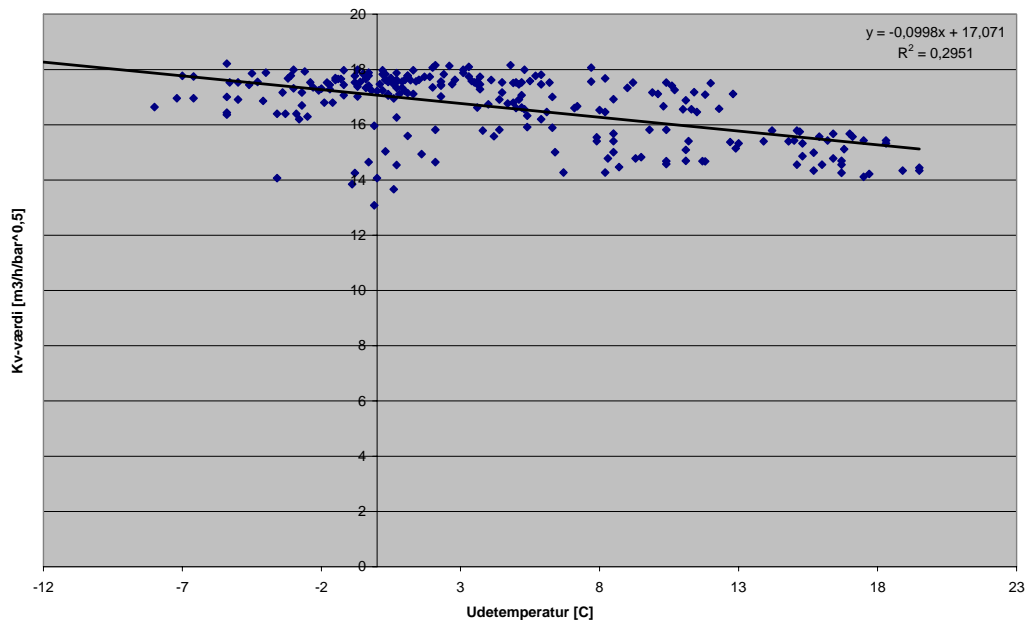


Figur 4.2. Differenstryk pr. dag som funktion af udetemperaturerne (fra DMI)

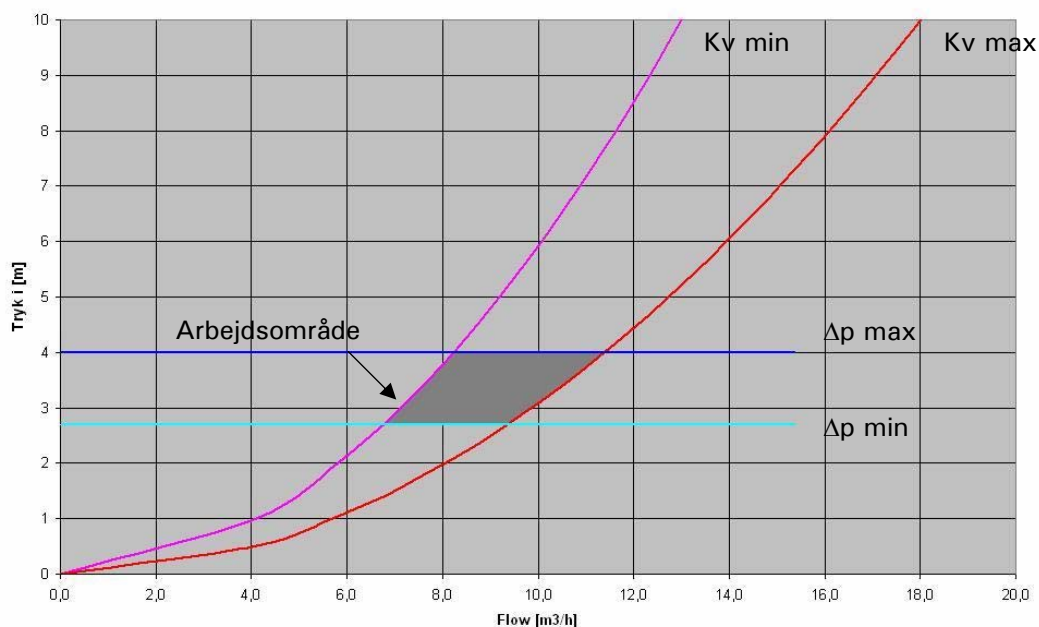
I figur 4.2 ses kontinuerte målinger af differenstrykket over pumpen. Disse målinger er foretaget med en tidsopløsning på 15 minutter, men i figuren ses beregnede daglige gennemsnitlige differenstryk. I figur 4.2 ses disse gennemsnitlige differenstryk som funktion af udetemperaturer fra DMI.

Som det ses er der en rimelig lineær sammenhæng mellem udetemperaturerne og differenstrykkene. På figuren ses en tendenslinie for differenstrykket. Denne tendenslinie er ekstrapoleret til -12 °C. På den måde fremkommer et differenstryk på ca. 4 m ved en udetemperatur på -12 °C.

Anlægget er, som tidligere nævnt, et direkte fjernvarmeanlæg med blandeventil. Blandeventilens  $K_v$  værdi er 25 m<sup>3</sup>/h v./1 bar. Differenstrykket over denne ventil ved det dimensionerende flow vil være ca. 2 m. Det vil sige at trykket over anlægget tilsvarende vil være ca. 2 m.

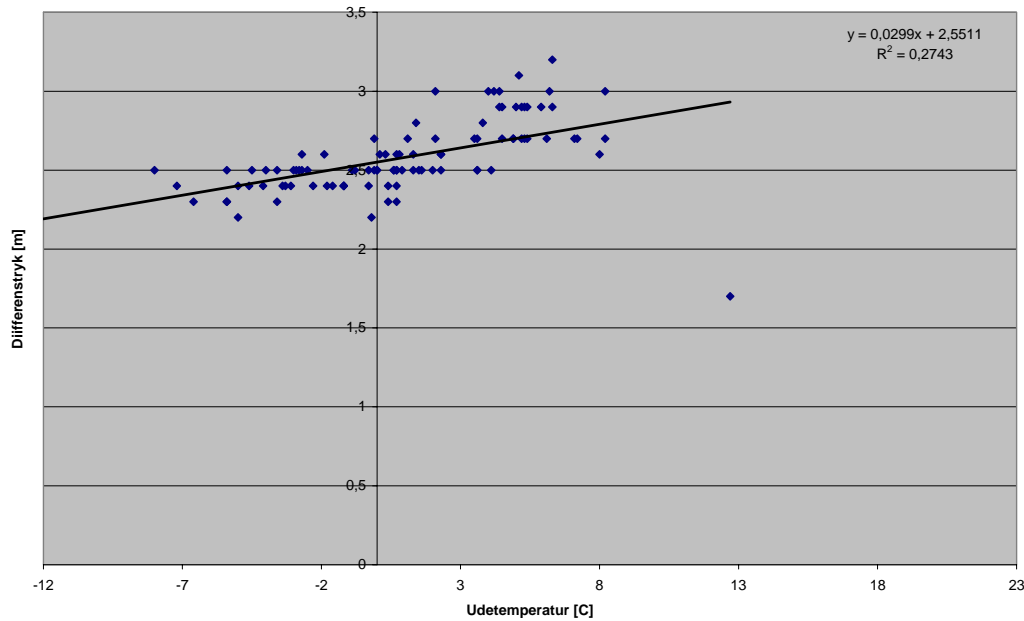


Figur 4.3.  $K_v$ -værdier pr. dag som funktion af udetemperaturerne (fra DMI).  $K_v$ -værdien er et mål for anlæggets specifikke modstand (eller anlæggets anlægskarakteristik), sådan at en større  $K_v$ -værdien svarer til mindre modstand.



Figur 4.4  $K_v$ -værdier og tilsvarende grænser for anlægskarakteristikker pr. dag som funktion af udetemperaturerne (fra DMI). De registrerede flow og differenstryk ligger alle indenfor det markerede areal. Man ville have forventet et større arbejdsområde.

#### 4.4 Tilgrundliggende målinger: AKB blok 5 Nyvej 37, Hedemarken, Albertslund



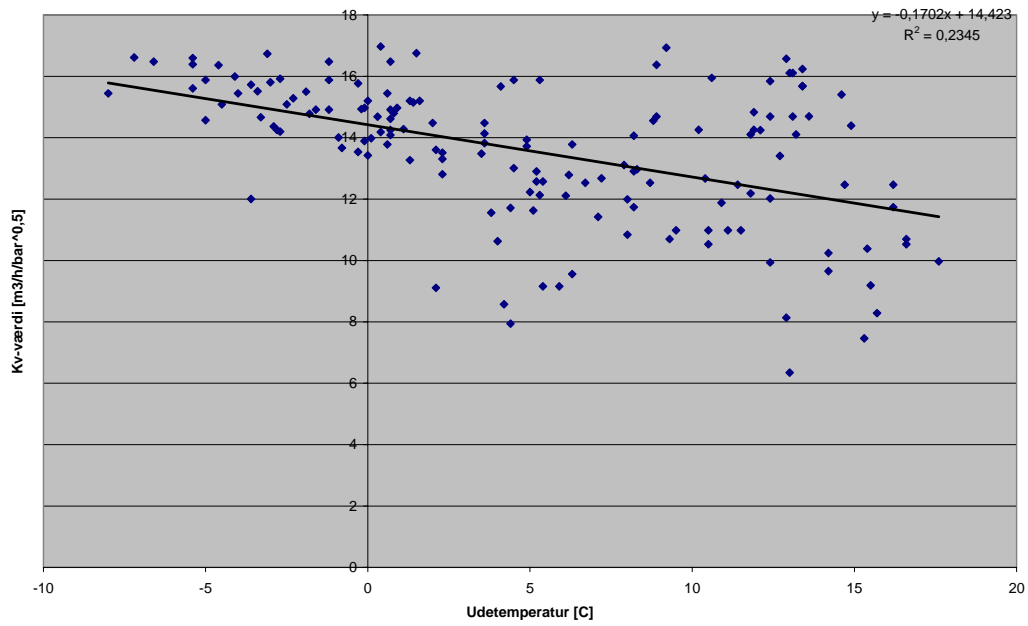
Figur 4.5. Differenstryk pr. dag som funktion af udetemperaturerne (fra DMI)

I figur 4.5 ses kontinuerte målinger af differenstrykket. Disse målinger er foretaget med en tidsopløsning på 15 minutter, men i figuren ses beregnede daglige gennemsnitlige differenstryk. I figur 4.5 ses disse gennemsnitlige differenstryk som funktion af udetemperaturer fra DMI.

Som det ses er der en rimelig lineær sammenhæng mellem udetemperaturerne og differenstrykkene. På figuren ses en tendenslinie for differenstrykket. Denne tendenslinie er ekstrapoleret til  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ . På den måde fremkommer et differenstryk på ca. 2,2 m ved en udetemperatur på  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

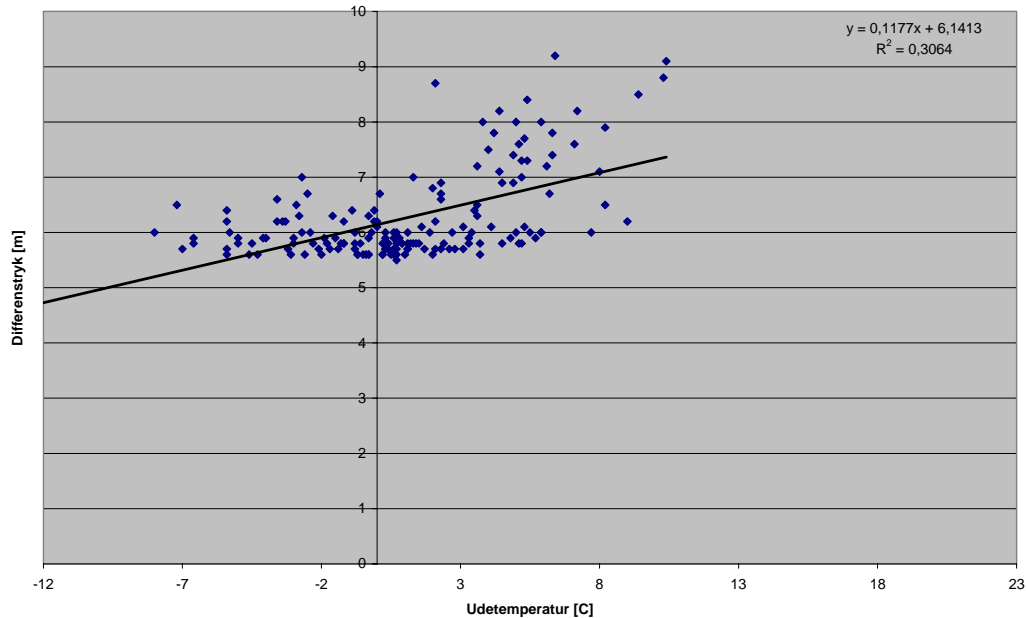
Anlægget er, som tidligere nævnt, et indirekte fjernvarmeanlæg med varmeveksler. Differenstrykket over denne veksler ved det dimensionerende flow vil være ca. 0,2 m.

Det vil sige at trykket over anlægget tilsvarende vil være ca. 2,0 m.



Figur 4.6. Kv-værdier pr. dag som funktion af udetemperaturene (fra DMI). I dette anlæg er der stor spredning i anlæggets specifikke modstand. Et sådant anlæg er egnet til pumper med "proportionalregulering".

## 4.5 Tilgrundliggende målinger: KAB, Utterslevhuse, Husum



Figur 4.7. Differenstryk pr. dag som funktion af udetemperaturerne (fra DMI)

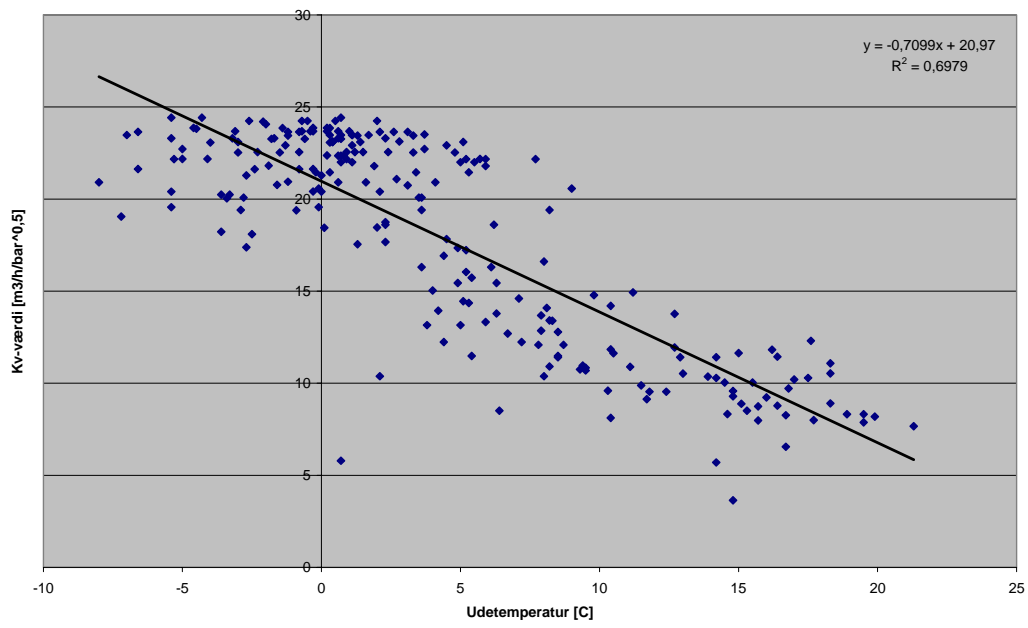
I figur 4.7 ses kontinuerte målinger af differenstrykket. Disse målinger er foretaget med en tidsopløsning på 15 minutter, men i figuren ses beregnede daglige gennemsnitlige differenstryk. I figur 4.7 ses disse gennemsnitlige differenstryk som funktion af udetemperaturer fra DMI.

Som det ses er der en rimelig lineær sammenhæng mellem udetemperaturerne og differenstrykkene

På figuren ses en tendenslinie for differenstrykket. Denne tendenslinie er ekstrapoleret til  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ . På den måde fremkommer et differenstryk på ca. 4,7 m ved en udetemperatur på  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ . På figuren ses dog, at differenstrykket ikke vil komme med på 4,7 m, men ca. 5,6 m ved en udetemperatur på  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

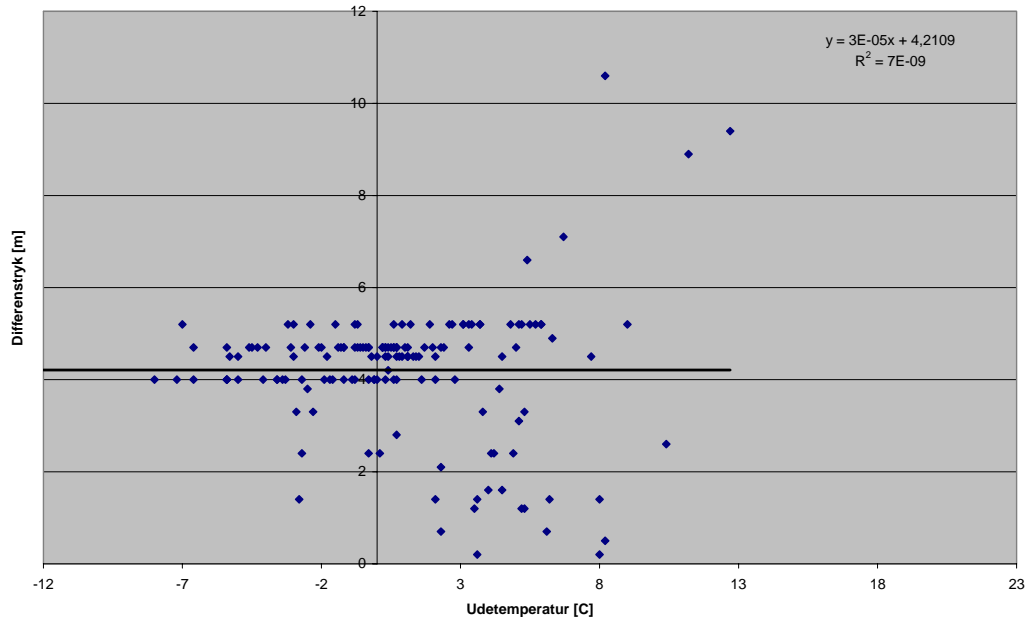
Anlægget er, som tidligere nævnt, et indirekte fjernvarmeanlæg med varmeveksler. Differenstrykket over denne veksler ved det dimensionerende flow vil være ca. 0,2 m.

Det vil sige at trykket over anlægget tilsvarende vil være ca. 5,4 m.



Figur 4.8. Kv-værdier pr. dag som funktion af udetemperaturene (fra DMI)

## 4.6 Tilgrundliggende målinger: KAB, Kildevænget, Gladsaxe

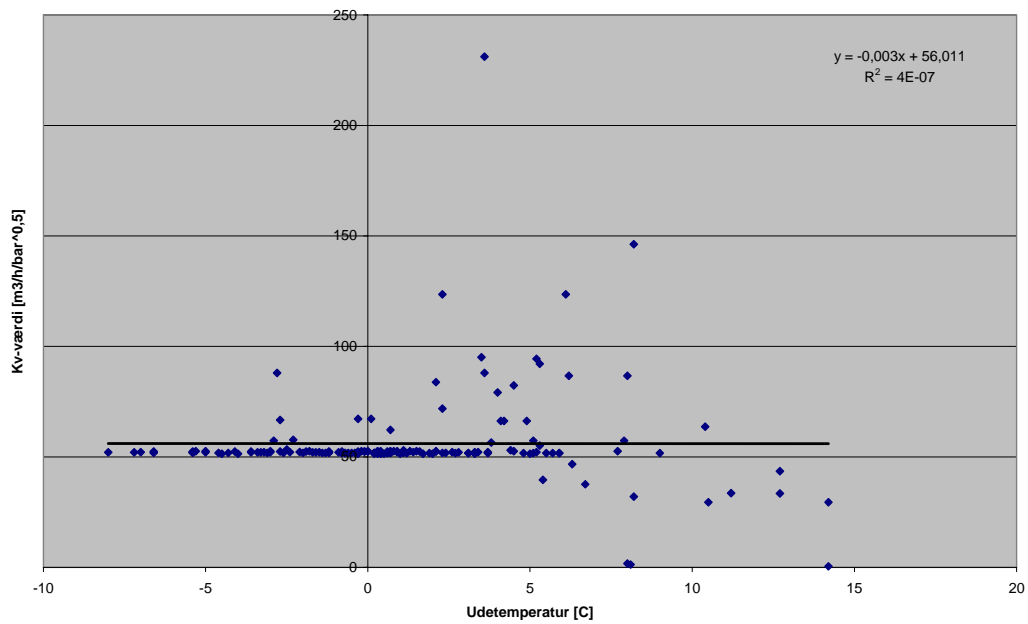


Figur 4.9. Differenstryk pr. dag som funktion af udetemperaturerne (fra DMI)

I figur 4.9 ses kontinuerte målinger af differenstrykket. Disse målinger er foretaget med en tidsopløsning på 15 minutter, men i figuren ses beregnede daglige gennemsnitlige differenstryk. I figur 4.9 ses disse gennemsnitlige differenstryk som funktion af udetemperaturer fra DMI.

Som det ses er der en rimelig lineær sammenhæng mellem udetemperaturerne og differenstrykkene. På figuren ses en tendenslinie for differenstrykket. Denne tendenslinie er ekstrapoleret til  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ . På den måde fremkommer et differenstryk på ca.  $4,2\text{ m}$  ved en udetemperatur på  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Differenstrykket er i dette tilfælde målt over anlægget.



Figur 4.10. Kv-værdier pr. dag som funktion af udetemperaturene (fra DMI)



## 4.7 Generelt vedr. pumpe og varmesystem

I projektet er fundet en række tankevækkende resultater:

1. Flowene varierer meget mindre end forventet. Dette betyder reelt, at hvis en ikke reguleret pumpe uden tab i frekvensomformer blev tilpasset ideelt til flowene ville denne løsning give det laveste elforbrug. Ved eksperimentet med hævet fremløbstemperatur, se side xxx fandtes et væsentligt forøget energiforbrug, som ikke kunne tages af termostaterne. Det vides at en radiator + en termostat testet i en testrig virker aldeles udmærket, selvom der er tale om en simpel proportionalregulator. Det må derfor være måden som brugerne indstiller deres anlæg på og også den måde brugerne agerer på ved stigende rumtemperatur, der er årsagen til både anlæggets uventede opførsel og til det stigende energiforbrug. Anvendelse af varmefordelingsmålere på radiatorerne, der også influerer på brugernes opførsel spiller også en rolle. Hvis kun nogle af radiatorerne er åbne må de øvrige være meget åbne og termostaten vil derfor få et stort proportionalbånd. Det modstridende forhold er, at en høj fremløbstemperatur giver et lille proportional bånd, hvis alle radiatorer er åbne, men jo samtidigt er et potentiale for et alvorligt merforbrug af energi i ejendommen. Projektet kan ikke anvise en endelig løsning på dette problem. Det er projektgruppens opfattelse, at der ligger et betydeligt endnu ikke udnyttet energisparepotentiale i driftsoptimering af varmeanlæg i ejendomme med mange lejligheder, men at der stadig er en række forhold, der burde undersøges, hvis potentialet skal udnyttes helt.
2. Proportionalregulering af pumper. Det er ikke i alle tilfælde at proportionalreguleringen har vist sig aktiv i anlæggene. Proportionalreguleringen virker sådan, at pumpens tryk stiger ved faldende specifik modstand i anlægget. Denne reguleringsform indeholder selvsagt en mulighed for at blive ustabil. Dette gælder specielt, hvis anlægget indeholder hydraulisk aktive elementer. Et eksempel er kontraventilen i shunten, der som regel anvendes ved blandesløjfer i direkte fjernvarmeanlæg. Tryktabet i denne gør reguleringsventilens trykfaldsandel mindre (det er en almindelig fejl at vælge kontraventilen for lille). Hvis der vælges en fjederbelastet kontraventil med et åbningstryk vil dette kunne give en meget uheldig virkning på pumpens proportionalregulering. Dynamiske indreguleringsventiler kan også påvirke pumpen, men der kan – afhængig af reguleringsprincipperne - både være tale om et gunstigt og et ugunstigt samspil.

## 5. Excel-værktøj (flowdiagram & anvendelse)

På baggrund af målingerne på de fire centralvarmeanlæg og deraf følgende udvikling af modeller for flow og differenstræk er der udviklet et Excel-værktøj til dimensionering af pumper. Programmet indeholder først en startside med tre trin. Disse trin beskrives nedenfor.

### 5.1 Dimensionering af pumper trin 1 til 3

I trin 1 skal metoden til beregning af det dimensionerende flow og differenstræk vælges. Der kan, som det ses i figur 5.1, vælges to metoder.

Den første metode går ud på at foretage en spotmåling af fremløbs- og returtemperaturen på anlægget samt udetemperaturen.

Den anden metode går ud på at anvende en driftsjournal, som indeholder månedlige registreringer af fremløbs- og returtemperaturen på anlægget, udetemperaturen, evt. differenstrækket over pumpen eller anlægget samt varmekonsumet.

Velkommen til dimensioneringsprogram for pumper

TEKNOLOGISK INSTITUT

Trin 1

Sæt kryds hvis ja (kun et)

Er der foretaget spotmålinger af fremløbtemp., returtemp. udetemp. på anlægget?  Gå til spotmåling

Føres der en driftsjournal for anlægget?  Gå til driftsjournal

Figur 5.1. Trin 1 ved dimensionering af pumper

I trin 2 er det første der skal vælges, om det kun er det årlige varme forbrug der findes til bestemmelse af det dimensionerende flow og differenstræk eller om der også findes manometre på anlægget til bestemmelse af differenstrækket over pumpen. Dette ses i figur 5.2.

I trin 2 skal, som det ses i figur 5.2, der tages stilling til om bygningen er vindfølsom. Som nævnt i afsnit 3.5.2 bliver der, for vindfølsomme bygninger, anvendt et maks. time tal på 2.800 ved beregning af det dimensionerende varmetab og dermed det dimensionerende flow.

Der skal vælges om varmeanlægget er et et-strengs eller et to-strengs anlæg. Dette har betydning for hvorledes flowet i varmeanlægget varierer over året.

Der skal vælges om varmekurven optimeret, dvs. lavest muligt. Dette har betydning for beregningen af det dimensionerende flow.

Der skal vælges om det påtænkes at montere strengreguleringsventiler i varmeanlægget. Dette har betydning for beregningen af det dimensionerende differenstræk.

Der skal vælges om varmeanlægget er bestykket med varmeveksler.

Endelig skal der vælges hvorledes pumpen reguleres samt om pumpen slukkes i sommerperioden - f.eks. når udetemperaturen kommer over 20 °C.

**Trin 2** Sæt kryds hvis ja (kun et)

Findes kun årsforbruget til bestemmelse af flowet	<input checked="" type="checkbox"/>	Gå til beregning ud fra årsforbrug
Findes der manometre på anlægget til bestemmelse af differenstrykket over pumpen?	<input type="checkbox"/>	Gå til beregning ud fra målt tryk
Er bygningen vindfølsom (sæt kryds hvis ja)	<input type="checkbox"/>	
Er varmeanlægget et etstrengs eller tostrengsanlæg	<input type="text" value="To streng"/>	
Er varmekurven optimeret, dvs lavest muligt (sæt kryds hvis ja)	<input checked="" type="checkbox"/>	
Påtænkes anlægget monteret med strengregulering (sæt kryds hvis ja)	<input type="checkbox"/>	
Varmereksler (sæt kryds hvis ja)	<input checked="" type="checkbox"/>	
Hvorledes reguleres pumpen?	<input type="text" value="Ureguleret"/>	
Slukker pumpen i sommerperioden - f.eks. når udetemperaturen kommer over 20 °C (sæt kryds hvis ja)	<input type="checkbox"/>	

Figur 5.2. Trin 2 ved dimensionering af pumper

I trin 3 kan man gå til en energiberegner, hvor man ved at indtaste differenstryk og effektoptag ved forskellige flow kan få beregnet el-besparelsen ved udskiftning af den eksisterende pumpe. Dette ses i figur 5.3.

**Trin 3**

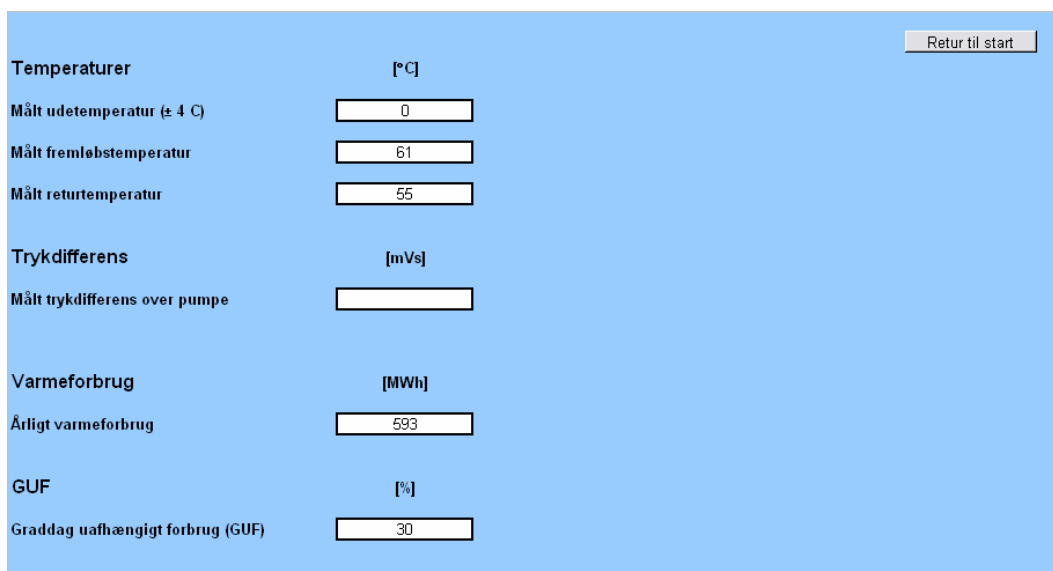
Beregn elbesparelsen ved udskiftning af den eksisterende pumpe Gå til energiberegner

Figur 5.3. Trin 3 ved dimensionering af pumper

## 5.2 Spotmåling

Metoden med at foretage en spotmåling går, som tidligere nævnt, ud på at foretage en øjebliksmåling af fremløbs- og returtemperaturen på anlægget samt udetemperaturen. Dataene i figur 5.5 er leveret af AKB, Hedemarken.

Denne metode er enkel at anvende men giver, som et eksempel senere i afsnittet viser, anledning til en relativ stor afvigelse i forhold til det faktiske dimensionerende flow og differenstryk.



The image shows a data input form with a light blue background. In the top right corner, there is a button labeled "Retur til start". The form is organized into sections with headers and units, followed by input fields. The data entered in the fields is as follows:

Temperaturer	[°C]
Målt udetemperatur ( $\pm 4$ C)	0
Målt fremløbstemperatur	61
Målt returtemperatur	55

Trykdifferens	[mVs]
Målt trykdifferens over pumpe	

Varmeforbrug	[MWh]
Årligt varmförbruk	593

GUF	[%]
Graddag uafhængigt forbrug (GUF)	30

Figur 5.4. Datainput ved anvendelse af spotmåling

## 5.3 Driftsjournal

Metode med at anvende en driftsjournal går ud på at foretage månedlige registreringer (øjebliksmåling) af fremløbs- og returtemperaturen på anlægget, udetemperaturen, evt. differenstrykket over pumpen eller anlægget samt varmemeforbruget. Dataene i figur 5.5 er leveret af AKB, Hedemarken.

Denne metode er ligeledes enkel at anvende men giver, som et eksempel senere i afsnittet viser, anledning til en relativ stor afvigelse i forhold til det faktiske dimensionerende flow og differenstryk.

	Udetemperatur [°C]	Fremløbtemp. [°C]	Returtemp. [°C]	Afkøling [°C]	Trykdifferens [mVs]	Varmeforbrug (måned) [MWh]
Januar	1	62	54,3	7,7		87
Februar	0,7	64	54	10		77
Marts	4	59	53	6		98
April	7,7	54	48,7	5,3		53
Maj	16,3	39,3	35,3	4		36
Juni	19,7	30,3	28,7	1,6		18
Juli	26,3	32,7	32,3	0,4		13
August	19	36,5	29	7,5		14
September	19	38,7	38,7	0		20
Oktober	11,8	47,3	45,3	2		41
November	7	55,5	51,5	4		48
December	3	59	53,7	5,3		88
Dimesionerende	-12	80	70	11	0	593,0

[Retur til start](#)

Figur 5.5. Datainput ved anvendelse af driftsjournal

## 5.4 Beregning ud fra årsforbrug

### 5.4.1 Anvendelse af spotmåling

Ved beregning ud fra årsforbrug og anvendelse af spotmåling foretages der en række beregninger i værktøjet, på baggrund af indtastningerne i trin 1 og 2 samt indtastningsfelterne til spotmåling.

Det eneste brugeren skal indtaste er varmevekslerens differenstræk efter mærkepladen eller Kv-værdien for kontraventil eller blandeventil på anlægssiden. Brugeren skal endvidere indtaste dimensionen af røret til pumpen samt summen af zeta værdier for modstande i rørsystemet (bøjninger, afgreninger m.m.)

Herefter bliver det endelige dimensionerende driftspunkt og det typiske driftspunkt beregnet. Disse beregninger ses nederst i figur 5.6.

Metode til måling/registrering af temperaturer og varmekonsum	<input type="text" value="Spotmåling"/>	<input type="button" value="Retur til start"/>
Målt udetemperatur ( $\pm 4$ °C)	<input type="text" value="0"/>	°C
Målt fremløbstemperatur	<input type="text" value="61"/>	°C
Målt returtemperatur	<input type="text" value="55"/>	°C
Fremløb = 20 ved udetemperatur =	<input type="text" value="27"/>	°C
Frem ved -12	<input type="text" value="79"/>	°C
Effektivitet	<input type="text" value="0,15"/>	
Retur ved -12	<input type="text" value="71"/>	°C
Afkøling ved -12	<input type="text" value="9"/>	°K
Flowvariation %	<input type="text" value="25"/>	%
Er varmekurven optimeret, dvs lavest muligt	<input type="text" value="Ja"/>	
På tankens anlæg monteret med strengregulering	<input type="text" value="Nej"/>	
Årligt varmebehov MWh totalt	<input type="text" value="593"/>	MWh
GUF	<input type="text" value="30,0"/>	%
Er bygningen vindfølsom (sæt kryds hvis ja)	<input type="text" value="Nej"/>	
Maxtimer	<input type="text" value="2600"/>	h
Maxeffekt kW	<input type="text" value="160"/>	kW
Et streng / to streng	<input type="text" value="To streng"/>	
Varmevæksler	<input type="text" value="Ja"/>	
Dimensioneret flow v/-12	<input type="text" value="15,9"/>	m <sup>3</sup> /h
Tryktab over anlæg v/-12	<input type="text" value="1,8"/>	mVs

Varmeveksler flow anlægsside efter mærkeplade	8	m <sup>3</sup> /h
Varmeveksler differenstryk anlægsside efter mærkeplade	0,2	mVs
eller		
K <sub>v</sub> værdi for kontraventil eller blandeventil på anlægssiden		m <sup>3</sup> /h v./1 bar
Tryktab veksler eller ventil	0,20	mVs
Dimension af rør til pumpe (indvendig diameter)	70,0	mm
Hastighed	1,1	m/s
P <sub>dyn</sub>	0,065	mVs
Sum zeta	2	
Tryktab enkeltmodstande	0,130	
Endelig dimensionering	15,9	Flow m <sup>3</sup> /h
	2,1	DP mVS
Typisk driftpunkt	13,9	Flow m <sup>3</sup> /h
	1,9	DP mVS

Figur 5.6. Beregning udfra årsforbrug og spotmåling

## 5.4.2 Anvendelse af driftsjournal

Ved beregning ud fra årsforbrug og anvendelse af driftsjournal foretages der en række beregninger i værktøjet, på baggrund af indtastningerne i trin 1 og 2 samt indtastningsfelterne til driftsjournal.

Proceduren for at få beregnet det dimensionerende driftspunkt og det typiske driftspunkt er herefter den samme som beskrevet i afsnit 5.4.1.

Metode til måling/registrering af temperaturer og varmeforbrug	<input type="text" value="Driftsjournal"/>	<input type="button" value="Retur til start"/>
Målt udetemperatur ( $\pm 4$ °C)	<input type="text"/>	°C
Målt fremløbstemperatur	<input type="text"/>	°C
Målt returtemperatur	<input type="text"/>	°C
Fremløb = 20 ved udetemperatur =	<input type="text"/>	°C
Frem ved -12	<input type="text" value="80"/>	°C
Effektivitet	<input type="text"/>	
Retur ved -12	<input type="text" value="70"/>	°C
Afkøling ved -12	<input type="text" value="11"/>	°K
Flowvariation %	<input type="text" value="25"/>	%
Er varmekurven optimeret, dvs lavest muligt	<input type="text" value="Ja"/>	
På tænk anlægget monteret med strengregulering	<input type="text" value="Nej"/>	
Årligt varmebehov MWh totalt	<input type="text" value="593"/>	MWh
GUF	<input type="text" value="30,4"/>	%
Er bygningen vindfølsom (sæt kryds hvis ja)	<input type="text" value="Nej"/>	
Maxtimer	<input type="text" value="2600"/>	h
Maxeffekt kW	<input type="text" value="159"/>	kW
Et streng / to streng	<input type="text" value="To streng"/>	
Varmeveksler	<input type="text" value="Ja"/>	
Dimensioneret flow v/-12	<input type="text" value="13,0"/>	m <sup>3</sup> /h
Tryktab over anlæg v/ -12	<input type="text" value="1,8"/>	mVs



Varmeveksler flow anlægsside efter mærkeplade	8	m <sup>3</sup> /h
Varmeveksler differenstryk anlægsside efter mærkeplade	0,2	mVs
eller		
K <sub>v</sub> værdi for kontraventil eller blandeventil på anlægssiden		m <sup>3</sup> /h v./1 bar
Tryktab veksler eller ventil	0,20	mVs
Dimension af rør til pumpe (indvendig diameter)	70,0	mm
Hastighed	0,9	m/s
P <sub>dyn</sub>	0,044	mVs
Sum zeta	2	
Tryktab enkeltmodstande	0,087	
Endelig dimensionering	13,0	Flow m <sup>3</sup> /h
	2,1	DP mVS
Typisk driftpunkt	11,4	Flow m <sup>3</sup> /h
	1,8	DP mVS

Figur 5.7. Beregning udfra årsforbrug og driftsjournal

I figur 5.6 ses at anvendelsen af spotmålingen medfører et dimensionerende flow og differenstryk på henholdsvis 15,9 m<sup>3</sup>/h og 2,2 m.

I figur 5.7 ses at anvendelsen af en driftsjournal medfører et dimensionerende flow og differenstryk på henholdsvis 13,0 m<sup>3</sup>/h og 2,2 m.

I afsnit 3.3.2 og 4.3 blev beregnet et dimensionerende flow og differenstryk på henholdsvis 9,5 m<sup>3</sup>/h og 2,2 m. Det dimensionerende flow og differenstryk passede fint med det målte.

Det dimensionerende flow, som er beregnet vha. spotmålingen, afviger således ca. 67 % fra det sande dimensionerende flow mens det dimensionerende flow, som er beregnet vha. driftsjournalen, afviger ca. 37 % fra det sande dimensionerende flow.

Det dimensionerende differenstryk beregnet vha. det to metoder passer, som det ses, fint med det sande differenstryk.

## 5.5 Beregning ud fra målt tryk

Fremgangsmåden ved beregning ud fra målt tryk er stort set magen til fremgangsmåden ved beregning ud fra årsforbrug. Den eneste forskel er, at der, i skemaet vedr. spotmåling og skemaet ved driftsjournal, skal angives målte differenstryk over pumpen. Ved spotmåling skal angives et differenstryk over pumpen der er samhörørende med fremløbs- og returtemperaturen samt udetemperaturen. Ved anvendelse af driftsjournal skal differensstrykket angives pr. måned.

I figur 5.8 og 5.9 ses beregninger i Excel-værktøjet ved en spotmåling og ved anvendelse af en driftsjournal.

### 5.5.1 Anvendelse af spotmåling

Metode til måling/registrering af temperaturer og varmekonsum	<input type="button" value="Spotmåling"/>	<input type="button" value="Retur til start"/>
Målt udetemperatur ( $\pm 4$ °C)	<input type="text" value="0"/>	°C
Målt fremløbstemperatur	<input type="text" value="61"/>	°C
Målt returtemperatur	<input type="text" value="55"/>	°C
Fremløb = 20 ved udetemperatur =	<input type="text" value="27"/>	°C
Frem ved -12	<input type="text" value="79"/>	°C
Effektivitet	<input type="text" value="0,15"/>	
Retur ved -12	<input type="text" value="71"/>	°C
Afkøling ved -12	<input type="text" value="9"/>	°K
Flowvariation %	<input type="text" value="25"/>	%
Er varmekurven optimeret, dvs lavest muligt (sæt kryds hvis ja)	<input type="text" value="Ja"/>	
På tænk anlægget monteret med strengregulering (sæt kryds hvis ja)	<input type="text" value="Nej"/>	
Årligt varmebehov MWh totalt	<input type="text" value="593"/>	MWh
GUF	<input type="text" value="30,0"/>	%
Er bygningen vindfølsom (sæt kryds hvis ja)	<input type="text" value="Nej"/>	
Maxtimer	<input type="text" value="2600"/>	h
Maxeffekt kW	<input type="text" value="160"/>	kW
Et streng / to streng	<input type="text" value="To streng"/>	
Varmevæksler (sæt kryds hvis ja)	<input type="text" value="Ja"/>	
Dimensioneret flow v/-12 °C	<input type="text" value="15,9"/>	m <sup>3</sup> /h
Tryktab over pumpe målt på stedet	<input type="text" value="2,40"/>	mVs

Dimensioneret flow v/-12 °C	15,9	m <sup>3</sup> /h
Tryktab over pumpe v/-12 °C	2,70	mVs
Tryktab over varmeanlæg	2,4	mVs
Varmeveksler flow anlægsside efter mærkeplade	8	m <sup>3</sup> /h
Varmeveksler differenstryk anlægsside efter mærkeplade	0,2	mVs
eller		
K <sub>v</sub> værdi for kontraventil eller blandeventil på anlægssiden		m <sup>3</sup> /h v./1 bar
Tryktab veksler eller ventil	0,20	mVs
Dimension af rør til pumpe (indvendig diameter)	70,0	mm
Hastighed	1,1	m/s
P <sub>dyn</sub>	0,065	mVs
Sum zeta	2	
Tryktab enkeltmodstande	0,130	

Figur 5.8. Beregning ufra årsforbrug og spotmåling

## 5.5.2 Anvendelse af driftsjournal

Metode til måling/registrering af temperaturer og varmeforbrug	<input type="text" value="Driftsjournal"/>	<input type="button" value="Retur til start"/>
Målt udetemperatur ( $\pm 4$ °C)	<input type="text" value="-12"/>	°C
Målt fremløbstemperatur	<input type="text"/>	°C
Målt returtemperatur	<input type="text"/>	°C
Fremløb = 20 ved udetemperatur =	<input type="text"/>	°C
Frem ved -12	<input type="text" value="80"/>	°C
Effektivitet	<input type="text"/>	
Retur ved -12	<input type="text" value="70"/>	°C
Afkøling ved -12	<input type="text" value="11"/>	°K
Flowvariation %	<input type="text" value="25"/>	%
Er varmekurven optimeret, dvs lavest muligt (sæt kryds hvis ja)	<input type="text" value="Ja"/>	
Påtænkes anlægget monteret med strengregulering (sæt kryds hvis ja)	<input type="text" value="Nej"/>	
Årligt varmebehov MWh totalt	<input type="text" value="593"/>	MWh
GUF	<input type="text" value="30,4"/>	%
Er bygningen vindfølsom (sæt kryds hvis ja)	<input type="text" value="Nej"/>	
Maxtimer	<input type="text" value="2600"/>	h
Maxeffekt kW	<input type="text" value="159"/>	kW
Et streng / to streng	<input type="text" value="To streng"/>	
Varmeveksler (sæt kryds hvis ja)	<input type="text" value="Ja"/>	
Dimensioneret flow ved -12 °C	<input type="text" value="13,0"/>	m <sup>3</sup> /h
Tryktab over pumpe målt på stedet	<input type="text" value="2,67"/>	mVs

Dimensioneret flow v/-12 °C	13,0	m <sup>3</sup> /h
Tryktab over pumpe v/-12 °C	2,67	mVs
Tryktab over varmeanlæg	2,4	mVs
Varmeveksler flow anlægsside efter mærkeplade	8	m <sup>3</sup> /h
Varmeveksler differenstryk anlægsside efter mærkeplade	0,2	mVs
eller		
K <sub>v</sub> værdi for kontraventil eller blandeventil på anlægssiden		m <sup>3</sup> /h v./1 bar
Tryktab veksler eller ventil	0,20	mVs
Dimension af rør til pumpe (indvendig diameter)	70,0	mm
Hastighed	0,9	m/s
P <sub>dyn</sub>	0,044	mVs
Sum zeta	2	
Tryktab enkeltmodstande	0,087	

Figur 5.9. Beregning uf fra årsforbrug og driftsjournal

## 5.6 Energiberegner

I energiberegneren foretages beregninger af elforbruget for den nuværende pumpe og en tilpasset pumpe. For at kunne foretage beregningen af elforbruget for den nuværende pumpe kræves, som det ses i figur 5.10, at reguleringsformen kendes samt information om hvorvidt pumpen slukkes i sommerperioden, dvs. månederne juni, juli og august.

I figur 5.10 ses, at det dimensionerende flow ved en udetemperatur på  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Endvidere ses 75, 50 og 25 % af dette flow. I figuren ses endvidere data for differenstræk og effektoptag ved disse fire flow. Det er data der skal skaffes fra eksempelvis et pumpediagram, der er vist i figur 5.11.

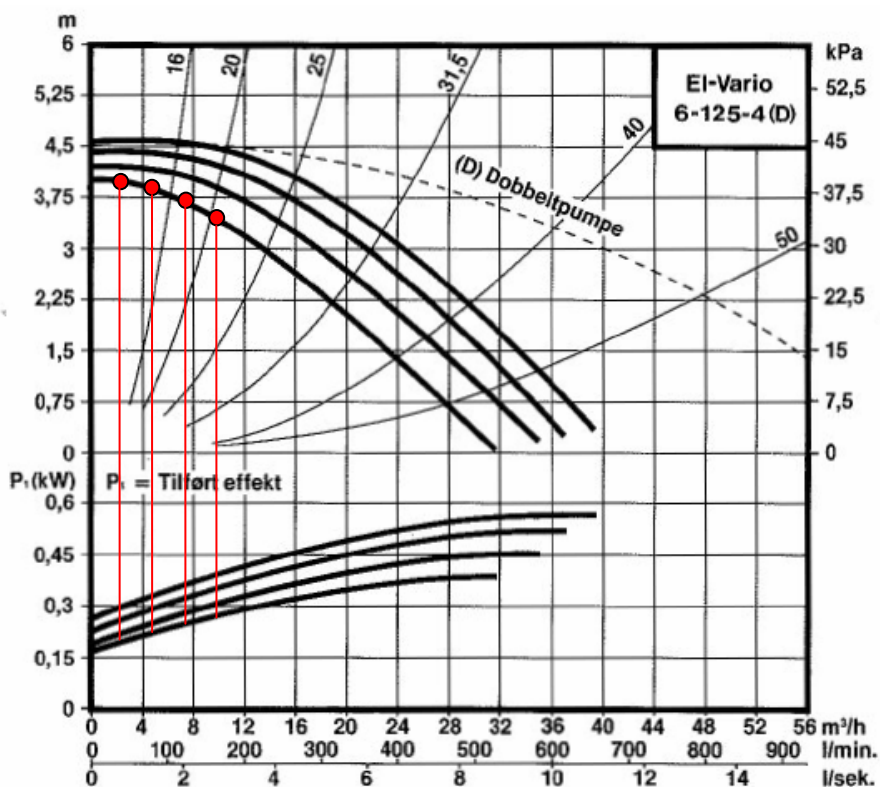
Differenstrækkene er udelukkende information/dokumentation mens effektoptagene benyttes til beregning af det årlige elforbrug.

I figur 5.10 ses samhørende værdier for flow, differenstræk og effektoptag for den eksisterende Smedegaard El-Vario 6-124-4 (D) pumpe. Dataene stammer fra et pumpediagram for pumpen, som ses på figur 5.11.

Metode til bestemmelse af flow	Beregning ud fra årsforbrug	Retur til start	
Reguleringsform	Ureguleret		
Slukker pumpen i sommerperioden	Nej		
Data for nuværende pumpe fra pumpediagram:	Flow [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	Tryk [ $\text{mVs}$ ]	El-Vario 6-125-4 Effektoptag [ $\text{W}$ ]
Pumpe ved 100 % flow	9,5	3,1	250
Pumpe ved 75 % flow	7,1	3,6	225
Pumpe ved 50 % flow	4,8	3,8	200
Pumpe ved 25 % flow	2,4	4	175
Elforbrug [ $\text{kWh}/\text{år}$ ]			
Nuværende elforbrug til pumpe	2041		

Figur 5.10. Data for nuværende pumpe fra pumpediagram

I figur 5.11 er de fire driftspunkter indtegnet. Pumpen kører, som det ses, på trin 4 (laveste trin).

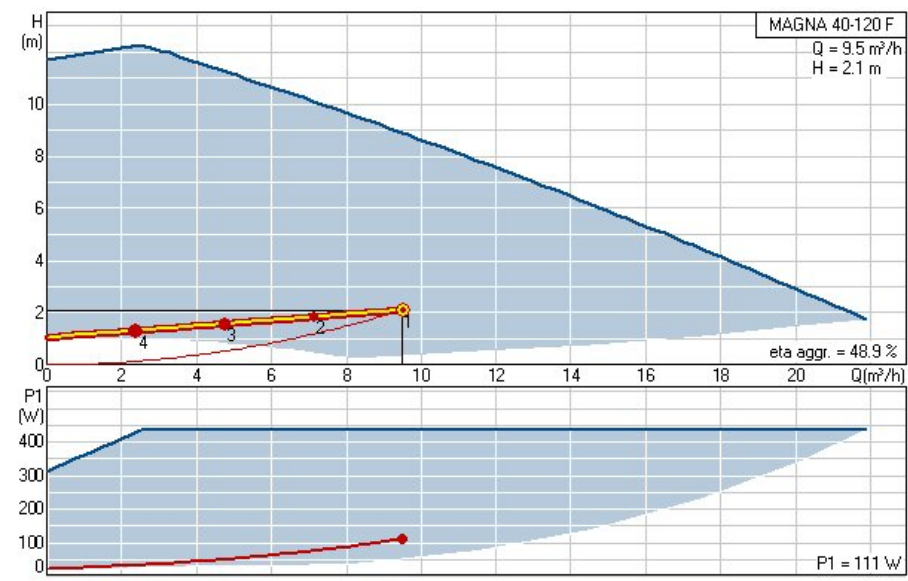


Figur 5.11. Pumpediagram for Smedegaard El-Vario 6-124-4 (D)

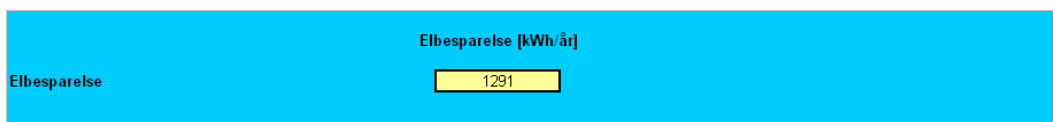
I figur 5.12 ses samhørende værdier for flow, differensstryk og effektoptag for den tilpassede Grundfos Magna 32-120 F pumpe. Dataene stammer fra et pumpediagram for pumpen, som ses på figur 5.13.

Data for tilpasset pumpe fra pumpediagram:			
Hvorledes skal den nye pumpe reguleres?	Regulering langs minimalkarakteristikken		Magna 40-120 F
	Flow [m³/h]	Tryk [mVs]	Effektoptag [W]
Pumpe ved 100 % flow	9,5	2,1	111
Pumpe ved 75 % flow	7,1	1,76	75
Pumpe ved 50 % flow	4,8	1,42	49
Pumpe ved 25 % flow	2,4	1,07	33
Elforbrug [kWh/år]			
Opnåeligt elforbrug til pumpe	750		

Figur 5.12. Data for tilpasset pumpe fra pumpediagram



Figur 5.13. Pumpediagram for Grundfos Magna 40-120 F



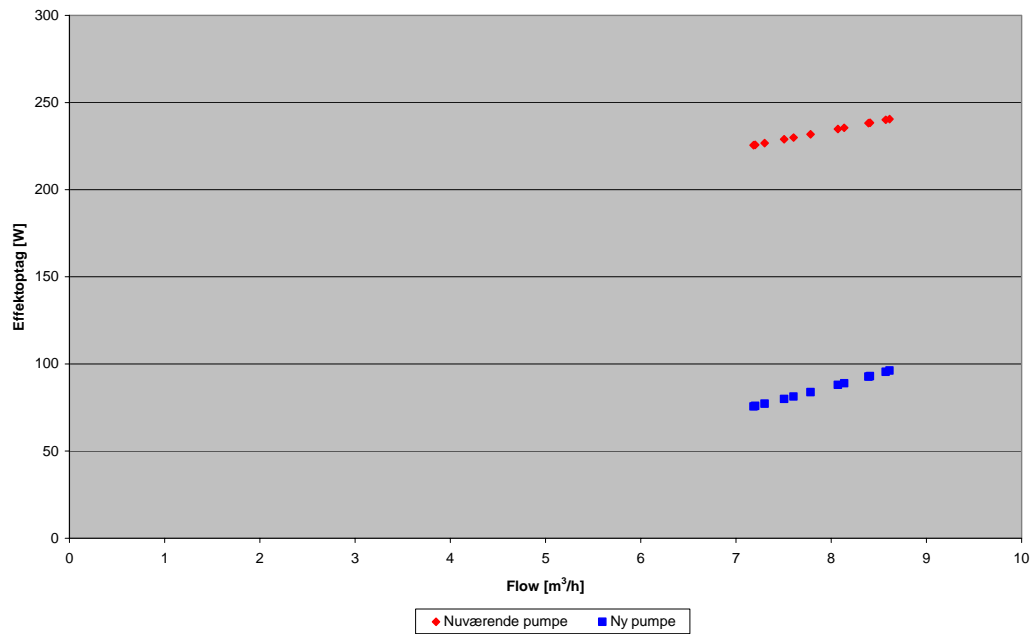
Figur 5.14. El-besparelse



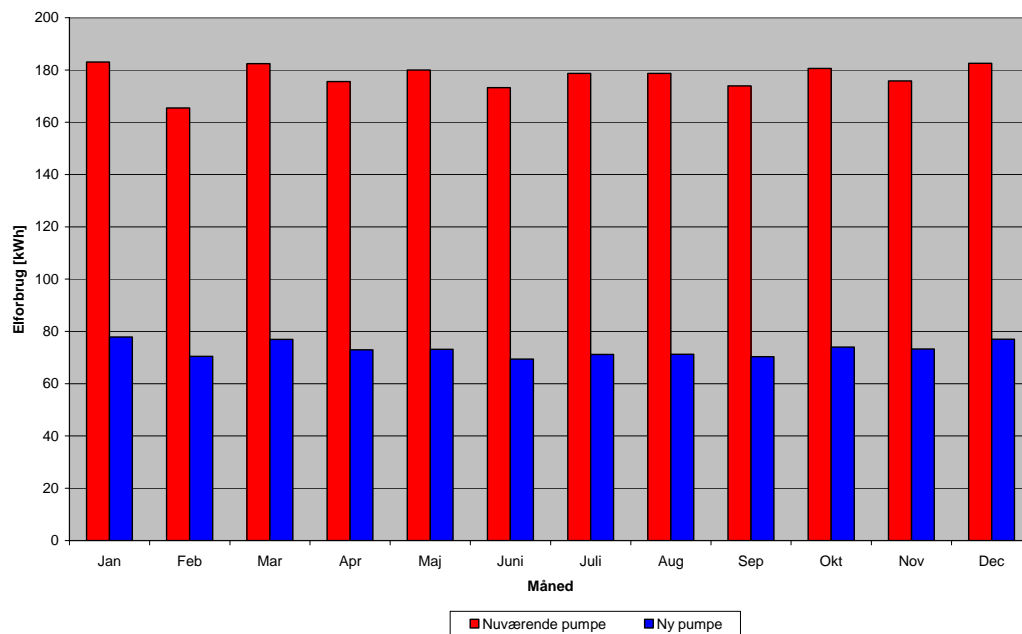
## 5.7 Diagrammer

I figur 5.15 ses effektoptag for den nuværende og den tilpassede pumpe i de driftspunkter pumpen vil køre over året. Som det ses er der markant forskel på effektoptagene for pumperne.

I figur 5.16 ses elforbrug pr. måned for for den nuværende og den tilpassede pumpe.



Figur 5.15. Effektoptag som funktion af flowet for den nuværende og den tilpassede pumpe



Figur 5.16. Elforbrug pr. måned for den nuværende og den tilpassede pumpe

## 6. Integration med pumpevalgsværktøjer HAAN/OTP

- Wilo - Select
- Grundfos - Wincaps
- Smedegaard – Online pumpevalgsprogram

I figur 6.1 ses driftspunkter for den tilpassede pumpe. Disse driftspunkter kommer fra energiberegneren i afsnit 5.6. Driftspunkterne er fundet ud fra den forudsætning af pumpen reguleres langs minimalkarakteristikken for anlægget. Det er en anlægskarakteristik der går gennem punktet  $(Q, H) = (0,1)$ . At den går gennem punktet  $(Q, H) = (0,1)$  skyldes, at differensstrykket aldrig må komme under 1 m pga. radiatortermostatventilerne.

Regulering langs minimalkarakteristikken	
Flow [m <sup>3</sup> /h]	Tryk [mVs]
9,5	2,1
7,1	1,76
4,8	1,42
2,4	1,07

Figur 6.1. Inddata til pumpevalgsprogrammer

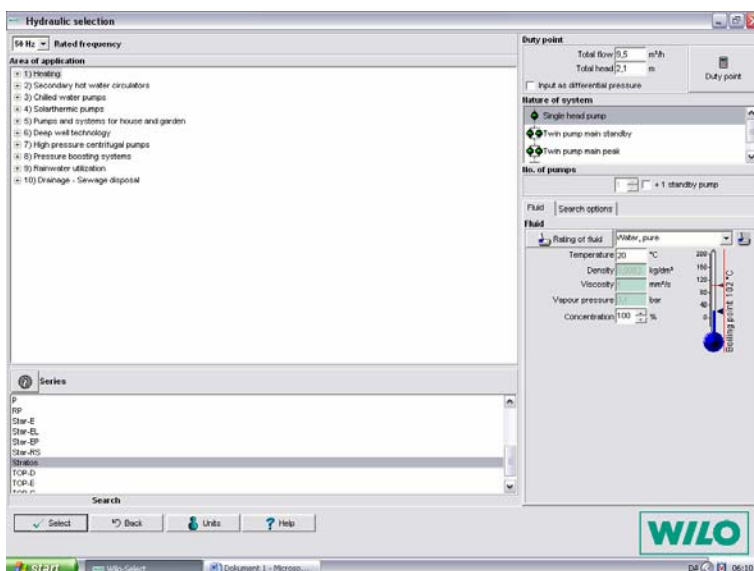
## 6.1 Wilo - Select

Når der skal vælges en tilpasset pumpe med Wilos pumpevalgsprogram Wilo-Select, skal der på startsideen klikkes på ”Hydraulic selection”.



Figur 6.2. Wilo – Select startbillede med ”Hydraulic selection”.

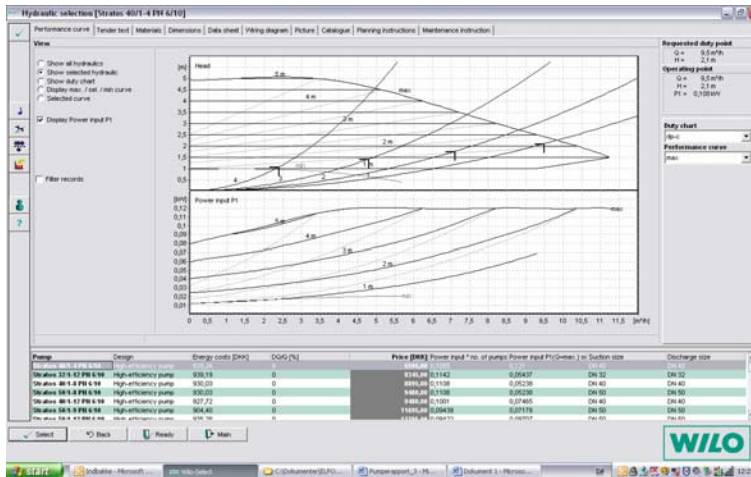
Herefter skal anvendelsen ”Area of application” vælges samt hvilken Wilo pumpe der ønskes anvendt i beregningen. I figur 6.3 ses, at der er valgt anvendelsen opvarmning ”Heating” og en Stratos pumpe. Det dimensionerende driftspunkt indtastes her. I dette tilfælde er det driftspunktet  $(Q, H) = (9,5, 2,1)$ .



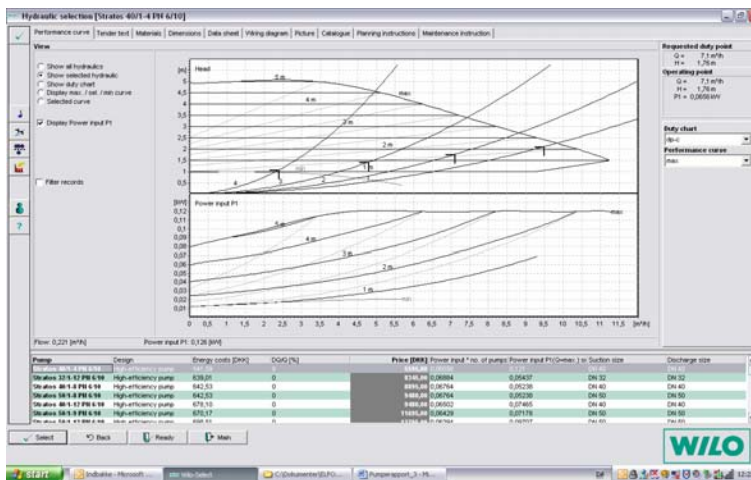
Figur 6.3. Wilo - Select

Når man klikker på vælg ”Select” angiver Wilo-Select hvilke pumper der kan vælges. Den mest energieffektive pumpe står øverst på listen af de pumper der kan vælges. I dette tilfælde er det en Stratos 40/1 pumpe. Pumpens effektoptag ved det dimensionerende driftspunkt angives. I dette tilfælde 0,108 kW.

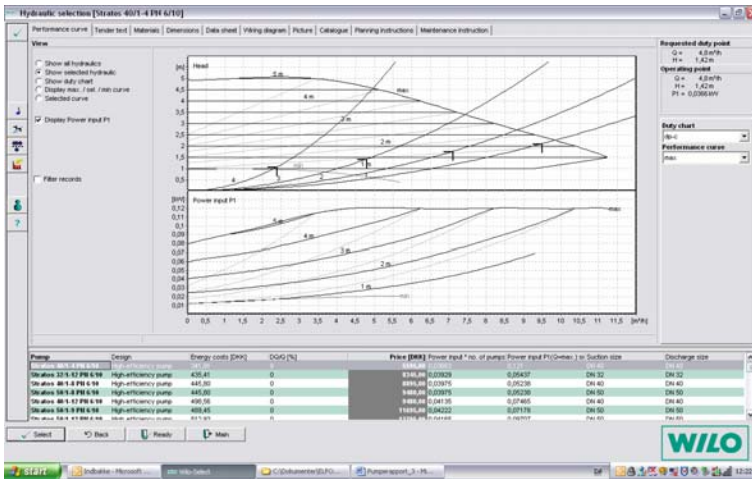
Til venstre i menuen kan der trykkes på en knap der hedder driftspunkt Duty point. Her kan driftspunkterne ved 75, 50 og 25 % flow samt de dertil hørende differenstryk indtastes. Disse driftspunkter samt effektoptagene ses i figur 6.5 til 6.7. Disse effektoptag indtastes i Excel-værktøjets energiberegner.



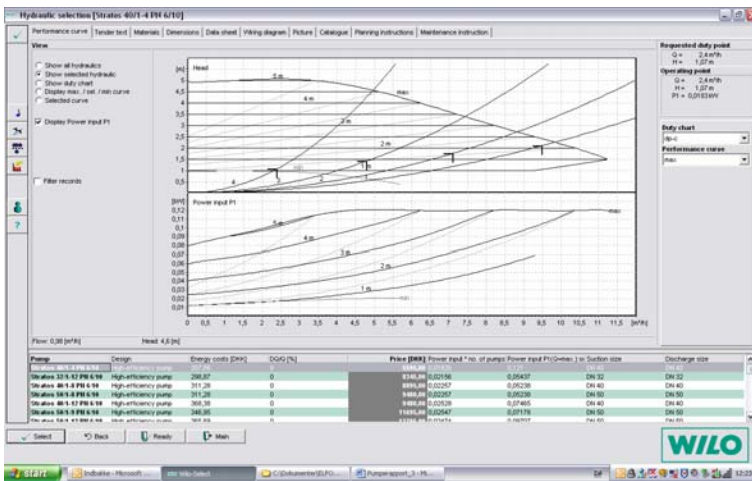
Figur 6.4. Wilo – Select. Dimensionerende driftspunkt.



Figur 6.5. Wilo – Select. 75 % flow og dertil hørende differenstryk samt effektoptag.



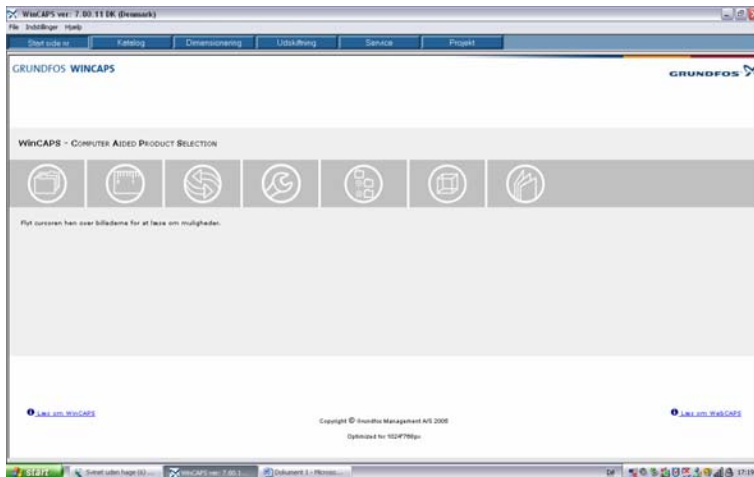
Figur 6.6. Wilo – Select. 50 % flow og dertil hørende differensstryk samt effektoptag.



Figur 6.7. Wilo – Select. 25 % flow og dertil hørende differensstryk samt effektoptag.

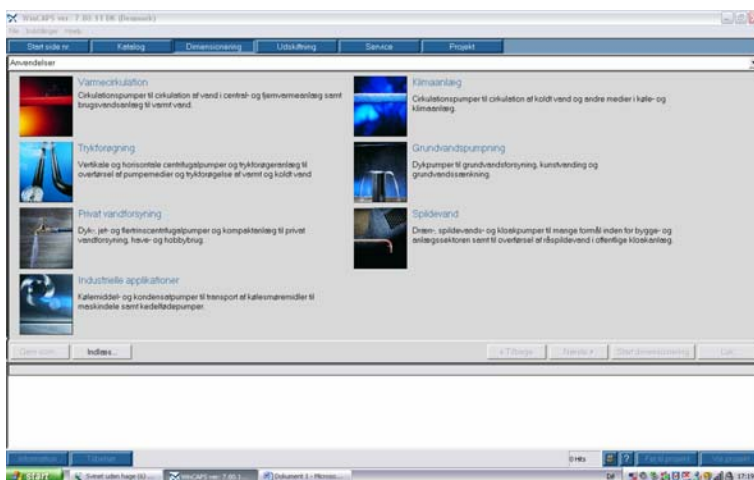
## 6.2 Grundfos - Wincaps

Når der skal vælges en tilpasset pumpe med Grundfos's pumpevalgsprogram Wincaps, skal der på startsiden klikkes på "Dimensionering".



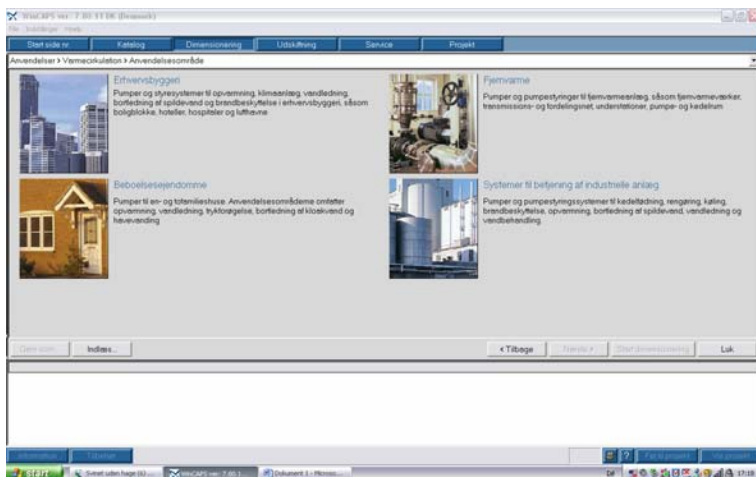
Figur 6.8. Grundfos – Wincaps. Valg af dimensionering.

Herefter skal anvendelsen "Varmecirkulation" vælges.



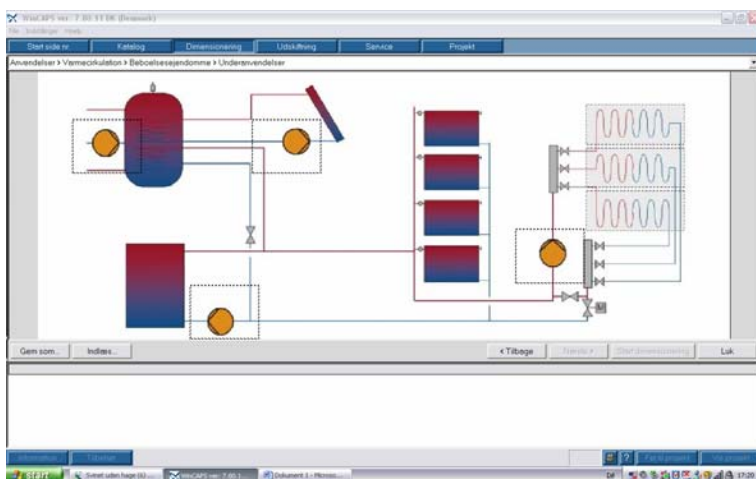
Figur 6.9. Grundfos – Wincaps. Valg af anvendelse.

Herefter skal anvendelsesområdet "Beboelsesejendomme" vælges.



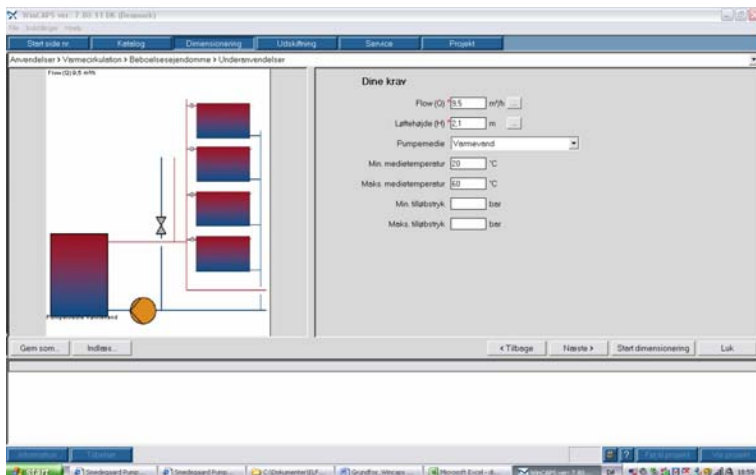
Figur 6.10. Grundfos – Wincaps. Valg af anvendelsesområde.

Herefter skal underanvendelsen "Hovedcirkulationspumpe" vælges. Det er pumpen nederst til venstre på figur 6.11.



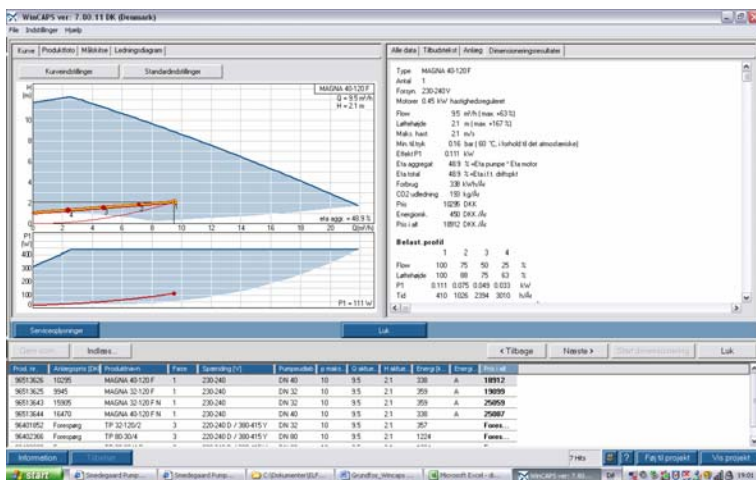
Figur 6.11. Grundfos – Wincaps. Valg af underanvendelse.

I skærbilledet ”Underanvendelse” indtastes det dimensionerende driftspunkt. I dette tilfælde er det driftspunktet (Q, H) = (9,5, 2,1).



Figur 6.12. Grundfos – Wincaps. Indtastning af dimensionerende driftspunkt.

Når man klikker på ”Start dimensionering” angiver Wincaps hvilke pumper der kan vælges. Den mest energieffektive pumpe står øverst på listen af de pumper der kan vælges. I dette tilfælde er det en Magna 40-120 F pumpe. Pumpens effektoptag ved det dimensionerende driftspunkt angives. I dette tilfælde 111 W.

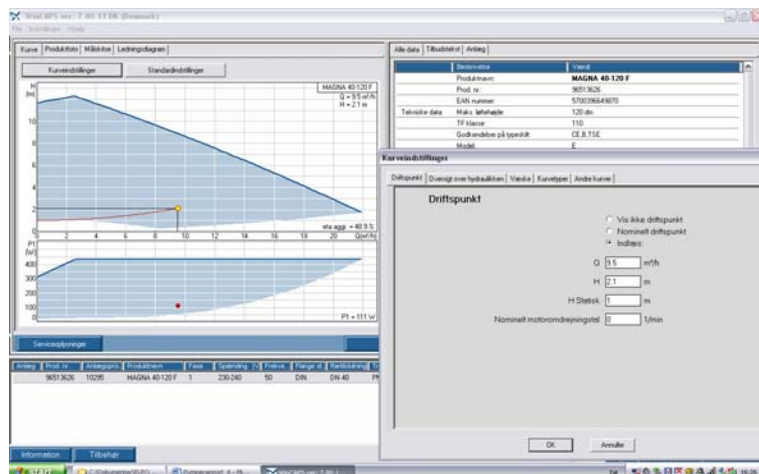


Figur 6.13. Grundfos – Wincaps. Valg af pumpe med angivelse af dimensionerende driftspunkt.

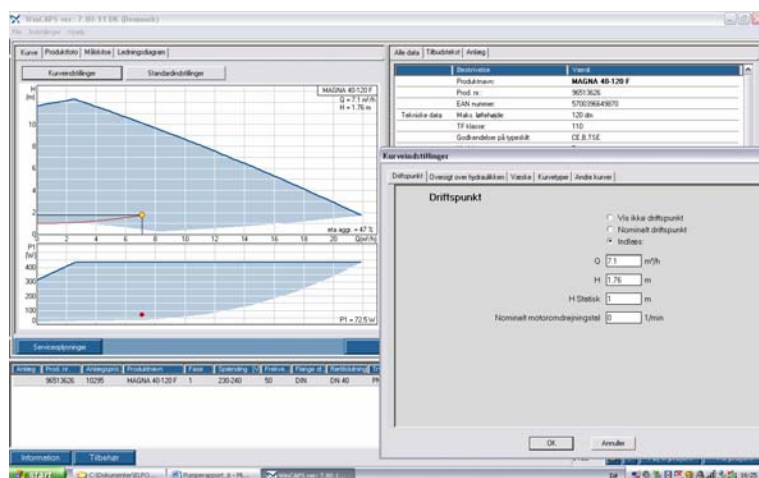


For at indtaste driftspunkter ved 75, 50 og 25 % flow samt de dertil hørende differenstryk, skal der på startsiden klikkes på ”Katalog”. Her vælger man så den pumpe der blev fundet ved dimensioneringen.

Ved at klikke på knappen ”Kurveindstillinger” kan der, som det ses i figur 6.14 og 6.15 indtastes de ønskede driftspunkter. I 6.14 er det dimensionerende driftspunkt indtastet mens driftspunktet ved 75 % flow er indtastet i figur 6.15. På figurene ses disse driftspunkter samt effektoptagene. Disse effektoptag indtastes i Excel-værktøjets energiberegner.



Figur 6.14. Grundfos – Wincaps. Angivelse af dimensionerende driftspunkt.



Figur 6.15. Grundfos – Wincaps. 75 % flow og dertil hørende differenstryk samt effektoptag.

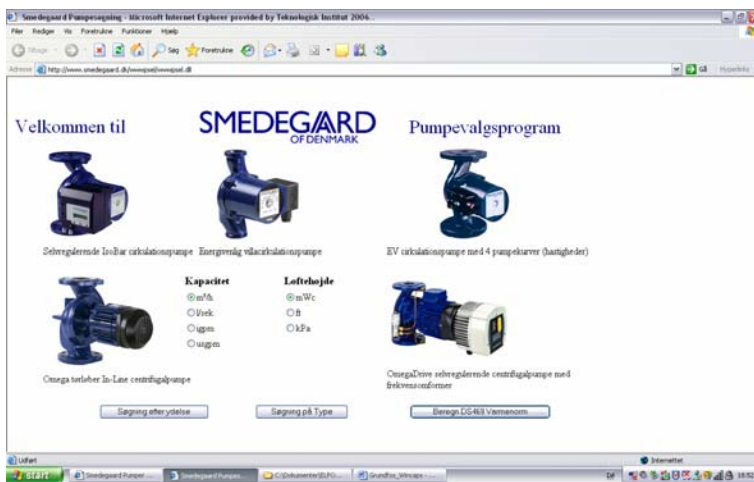
## 6.3 Smedegaard – Onlinepumpevalgsprogram

Smedegaards onlinepumpevalgsprogram ligger på deres hjemmeside, som det ses i figur 6.16.



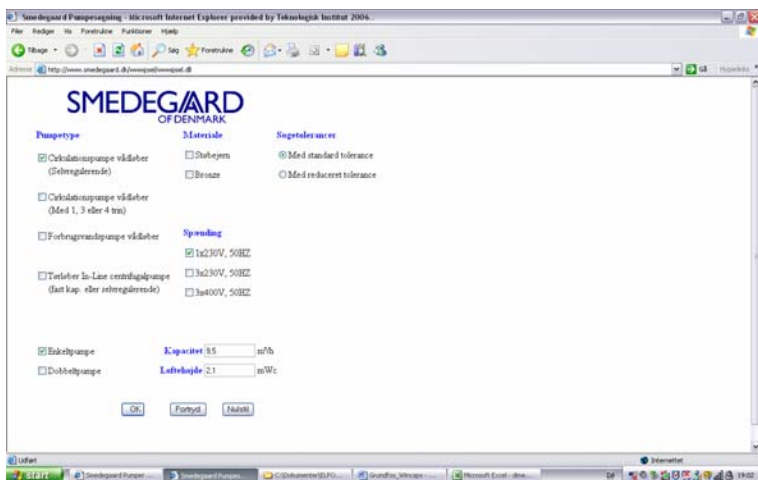
Figur 6.16. Smedegaard – Onlinepumpevalgsprogram

Når man kommer ind i programmet skal man klikke på knappen ”Søgning efter ydelse”



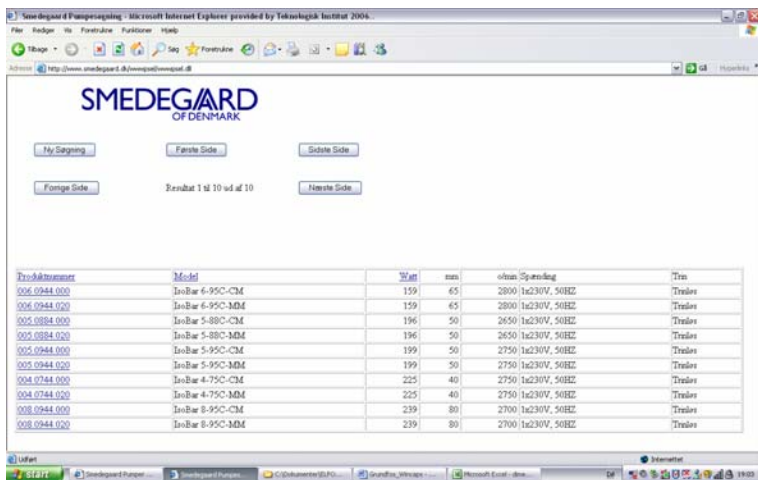
Figur 6.17. Smedegaard – Onlinepumpevalgsprogram

Når man har klikket på knappen ”Søgning efter ydelse” kommer der et billede frem hvor man skal vælge pumpe type. Her skal det dimensionerende driftspunkt endvidere indtastes. I dette tilfælde er der valgt en selvregulerende vådløber pumpe og det driftspunkt er valgt til (Q, H) = (9,5, 2,1).



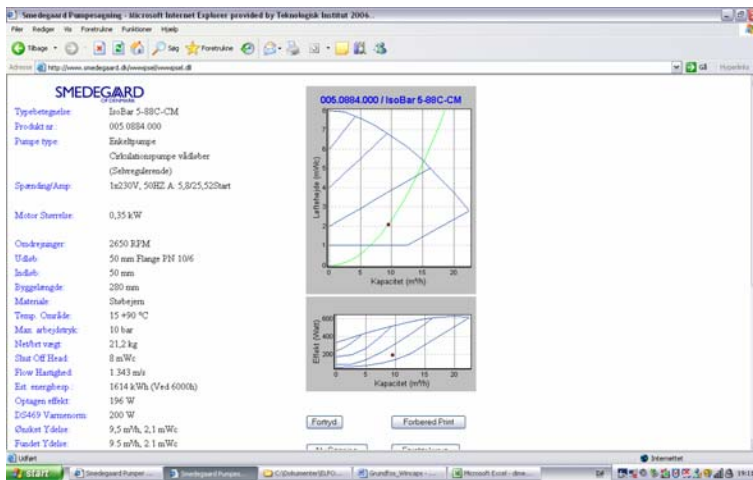
Figur 6.18. Smedegaard – Online pumpevalgsprogram

Når man klikker på ”Ok” angiver programmet hvilke pumper der kan vælges. Den mest energieffektive pumpe står øverst på listen af de pumper der kan vælges. I dette tilfælde er det en IsoBar 6-95C-CM pumpe. I dette tilfælde vælges dog en IsoBar 5-88C-CM pumpe.



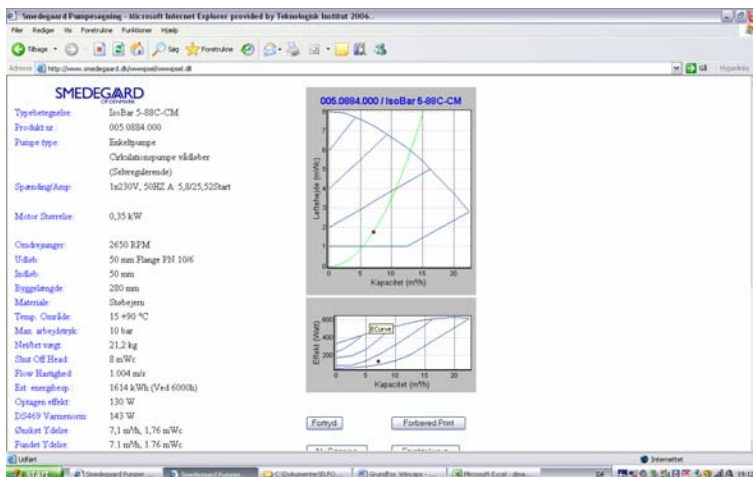
Figur 6.19. Smedegaard – Online pumpevalgsprogram

Når man klikker på ”Produktionsnummer” ud for den ønskede pumpe fremkommer billedet vist i figur 6.20. Her ses pumpeens dimensionerende driftspunkt samt effektoptaget. I dette tilfælde 196 W.



Figur 6.20. Smedegaard – Online pumpevalgsprogram

I figur ses driftspunktet og effektoptaget ved 75 % flow. Det findes ved igen at gå ind i billedet vist i figur 6.18-



Figur 6.21. Smedegaard – Online pumpevalgsprogram

Effektoptag som fremkommer ved at indtaste driftspunkter indtastes i Excel-værktøjets energiberegner.

## 7. Eksempler på anvendelse

### 7.1 Case VIBO

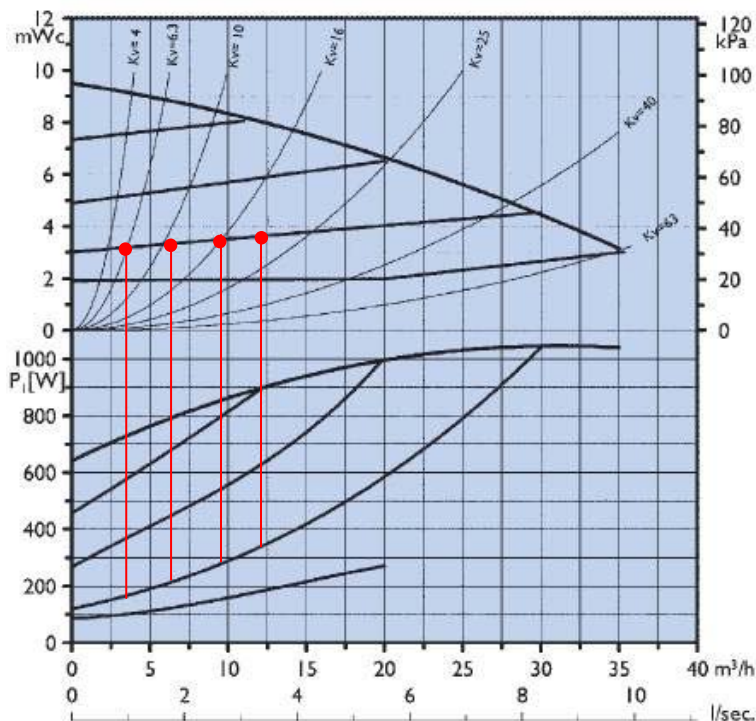
I figur 7.1 ses inddata til og uddata fra pumpediagram i Smedegaards katalog. Pumpediagrammet ses i figur 7.2. I pumpediagrammet er de fire driftspunkter indtegnet, ligesom der er tegnet linier ned fra disse driftspunkter til effektkurve.

Data for nuværende pumpe fra pumpediagram:			Isobar 6-95C-CM		
	Flow [m <sup>3</sup> /h]	Tryk [mVs]	Effektoptag [W]		
Pumpe ved 100 % flow	12,0	4	350		
Pumpe ved 75 % flow	9,0	3,5	280		
Pumpe ved 50 % flow	6,0	3,1	200		
Pumpe ved 25 % flow	3,0	3	170		

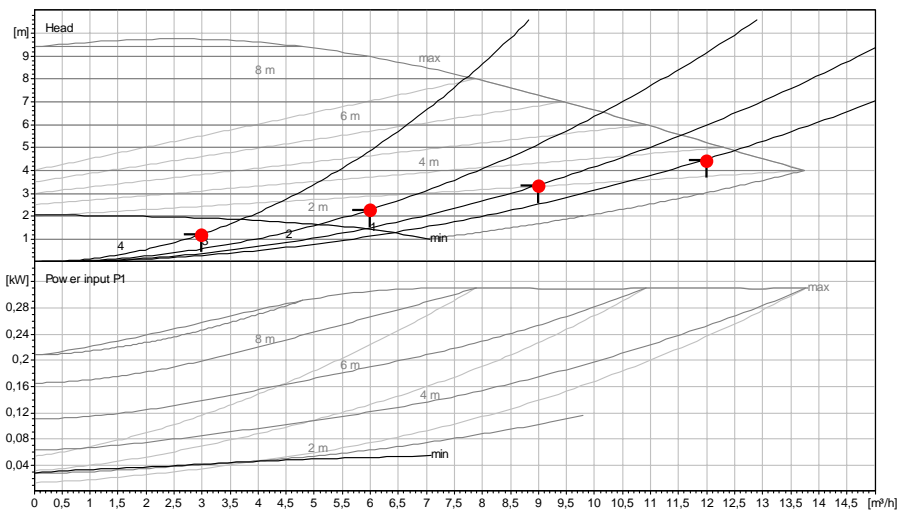
  

Elforbrug [kWh/år]	
Nuværende elforbrug til pumpe	2588

Figur 7.1. Inddata til og uddata fra pumpediagram i Smedegaards katalog



Figur 7.2. Pumpediagram fra Smedegaards katalog – Isobar 6- 95C - CM



Figur 7.3. Pumpediagram Wilo Select – Stratos 32/1 pumpe

**Data for tilpasset pumpe fra pumpediagram:**

Hvorledes skal den nye pumpe reguleres? Regulering langs minimalkarakteristikken Stratos 32/1

	Flow [m <sup>3</sup> /h]	Tryk [mVs]	Effekttag [W]
Pumpe ved 100 % flow	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">12,0</span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4,5</span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">276</span>
Pumpe ved 75 % flow	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">9,0</span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3,37</span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">151</span>
Pumpe ved 50 % flow	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">6,0</span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2,29</span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">71</span>
Pumpe ved 25 % flow	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3,0</span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1,22</span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">26</span>

	Elforbrug [kWh/år]
Opnåeligt elforbrug til pumpe	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1649</span>

Figur 7.4. Inddata til og uddata fra Wilo Select

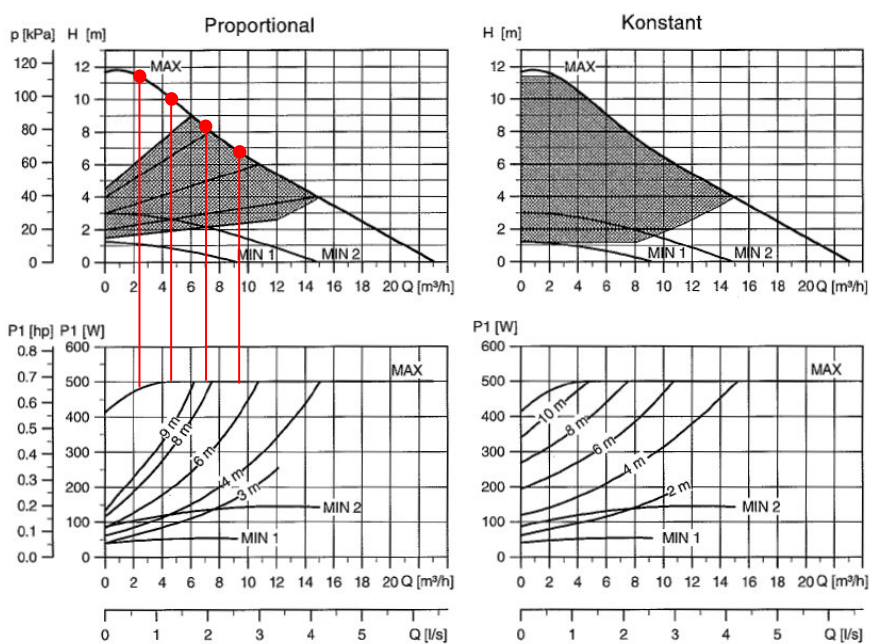
	Elbesparelse [kWh/år]
Elbesparelse	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">939</span>

Figur 7.5. Elbesparelse ved udskiftning af den nuværende pumpe

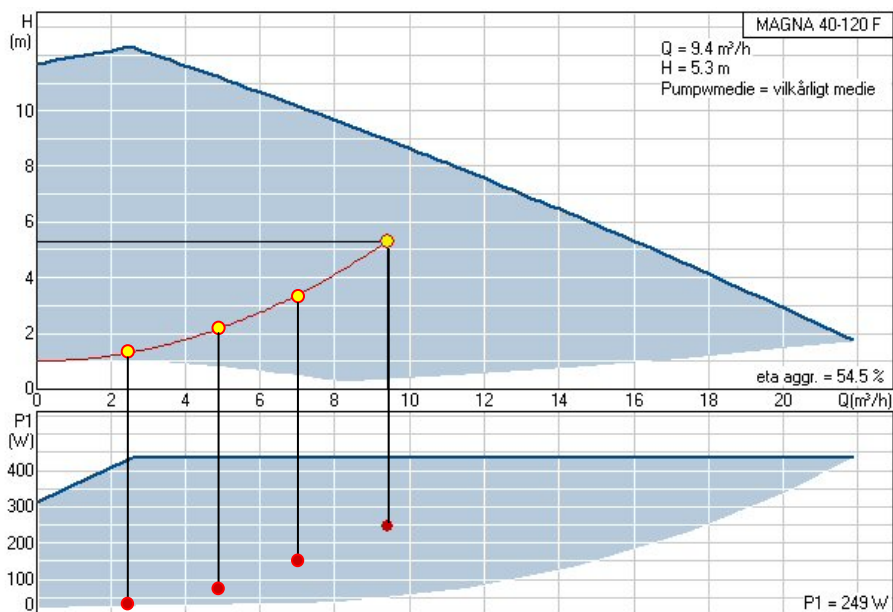
## 7.2 Case KAB Utterslevhuse

			2 x UPE 40-120 F		
Data for nuværende pumpe fra pumpediagram:	Flow [m <sup>3</sup> /h]	Tryk [mVs]	Effekttag [W]		
Pumpe ved 100 % flow	18,7	5,3	930		
Pumpe ved 75 % flow	14,0	7	895		
Pumpe ved 50 % flow	9,3	8,8	861		
Pumpe ved 25 % flow	4,7	10,5	827		
			Elforbrug [kWh/år]		
Nuværende elforbrug til pumpe	7938				

Figur 7.6. Inddata til og uddata fra egne beregninger



Figur 7.7. Pumpediagram fra Grundfos katalog – UPE 40-120 F



Figur 7.8. Pumpediagram Grundfos Wincaps – Magna 40-120 F

**Data for tilpasset pumpe fra pumpediagram:**

Hvorledes skal den nye pumpe reguleres? Regulering langs minimalkarakteristikken 2 x Magna 40-120 F

	Flow [m <sup>3</sup> /h]	Tryk [mVs]	Effekttag [W]
Pumpe ved 100 % flow	18,7	5,3	498
Pumpe ved 75 % flow	14,0	3,98	300
Pumpe ved 50 % flow	9,3	2,63	157
Pumpe ved 25 % flow	4,7	1,27	64

	Elforbrug [kWh/år]
Opnåeligt elforbrug til pumpe	3145

Figur 7.9. Inddata til og uddata fra Grundfos Wincaps

	Elbesparelse [kWh/år]
Elbesparelse	4794

Figur 7.10. Elbesparelse ved udskiftning af den nuværende pumpe



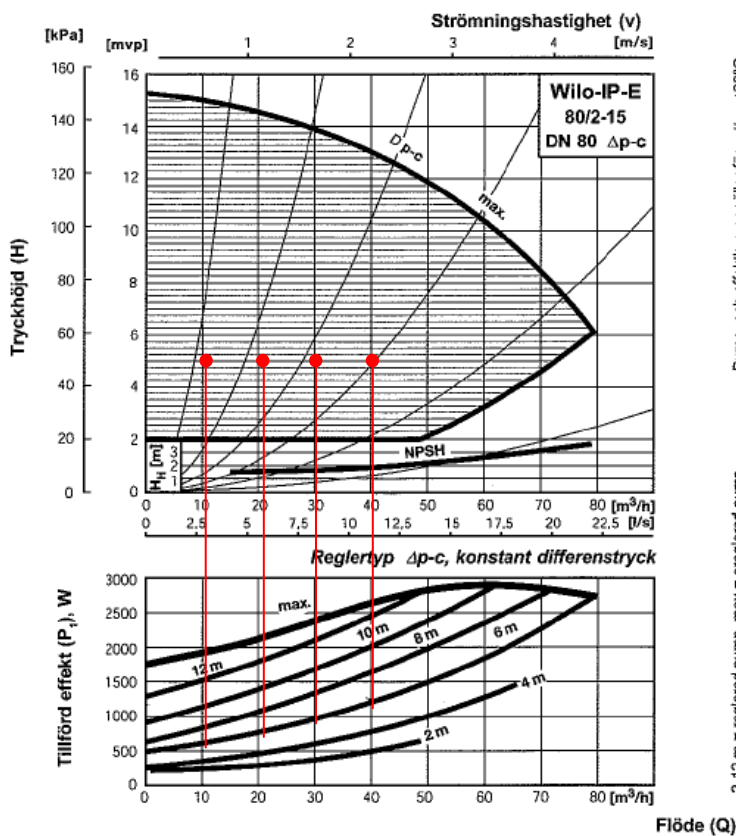
### 7.3 Case KAB Kildevænget

			IP-E 80/2-15		
Data for nuværende pumpe fra pumpediagram:	Flow [m <sup>3</sup> /h]	Tryk [mVs]	Effekttag [W]		
Pumpe ved 100 % flow	40,3	5,4	1200		
Pumpe ved 75 % flow	30,2	5,4	1000		
Pumpe ved 50 % flow	20,1	5,4	750		
Pumpe ved 25 % flow	10,1	5,4	600		

Elforbrug [kWh/år]	
Nuværende elforbrug til pumpe	10007

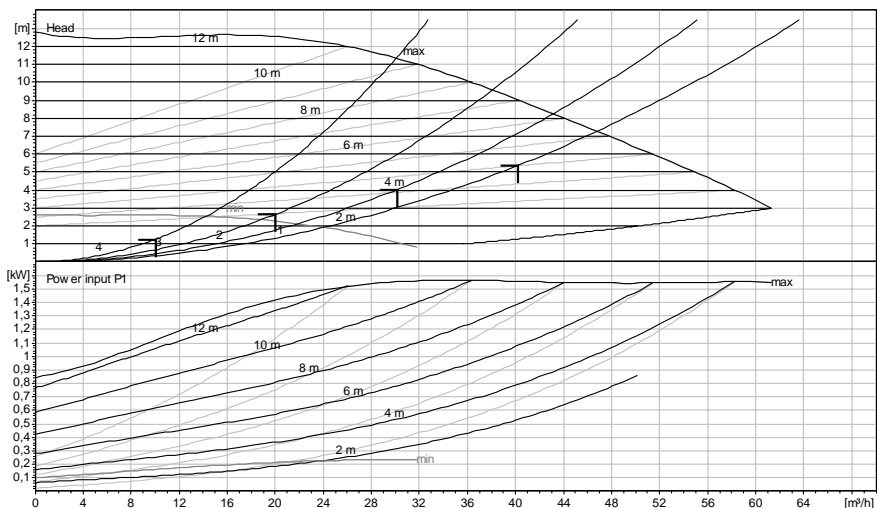
Figur 7.11. Inddata til og uddata fra Wilo pumpekatalog



Pump- och effektkurvor gäller för vatten +20°C

2-12 m = reglerad pump, max = oregerad pump

Figur 7.12. Pumpediagram fra Grundfos katalog – UPE 40-120 F



Figur 7.13. Pumpediagram Wilo Select – Stratos 80/1 pumpe

**Data for tilpasset pumpe fra pumpediagram:**

Hvorledes skal den nye pumpe reguleres? Regulering langs minimalkarakteristikken Stratos 80/1-12 PN 6

	Flow [m <sup>3</sup> /h]	Tryk [mVs]	Effektoptag [W]
Pumpe ved 100 % flow	40,3	5,4	995
Pumpe ved 75 % flow	30,2	4,04	542
Pumpe ved 50 % flow	20,1	2,66	241
Pumpe ved 25 % flow	10,1	1,28	73

	Elforbrug [kWh/år]
Opnåeligt elforbrug til pumpe	7516

Figur 7.14. Inddata til og uddata fra Wilo Select

	Elbesparelse [kWh/år]
Elbesparelse	2492

Figur 7.15. Elbesparelse ved udskiftning af den nuværende pumpe

## 7.4 Case AKB Hedemarken

## 8. Andre observationer

### 8.1 Indledning

I anlægget VIBO blev der foretaget et eksperiment med varmeanlægget. I to uger midt i varmesæsonen blev fremløbstemperaturen hævet til 70 C fra varmekurvens ca 55 C (fig 8.2) ved = 0 C udetemperatur. Formålet med eksperimentet var at se hvorledes flowet i anlægget bliver påvirket af fremløbstemperaturen.

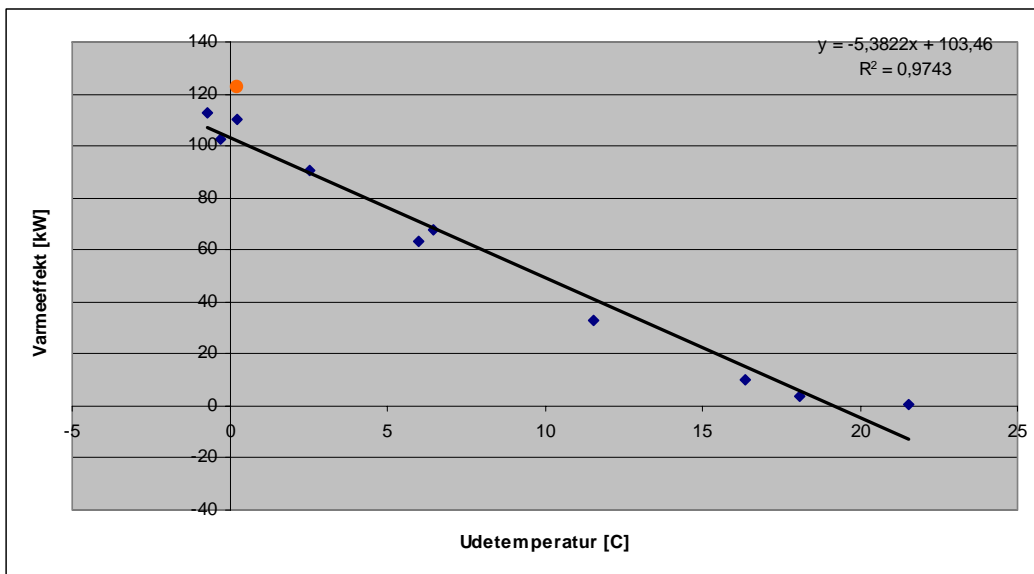
Det elementært forventede resultat er at radiatortermostaterne i anlægget lukker ned, så den afgivne varmeeffekt er nogenlunde konstant og at flowet derfor går meget langt ned og afkølingen tilsvarende bliver stor. Dette blev dog slet ikke resultatet.

Anlægget er forsynet med radiatortermostater på alle radiatorer. Hvis anlægget er korrekt indreguleret bør alle radiatorer i alle rum der ønsket opvarmet være i drift og trække parallelt. Det er klart at denne idealsituation ikke forekommer. Det er dog rimeligt at antage at idealsituationen kunne forekomme i anlæg, der er godt hydraulisk indregulerede, som kører med en fornuftig varmekurve og hvor beboerne er med på ideen. Der er flere forhold, der spiller ind:

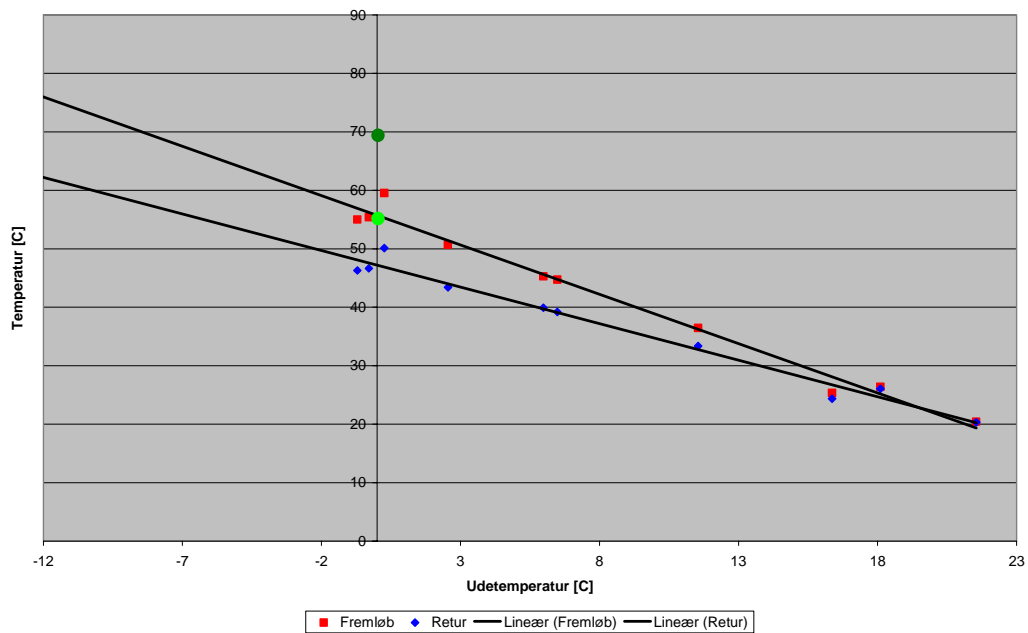
- Radiatortermostaternes proportionalbånd, der afhænger af fremløbstemperatur, differenstryk og af hvor mange radiatorer, der er lukket helt
- Forbrugerens adfærd: skruer hun ned, når det bliver for varmt, ved hun hvad det kan koste på varmeregningen, hvis temperaturen i øges. Ved hun hvordan varmfordelingsmålerne reagerer på dette.

### 8.2 Måleresultater

Resultaterne er vist på figurerne 8.1 til 8.3 og i tabel 8.1



Figur 8.1. Varmeeffekten som funktion af udetemperaturen. Tendenslinien er baseret på den almindelige indstilling af udeklimastyringen. I figuren er indtegnet den gennemsnitlige varmeeffekt ved eksperimentet med hævet fremløbstemperatur (den orange prik).

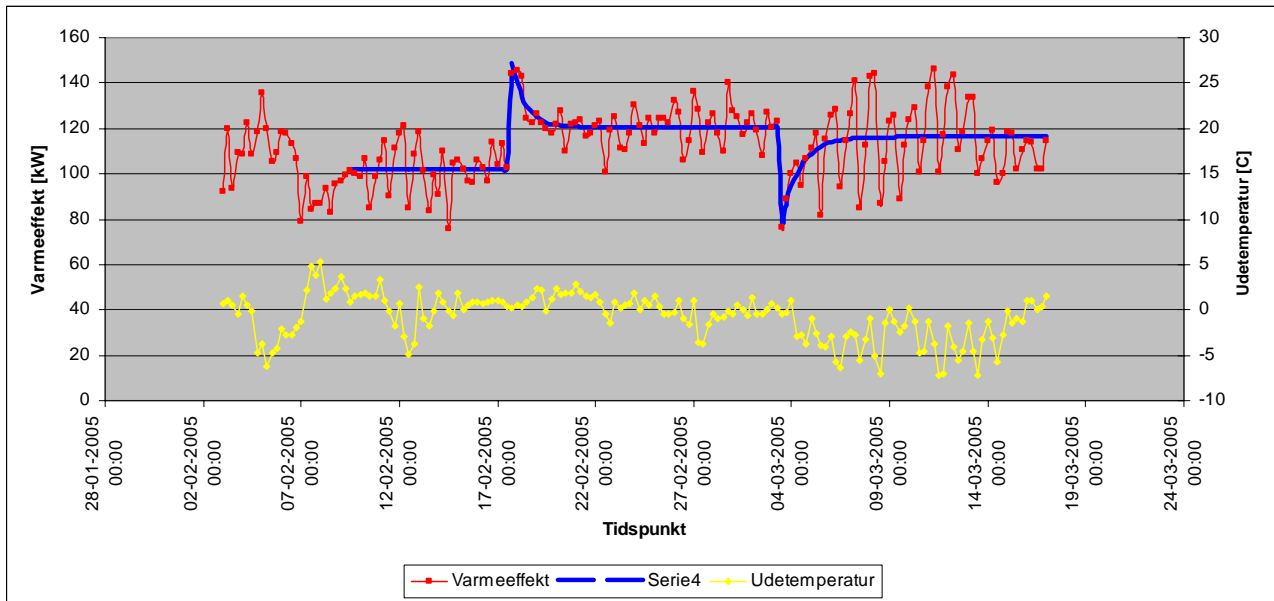


Figur 8.2. Fremløbs- og returtemperaturen som funktion af udetemperaturen. I figuren er indtegnet den gennemsnitlige fremløbs- og returtemperatur ved eksperimentet med hævet fremløbstemperatur (de to grønne prikker).

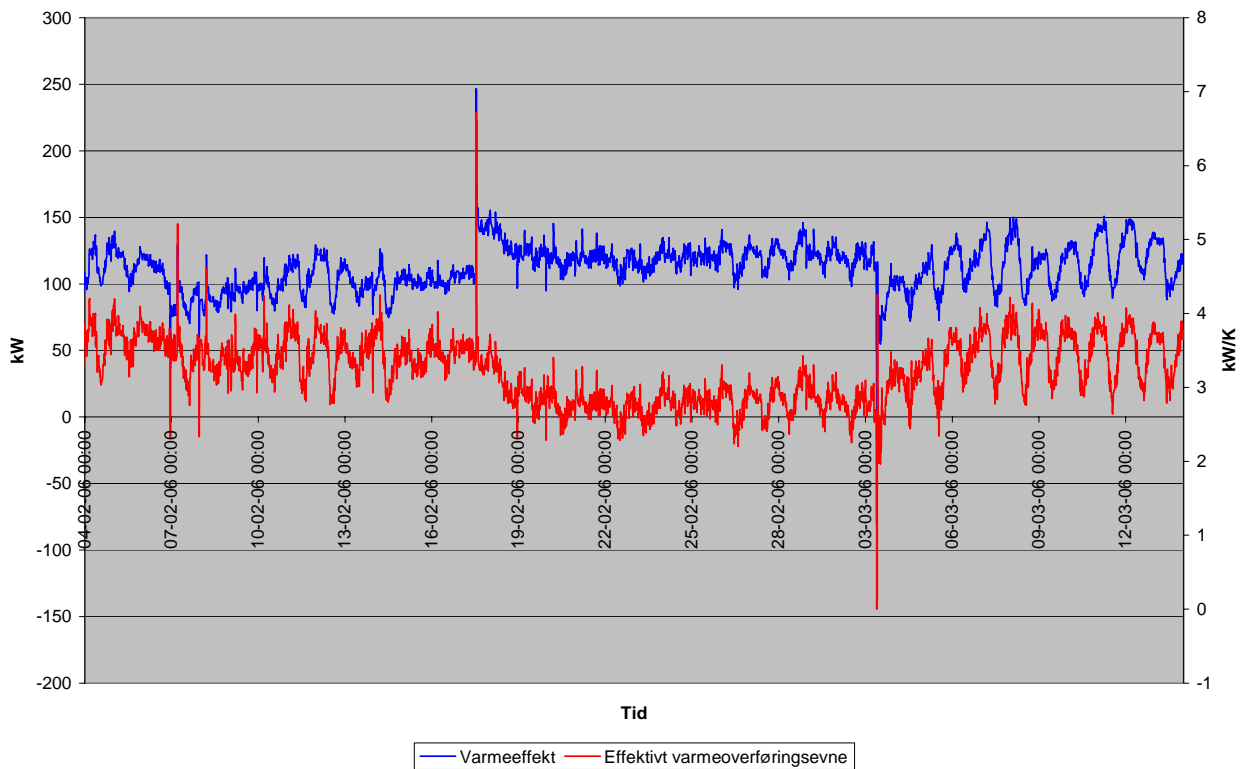
I tabel 8.1 ses beregninger af gennemsnitlig udetemperatur, varmeeffekt, fremløbs- og returtemperatur, flow samt el-effekt ved almindelig indstilling af varmekurven og ved eksperimentet.

	Udetemp. [° C]	Effekt [kW]	T <sub>frem</sub> [° C]	T <sub>retur</sub> [° C]	Flow [m <sup>3</sup> /h]	El-effekt [W]
Almindelig indstilling af varmekurve	0,33	101,7	55,2	46,80	10,6	350,1
Eksperiment	0,33	121,7	68,6	57,3	9,2	322,8
Stigning		19,9	13,4	10,5	-1,45	-27,3
Stigning i varmeeffekt pr. grad stigning i fremløbstemperatur					1,489674	kW/°C
Fald i el-effekt pr. grad stigning i fremløbstemperatur					-2,03639	W/°C
Fald i flow pr. grad stigning i fremløbstemperatur					-0,10794	m <sup>3</sup> /h/°C

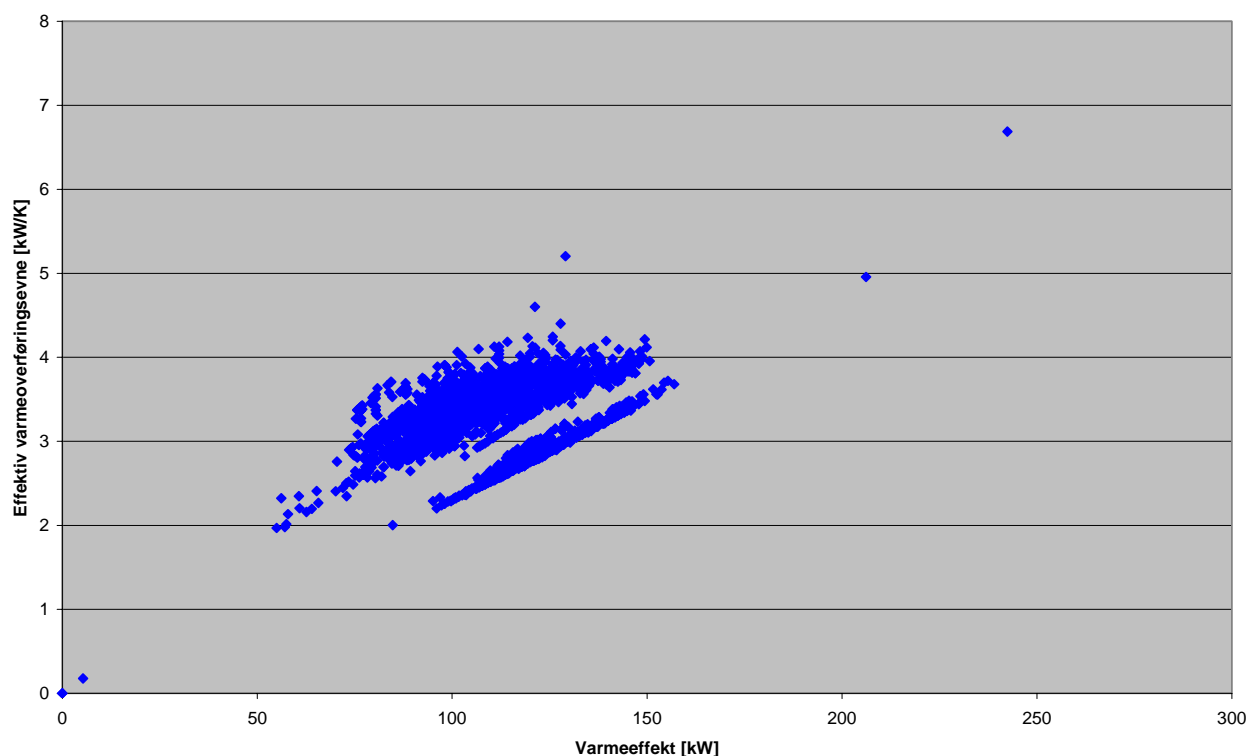
Tabel 8.1. Beregninger af gennemsnitlig udetemperatur, varmeeffekt, fremløbs- og returtemperatur, flow samt el-effekt ved almindelig indstilling af varmekurven og ved eksperimentet.



Figur 8.3. Varmeeffekten som funktion af udetemperaturen (forsøg)



Figur 8.4 Varmeeffekt og effektiv varmeoverføringsevne (effekt ift. forskel mellem radiatormiddel- og rumtemperatur, sat lig med 20 C).



Figur 8.5 Effektiv varmeoverføringsevne som funktion af varmeeffekten. Den nederste punktsamling svarer til forhøjet fremløbstemperatur, den øverste til normal varmekurve.

### 8.3 Diskussion

På fig. 1 i appendiks 2 nedenfor ses samtlige måleresultater fra VIBO bebyggelsen. Det ses tydeligt at returtemperaturen stiger sammen med fremløbstemperaturen i perioden med forhøjet fremløbstemperatur.

Man kan vurdere radiatoranlæggets reaktion ved at beregne den effektive varmeoverføringsevne som i figur 8.4 og 8.5. Det er tydeligt at varmeoverføringsevnen falder ved den høje temperatur. Dette betyder at varmereguleringen som en gennemsnitsbetragtning til dels sker ved, at der åbnes og lukkes radiatorer. Den tydeligt stigende tendens i figur 8.5 for hver af de to punktsamlinger viser også, at der selv på korttidsbasis findes en regulering af den effektive varmeoverføring ved regulering af antal åbne radiatorer.

På figur 8.2 ses en mere ventet reaktion. Ved den forhøjede fremløbstemperatur ses en kraftigt –hurtig - forøget varmeeffekt, der klinger ud med en tidskonstant på ca.  $\frac{3}{4}$  døgn. Tilsvarende når anlægget går tilbage til normal varmekurve. Varmeeffekten forøges med næsten 20 %, der ikke når at dø ud på to uger, selvom udetemperaturen ligger på samme niveau omkring 0° C. Dette er ganske foruroligende. Der er selvfølgelig grund til at tro at varmeeffekten vil finde tilbage til et af beboerne bestemt niveau, når fx varmeregningerne vil gøre deres virkning. Det er også muligt at beboerne på kortere sigt vil lukke yderligere ned for varmen i lejlighederne, således at et passende niveau opnås. Men der er ved dette en betydelig usikkerhed. Det sikre er at holde fremløbstemperaturen så lav som muligt. Dette vil betyde at termostaternes proportionalbånd yderligere øges regulering for basisvarmetilskud mm vil blive ringere.

Det er projektgruppens opfattelse at der mangler en udforskning af store varmeanlægs dynamiske opførsel i en tidsskala, der strækker sig fra timer (termostaternes funktion) over uger (beboernes reaktion på forhøjet rumtemperatur) til måneder og år (effekt af forøgede varmeregninger). Eksperiment her viser en uventet ringe effekt af de monterede radiatortermostater og helt uventet (på ugeniveau) forøgelse af varmeeffekten. Projektgruppen mener på dette grundlag at kunne anbefale energisparetiltag, der indeholder en *hydraulisk indregulering af anlægget, samt en optimering af den anvendte varmekurve, samt evaluering af pumpeinstallationen.*

*Videre gælder at forsøg på at forbedre afkølingen i anlægget på denne måde ikke kan anbefales.*

## 8.4 Konklusion af eksperimentet

Det er konstateret at en forhøjelse af fremløbstemperaturen ikke medfører den forventede virkning i retning af kraftigt reduceret flow og øget afkøling i anlæg og for centralen.

Tværtimod: Returtemperaturen stiger, flowet i varmeanlægget er næsten konstant og varmeeffekten stiger med mere end 1 % pr grad.

Dette betyder, at for det undersøgte to-strengsanlæg at termostaterne har en langt mindre indflydelse på reguleringen af varmeanlægget end forventet.

Der er ikke noget, der tyder på at dette anlæg er specielt eller specielt dårligt i opbygning og indregulering.

Den statiske og dynamiske opførsel af et stort varmeanlæg er således betydeligt mere kompliceret end svarende til den almindelige opfattelse.

Der kan vindes erkendelse ved udforskning de store varmeanlæg, der kan give anledning til energibesparelser, men som foreløbige konklusioner af dette eksperiment findes:

- Radiatortermostater ser ud til at have kun ringe varmeregerende virkning i anlægget.<sup>1</sup> Langt størstedelen af reguleringen må antages at skyldes åbning og lukning af radiatorer
- Energibesparelser skal findes ved forbedret indregulering af anlæggene samt finindstilling og trimning af klimastyringens varmekurve
- Forsøg på at forbedre anlæggenes afkølingsforhold ved at *hæve* fremløbstemperaturen, der virker for en enkelt radiator er meget risikable mht. til energiforbrug
- Det er nødvendigt at sænke fremløbstemperaturen mest muligt, selvom det yderligere betyder at termostaternes proportionalbånd øges

At ovenstående ikke nødvendigvis er naturlove, dvs. at der ved en god beboerinformation og beboerinstruktion, samt ved indregulering og justering af anlæggene og automatik kan opnås en reguleringsfunktion i anlægget, der kan give energibesparelser.

---

<sup>1</sup> Det skal understreges at en termostat testet i et prøverum på en radiator dokumenteret giver en udmærket og rimelig nøjagtig varmeregering. Det er samspillet mellem klimastyring og brugernes adfærd, der betyder at den gennemsnitlige reguleringsvirkning i det undersøgte (ganske typiske) varmeanlæg ikke var tydelig.



## Appendiks 1. Måleplatform

På alle fire centralvarmeanlæg er der monteret følgende udstyr:

- Flowmåler og -transducer til registrering af flowet i anlægget (1).
- Trykfølere og -transducer til registrering af differenstryk over pumpen (2).
- Overfladetemperatur målere til registrering af fremløbs- og returtemperatur (3).
- Effektmåler til registrering af pumpens optagne effekt (4).

Alle registreringerne sendes ind i en Moblog DL4 datalogger (5). Her bliver måleværdierne logget med en tidsopløsning på 15 minutter.



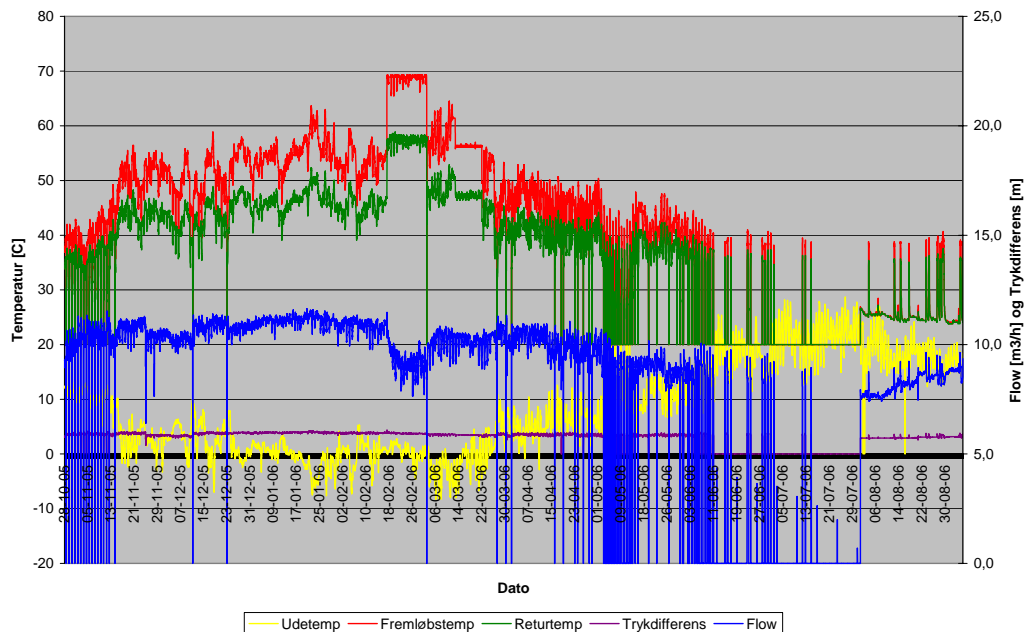
Figur 1. Måleudstyr monteret på centralvarmeanlægget i Charlotteager, Hedehusene.

Til måling af flowet benyttes en statisk elektronisk volumenmåler fra Brunata. Målerne er fuldt elektroniske og bygger på Faradays princip om magnetisk induktion. Måleren har et lige gennemløb og indeholder ingen bevægelige dele, der kan slides eller tilstoppes. Vandstrømmen passerer gennem en veldefineret foring af PTFE (teflon), og vandets hastighed inducerer en spænding, der overføres til elektronikenheden gennem de rustfrie, polerede elektroder.

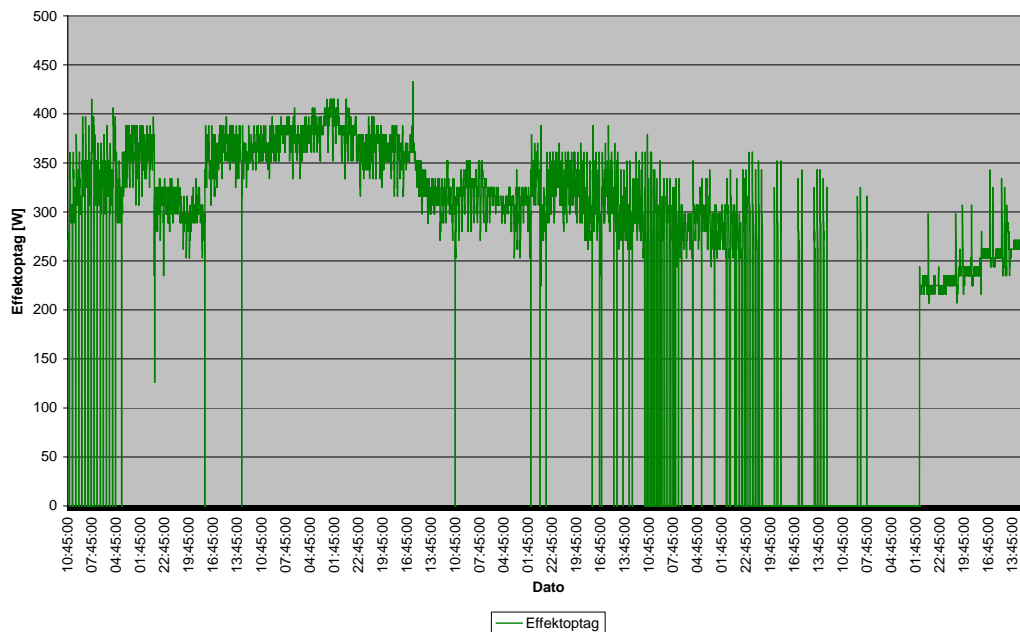


*Figur 2. Brunata flowmåler monteret på centralvarmeanlægget i Charlotteager, Hedehusene.*

## Appendiks 2. Udførte målinger



Figur 1. Registrering af flow, differenstryk, fremløbs- og returtemperaturer samt udetemperaturer fra DMI med en tidsopløsning på 15 minutter på centralvarmeanlægget i Charlotteager, Hedehusene.



Figur 2. Registrering af effektoptag med en tidsopløsning på 15 minutter på centralvarmeanlægget i Charlotteager, Hedehusene.

