

Henrik Tommerup  
Jørgen S. Nørgård

# Elbehovet til cirkulationspumper i én- og tofamiliehuse, nu og i fremtiden

Rapport  
BYG · DTU  
R-135  
2006

ISSN 1601-2917  
ISBN 87-7877-206-4

---

# Indhold

|                                                                                         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>FORORD</b>                                                                           | <b>3</b>  |
| <b>KONKLUSION</b>                                                                       | <b>4</b>  |
| <b>RESUMÉ</b>                                                                           | <b>5</b>  |
| <b>SUMMARY</b>                                                                          | <b>6</b>  |
| <b>1 INDLEDNING</b>                                                                     | <b>8</b>  |
| 1.1 BAGGRUND                                                                            | 8         |
| 1.2 HISTORISK UDVIKLING                                                                 | 8         |
| 1.3 FORMÅL                                                                              | 9         |
| <b>2 BEREGNET BEHOV FOR EL TIL CIRKULATIONS PUMPNING</b>                                | <b>10</b> |
| 2.1 TEORETISK GRUNDLAG FOR BEREGNING AF ELFORBRUG FOR CIRKULATIONS PUMPER               | 10        |
| 2.2 NØDVENDIGT TRYK, VOLUMENSTRØM OG EL-EFFEKT FOR TO-STRENGEDE RADIATORANLÆG I SMÅHUSE | 12        |
| 2.3 NØDVENDIG VARMEEFFEKT                                                               | 13        |
| 2.4 EKSISTERENDE ENFAMILIEHUSE                                                          | 14        |
| 2.5 ENFAMILIEHUSE SVARENDE TIL NYE ENERGIBESTEMMELSER                                   | 19        |
| 2.6 BETEGNELSER OG ENHEDER                                                              | 21        |
| <b>3 MÅLINGER AF ELFORBRUG TIL CIRKULATIONS PUMPNING</b>                                | <b>22</b> |
| 3.1 MÅLERESULTATER                                                                      | 23        |
| 3.2 GENERELLE KOMMENTARER TIL MÅLERESULTATERNE                                          | 25        |
| 3.3 SPECIFIKKE KOMMENTARER TIL MÅLERESULTATERNE                                         | 26        |
| 3.4 SCHWEIZISKE ELMÅLINGER AF BIRAL MC 10                                               | 26        |
| <b>4 FREMTIDIGT BEHOV FOR EL TIL CIRKULATIONS PUMPNING</b>                              | <b>28</b> |
| 4.1 METODE                                                                              | 28        |
| 4.2 FORUDSÆTNINGER                                                                      | 28        |
| 4.3 RESULTATER AF BEREGNINGERNE                                                         | 31        |
| 4.4 VURDERINGER AF MULIGE EL-BESPARELSER TIL CIRKULATIONS PUMPER I EUROPA               | 33        |
| <b>5 KRAV OG ANBEFALINGER I RELATION TIL NYE ENERGIBESTEMMELSER</b>                     | <b>35</b> |
| <b>6 REFERENCER</b>                                                                     | <b>38</b> |
| BILAG 1: INDIREKTE VARMEVEKSLERINSTALLATION, SMÅ ANLÆG                                  | 39        |
| BILAG 2: PUMPEKURVER                                                                    | 41        |

---

## Forord

Denne rapport er udarbejdet af BYG•DTU i forbindelse med projektet ” Undersøgelser af behovet for el til cirkulationspumper i én- og tofamiliehuse, nu og i fremtiden”. Projektet er udarbejdet for Elsparefonden i forbindelse med kampagne for sparepumper. Projektet er udført i samarbejde med Svendborg Fjernvarmecentral A.M.B.A.

BYG•DTU har været ansvarlig for analyse- og beregningsopgaver, mens Svendborg Fjernvarme har været ansvarlig for installation af pumper i de undersøgte huse i eget forsyningsområde og tilhørende elmålinger samt undersøgelse af brugertilfredshed med de installerede sparepumper.

Svend Svendsen har været projektleder/-ansvarlig for BYG•DTU. Der skal rettes en tak til Tom Guldbrandsen for betydelige bidrag til projektet, som sparringspartner og i form af kommentering af rapport mv. Desuden vil BYG•DTU gerne takke Svendborg Fjernvarme ved Leif Thestrup og Ove Andersen for godt samarbejde.

Der er planer om at foretage yderligere undersøgelser i en mulig kommende fortsættelse af projektet. Dette projekt forventes at omfatte analyse af mange pumbers elforbrug over en hel fyringssæson, besparelspotentialet ved udskiftning til passende små A-mærkede cirkulationspumper i én- og tofamiliehuse, privat- og samfundsøkonomisk investeringsbehov, potentiale for fremskyndet udskiftning samt eventuelt afprøvning af pumper på andre typer bygninger end dem, der har været med i nærværende undersøgelse, men dog stadig begrænset til en- og flerfamiliehuse.

Kgs. Lyngby, den 17. August 2006.

---

## Konklusion

Beregninger af behovet for pumpeeffekt til cirkulation af centralvarmevand i én- og tofamiliehuse viser at dette for en stor del af de danske småhuse er under 1 W. Med en god effektivitet af pumpen svarer det til en el-effekt på under 10 W. Sammenlignet med elforbruget til de hidtil anvendte pumper, er der potentielt mulighed for betydelige besparelser. Disse beregninger er blevet bekræftet ved praktiske afprøvninger af diverse sparepumper, idet pumper med el-effekt på omkring 10 W har været tilstrækkelige til at klare opvarmningen under prøveperiodens klima.

Overslagsmæssige beregninger af det fremtidige behov for el til cirkulationspumpning i Danmark viser at en total udskiftning (f.eks. over 13 år) af de nuværende cirkulationspumper i én- og tofamiliehuse med de bedste, der nyligt er kommet på markedet, vil betyde en reduktion i landets elforbrug på ca. 1 % eller 400 GWh/år og en reduktion i Danmarks CO<sub>2</sub>-udslip på 400.000 tons pr. år, eller knap 1 % af det samlede udslip.

For EU vil udskiftningen kunne resultere i et 50 TWh lavere elforbrug til dette formål, hvilket er mere end Danmarks samlede elforbrug. Målt i antal kraftværker er der for EU tale om at spare opførelsen og driften af 17 store kraftværker og et årligt udslip på 50 millioner tons CO<sub>2</sub> om året, såfremt man vælger at spare kulfyrede kraftværker. Tænker man på en fremtid med elforsyning fra vedvarende energi, sparer indførelsen af de nye pumper i EU opførelsen af f.eks. 20.000 store vindmøller.

Nye energibestemmelser er indført 1. januar 2006, hvor elforbruget til pumper indgår i den nye bruttoenergiramme for bygninger. I den forbindelse kan det anbefales at benytte nye små sparepumper, og det bør kraftigt overvejes at indføre direkte krav til elforbruget, på samme måde som der allerede er krav til elforbruget i ventilationsanlæg. Det anbefales ligeledes at der i forbindelse med ny ordning om eftersyn og forbedring af ældre kedel- og varmeanlæg sættes fokus på udskiftning af gamle pumper, der typisk vil kunne foretages for en beskedne installationsudgift.

---

## Resumé

Rapporten omhandler undersøgelser af behovet for el til cirkulationspumpning i en- og tofamiliehuse, nu og i fremtiden. Der er således foretaget beregninger og målinger af dette elbehov i dag samt vurderinger af fremtidigt elbehov. Desuden er der fremført anbefalinger vedrørende sparepumper i relation til de nye energibestemmelser 2006.

De gennemførte beregninger af behovet for pumpeeffekt, altså pumpens kapacitet, til cirkulation af centralvarmevand i en- og tofamiliehuse bekræfter ældre overslagsmæssige beregninger i, at dette behov for det store flertal af de danske enfamiliehuse er meget lille, sammenlignet med effekten af de hidtil anvendte pumper, nemlig under 1 W. Med en god effektivitet af pumpen svarer det til el-effekt på under 10 W. Behovet varierer naturligvis med varmebehovet, dvs. husets størrelse og isoleringsstandard, og af varmeanlæggets udformning, og kan under ugunstige forhold, være større.

I praksis er disse beregninger blevet bekræftet ved afprøvning i 12 fjernvarmeforsynede enfamiliehuse (de fleste opført i 1970'erne) og et enkelt olieopvarmet hus, samt i 2 nye huse, opført som lavenergiklasse 2 efter de nyligt indførte skærpede bygningsenergibestemmelser. Siden sidst i 2004 er cirkulationspumperne i disse 15 huse blevet udskiftet til en række forskellige mærker og typer af pumper, med ret forskellige kapaciteter.

Resultaterne af disse praktiske afprøvninger giver ikke noget stort statistisk materiale, men viser, at pumperne med mindst kapacitet har kørt med en el-effekt på 5-10 W, som forventet. Endvidere viser de praktiske afprøvninger at pumperne har haft tilstrækkelig pumpeeffekt til at klare opvarmningen under klimaet i prøveperioden, som for nogle er en hel sæson, mens andre har kørt mindre end en halv opvarmningssæson. Det årlige elforbrug til cirkulationspumpning i husene med disse små pumper har været på 45-90 kWh, eller en reduktion på 30-85 % i forhold til de gamle pumper, der næsten alle var af typen Grundfos UPS XX-40 med en løftehøjde på 4 m og med en indstilling på trin 1.

Problemet har været, at de tidligere markedsførte pumper har haft al for høj kapacitet til formålet, og derved trods reguleringsautomatik brugte langt mere el end nødvendigt. De bedste pumper, der for nylig er kommet på markedet, kombinerer en høj pumpeeffektivitet med en passende lille pumpekapacitet, så det årlige el-forbrug for disse pumper peger mod mindre end 90 kWh ved drift hele året. Dette skal sammenlignes med et årligt el-forbrug for de pumper der er i brug i dag på typisk omkring 500 kWh.

Historisk synes udviklingen at have været forsinket et par årtier, hvilket kan hænge sammen med den generelt lille interesse for små apparaters elforbrug og dermed også for lidt konkurrence på markedet for energibesparende cirkulationspumper. Udviklingen af den prisbelønnede, effektive pumpe med den meget lille, men tilstrækkelige kapacitet, Biral MC10, kom først i stand i 1992 på initiativ af en forsker ved det tekniske universitet, ETH, i Zürich med støtte fra den schweiziske energistyrelse. Senere er denne tendens fulgt op af andre fabrikanter, som nu også har sådanne små pumper på markedet.

Det må anbefales at satse stærkt på, gennem diverse kampagner, evt. inkl. tilskud, at sikre at nyinstallering og udskiftning af cirkulationspumper kun sker til små effektive pumper, der netop opfylder behovet, da både miljøgevinsten og økonomien peger på det fordelagtige heri. Der bør overvejes en fremskyndet udskiftning til sådanne pumper.

---

## Summary

*Report R-135: The need for electricity for circulation pumps in single- and two-family houses, now and in the future.*

The report describes investigations of the present and future need for electricity for circulation pumps in central heating systems used in single- and two-family houses. Calculations and measurements of this present need for electricity and evaluation of future need have been carried out. Furthermore, recommendations concerning energy saving circulators have been suggested, seen in relation to the new EU energy directive from 2006.

Calculations of the need for pumping power - the pump capacity - for circulating central heating water in single- and two-family houses confirm earlier evaluations that in the vast majority of Danish single-family houses this need is very small, compared with the power of the pumps used so far, namely less than 1 W. Assuming a good efficiency, this could be provided with a pump using less than 10 W electric power. Obviously the need depends on the need for heating, that is, the size and the insulation standard of the house, as well as of the design of the central heating system, and in certain unfavorable cases it could be larger.

The calculations were confirmed in practice by experimental tests in 12 district heated single-family houses (mostly built in the 1970s), one house heated by an oil fired furnace, and 2 new houses built according to the new, tightened building regulations. Since late in the year 2004, the existing circulators in all these 15 houses have been replaced with a number of different brands and types of pumps, all with quite different capacities.

The results of the experimental tests did not provide a large statistical material, but clearly show that the pumps with the lowest capacities have drawn a power of 5 – 10 W as anticipated. Furthermore, the practical tests also show that these pumps have had sufficient pump capacity to provide the heat needed during the Danish winter climate of the test period. For some of the circulators the test period was a full heating season, while others have run for less than half a heating season. Electricity consumption for pumping in the houses with these small circulators points towards 45 – 90 kWh per year, a reduction by 30 – 85% as compared to the old replaced pumps, which essentially all were of the type Grundfos UPS XX-40 put in lowest capacity, step 1 position.

The problem has been that earlier marketed pumps had a much too high capacity for the purpose, and consequently, despite automatic regulation, consumed far more electricity than needed. The best pumps marketed in recent years, combine high pump efficiency with an appropriate small pump capacity, resulting in annual electricity consumption for these pumps below 90 kWh when run the full years. This should be compared to an annual electricity consumption of typically 500 kWh for the pumps in use today.

Historically the development has been delayed a couple of decades, which can be ascribed to a general lack of interest in electricity consumption of small equipment and hence an absence of market competition for energy-saving circulation pumps. The development of the prize awarded, efficient pump with a very small, but sufficient capacity, Biral MC10, was initiated in 1992 by a researcher at the technical university, ETH, in Zürich, supported by the Swiss energy authority. Later the trend was followed up by other manufacturers, now having marketed similarly small pumps.

---

Various campaigns, including subsidies, should be run to ensure that all new installations as well as all replacements of circulators ends up with small efficient pumps, just sufficient for the task. This seems both environmentally sound and economically beneficial. It should be considered too, to accelerate replacement to this kind of pumps, possibly supported by requirements in the building codes.

---

# 1 Indledning

## 1.1 Baggrund

I forbindelse med Elsparefondens kampagne for sparepumper var der et ønske fra fondens side om at gennemføre en serie målinger af forskellige cirkulationspumpers elforbrug under drift i eksisterende, beboede boliger og at sammenligne de forskellige pumpeers indbyrdes elforbrug og sammenholde disse forbrug med beregningsoverslag over det faktiske pumpebehov i de pågældende varmesystemer, for eventuelt at kunne spare både pumpekapacitet og elforbrug. Tilsvarende er der ønske om at fastlægge behovet for el til dette formål i det fremtidige byggeri, hvor varmetabet nedsættes som følge af stramninger af bygningsreglementerne, og som ydermere indeholder et krav om at elforbruget til pumper skal medtages i beregning af energibehovet til eftervisning af at energirammen er overholdt. Udgangspunktet for Elsparefondens kampagne er en aftale med bl.a. pumpeproducenterne på det danske marked. I aftalen forpligtiger pumpeproducenterne sig til at arbejde for en fortsat udvikling og promovering af mere energieffektive cirkulationspumper, som på en energieffektiv måde dækker pumpebehovet i nuværende og fremtidig byggeri.

Den 1. januar 2006 blev det nye EU-direktiv om bygningers energimæssige ydeevne implementeret i dansk lovgivning. Dette betyder bl.a., at elforbrug til pumpearbejde til cirkulation i fremtiden skal indgå i beregningen af bygningernes energieffektivitet. Det er op til de enkelte lande at udmønte direktivets overordnede krav i regler og beregningsmetoder, som tager hensyn til lokale forhold og byggeskik mv. For at implementere det nye direktiv har Danmark i løbet af 2005 ændret energibestemmelserne i Bygningsreglementet med det mål, at reducere energiforbruget til varme og fastinstalleret el med 25-30 pct. for nye bygninger.

Der er sket forbedringer, både i udbud af mere passende pumpekapaciteter, mere effektive og samtidig styrbare pumper. For at udmønte disse muligheder i faktiske el-besparelser kører Elsparefonden en kampagne for at få opmærksomhed om det rette valg af cirkulationspumper.

## 1.2 Historisk udvikling

Undersøgelser på DTU af mulighederne for el-besparelser i boligerne viste allerede i 1970'erne, at cirkulationspumper til centralvarmeanlæggene var stærkt overdimensionerede og stod for et betydeligt elforbrug, typisk med en effekt på 65 Watt. Selv hvis de kun var tændt i fyringssæsonen, havde de et elforbrug på 350 kWh pr. år [1,2]. Faktisk var det almindeligt at lade pumpen køre hele året, bl.a. for at undgå startproblemer, og årsforbruget ville da være omkring 600 kWh. Det blev dengang fundet, at selve pumpebehovet (der i tidligere centralvarmesystemer med kedlen placeret i kælderen slet ikke eksisterede) var så lavt som 1-2 W. Selv med de lave virkningsgrader på f.eks. 15%, der forventedes for så små pumper, ville elforbruget kun blive omkring 13 Watt, eller 20% af de dengang eksisterende pumpeers forbrug. Det unødvendigt store el-forbrug til pumperne skyldtes således 1) meget overdimensionerede pumper, 2) lav effektivitet af pumperne, 3) manglende behovsstyring af pumperne, der ofte kørte på fuld kapacitet hele året. Det blev på den baggrund i 1979 [1,2] og gentaget i 1989 [3] anbefalet at udvikle meget små, men ret effektive pumper med 5-10 Watts elforbrug, som yderligere kunne tilpasses behovet.

Efterfølgende forbedredes cirkulationspumperne på markedet gradvist, bl.a. med stor støtte af den danske regerings energiforskningsprogram, men desværre har det senere vist sig, at udviklingen fokuseredes mest på automatisk regulering, og de stærkt markedsførte automatisk regulerede pumper var stadig væk meget overdimensionerede [4]. Teknisk havde der ikke været hindringer for at udvikle en 10 W pumpe med konventionel (ikke-regulerbar) motor.

---

Så vidt det fremgår af litteraturen, blev der ikke før i begyndelsen af 1990'erne, taget målrettet fat på udviklingen af en passende lille pumpe, nemlig ved det tekniske universitetet ETH-Z i Zürich, Schweiz [4,5]. I et projekt initieret og ledet af Jürg Nipkow og finansieret af den schweiziske regerings energistyrkelse, udvikledes ved universitetets Laboratorium for Strømningsmaskiner i løbet af et par år, i samarbejde med en pumpeproducent i Schweiz, en prototype af en pumpe, der kombinerer en lille kapacitet med en høj effektivitet, op til 40% mod typisk ellers 5-10 %.

Som et første skridt mod industriel produktion af sådanne små, effektive og trinkløst, manuelt regulerbare pumper, blev der i samarbejde med firmaet Biral fremstillet en pilotserie, betegnet Biral MC 10, på 30 eksemplarer til afprøvning i praksis. 20 eksemplarer blev installeret i huse af forskellige størrelser, fra enfamiliehuse til 9-familiehuse, som omtalt i afsnit 3 [6]. Erfaringerne blev brugt til at tilrette udformningen af pumperne før en større produktion.

I 2000 fik Jürg Nipkow sammen med udviklingschef Wolfram Meyer ved Biral AG de schweiziske Elselskabers innovationspris, og sidstnævnte fik samme år den højt estimerede tyske Wuppertals Energi- og Miljøpris, i begge tilfælde for udviklingen af den lille, højeffektive Biral MC 10 cirkulationspumpe [7].

Da BYG•DTU i 2005 startede det her rapporterede projekt med afprøvning af en række forskellige cirkulationspumper til enfamiliehuse, og her besluttede at inkludere Biral MC 10 pumpen, viste der sig at være andre mærker af tilsvarende små pumper næsten klar til produktion, bl.a. fra Grundfos, Wilo og Smedegaard, og disse nye pumper blev derfor også inddraget i projektet, dog lidt forsinket.

### 1.3 Formål

Et formål med projektet er at få dokumenteret dels elforbruget til forskellige cirkulationspumper og dels det egentlige pumpebehov i typiske, *eksisterende* danske én- og tofamiliehuse, for derudfra at bestemme de bedst egnede pumper, hvad angår kapacitet og effektivitet. Et andet formål er at få bestemt behovet for el til cirkulationspumpning i nye danske én- og tofamiliehuse, der opføres efter de nye stramninger af Bygningsreglementet.

Behovet for projektet er opstået, for at få bekræftet og demonstreret, om pumpebehov og dermed det nødvendige elforbrug også i praksis er så lille som teorien tilsiger og som det blev vurderet tidligere [1,2], så kapaciteten af de nye, små cirkulationspumper er tilstrækkelig. Med disse oplysninger vil det være muligt at vurdere om det er formålstjenligt også i Danmark at fremme markedsføringen af sådanne små, energieffektive cirkulationspumper med meget lille elforbrug, således som de allerede en tid har været at finde på det internationale marked.

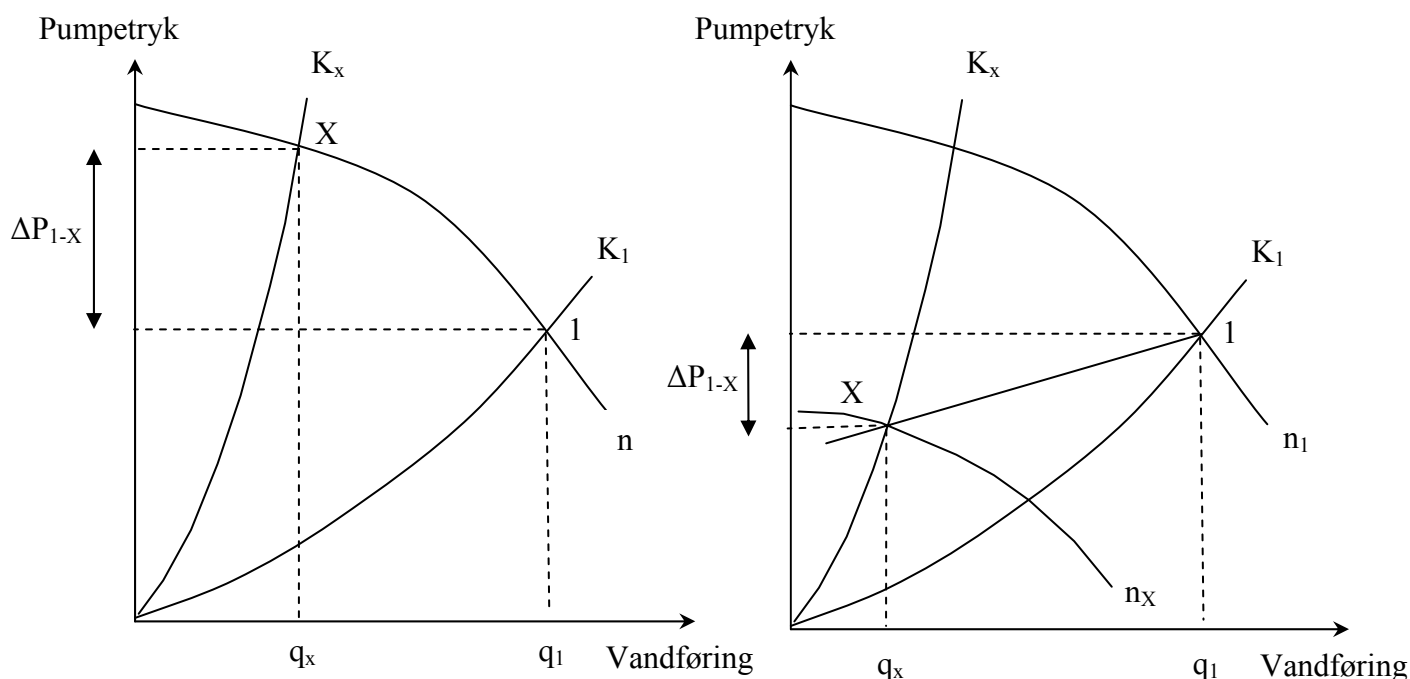
Desuden kan der foretages en overslagsmæssig vurdering af, hvor stor betydning en indførelse af disse små effektive pumper kan få for det samlede behov for elforsyningen og CO<sub>2</sub>-udslip i Danmark såvel som i EU.

## 2 Beregnet behov for el til cirkulationspumpning

I dette kapitel foretages beregninger af den teoretiske el-effekt, som er nødvendigt til cirkulationspumpning i eksisterende huse og i nye huse. Først redegøres der for det teoretiske grundlag. Dernæst bestemmes den nødvendige varmeeffekt og øvrige beregningsforudsætninger. Slutteligt præsenteres resultaterne af beregninger af de nødvendige elektriske pumpeeffekter, der angives som funktion af variationer af de vigtigste parametre (varmeeffekt, afkøling, rørdiameter, rørlængde, ruhed af rør), der dækker boligmassen vedrørende én- og tofamiliehuse. Alle betegnelser og enheder anvendt i det følgende er opsummeret sidst i kapitlet.

### 2.1 Teoretisk grundlag for beregning af elforbrug for cirkulationspumper

Egenskaberne for varmeanlæg og pumper i varmeanlæg beskrives normalt i diagrammer, der viser trykstigning for pumpe som funktion af volumenstrøm (kaldet pumpekarakteristikker eller pumpekurver), samt tryktab i varmeanlæg som funktion af volumenstrøm (kaldet ledningskarakteristikker eller anlægskarakteristikker). Det punkt, hvor ledningskarakteristik og pumpekarakteristik falder sammen, er arbejds punktet, som angiver, hvilken volumenstrøm pumpen kan give anlægget.



Figur 1. Princip-skitser af pumpekarakteristikker for en ureguleret pumpe (til venstre) og en selvregulerende pumpe med proportionaltryk-regulering (til højre).

Den uregulerede pumpe giver et stigende pumpetryk ( $P_{1-x}$ ) ved faldende vandføring ( $q_1 - q_x$ ), mens den selvregulerende pumpe med proportional-regulering giver et faldende pumpetryk for faldende vandføring. Da pumpens el-effekt er lig med produktet af tryk og vandføring (se nedenfor), vil den selvregulerende pumpe naturligvis give anledning til et betydeligt lavere elforbrug.

#### 2.1.1 Drivtryk

Den nødvendige trykydelse af en pumpe kan ud fra [8] udtrykkes ved:

---


$$\Delta p_p = \Delta p - \Delta p_t - \Delta p_g$$

Hvor

$\Delta p_p$  er pumpetrykket [Pa]

$\Delta p$  er tryktabet [Pa]

$\Delta p_t$  er forskellen i totaltryk (mellem strækningens indløb- og udløbstværsnit) [Pa]

$\Delta p_g$  er drivtryk fra gravitationskræfter [Pa]

Drivtrykket til cirkulation af vand i typiske varmfordelingsanlæg i småhuse frembringes imidlertid primært af en pumpe, da der er tale om lukkede kredsløb, så  $\Delta p_t = 0$ . Ligeledes ses bort fra  $\Delta p_g$  både fordi densitetsforskellene er små og fordi der er hovedsageligt tale om ét plans huse. I formelen vil totaltrykforskel  $\Delta p_t$  og drivtryk fra gravitationskræfter  $\Delta p_g$ , derfor være omtrent nul og det vil være tryktabet (friktionstab + tab i enkeltmodstande), der dominerer anlægskarakteristikken. Udtrykket reduceres således til følgende:

$$\Delta p_p \cong \Delta p$$

### 2.1.2 Anlægskarakteristik - Turbulent strømning

Turbulent strømning er den mest almindelige strømningsform i varmeanlæg, og for denne gælder at:

$$\Delta p = K \cdot q_v^n$$

Hvor  $q_v$  er volumenstrømme [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]. Det skal bemærkes at formelen er meget tilnærmet og gælder kun indenfor små ændringer i  $q_v$ . Ved praktiske beregninger kan eksponenten  $n$  sættes til 2, dvs. at anlæggets tryktab varierer proportionalt med kvadratet af volumenstrømmen  $q_v$ . Konstanten  $K$  bestemmes på basis af konkrete målinger (eller beregninger), der for et givet anlæg giver et sæt sammenhørende værdier af  $q_v$  og  $\Delta p$ , som kan benyttes til at vurdere den nødvendige pumpeeffekt. I dette projekt er der dog ikke foretaget disse målinger.

### 2.1.3 Effektforbrug

Det gennemstrømmende vand tilføres effekt fra det roterende løbehjul. Den hydrauliske effekt [W], som pumpen afsætter til vandet er:

$$P_h = \Delta p \cdot q_v$$

Hvor  $q_v$  som nævnt er volumenstrømmen [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] og  $\Delta p$  er tryktabet [Pa].

Pumpeeffekten eller akseffekten [W], der skal tilføres fra motoren til pumpeakslen for at yde  $P_h$  og samtidigt overvinde de indre tab og tab i lejerne er:

$$P_a = \frac{\Delta p \cdot q_v}{\eta_p}$$

hvor  $\eta_p$  er pumpens virkningsgrad, dvs. den brøkdelt af den til pumpeakslen tilførte effekt, der overføres som nyttiggjort effekt i vandet.  $(1 - \eta_p)$  er den brøkdelt af akseffekten der som tab omdannes til varme i vandet, pumpe og lejer.

---

Den elektriske effekt (optagen effekt) [W], som pumpemotoren optager fra el-nettet er angivet både i SI-enheder og ”gamle” enheder:

$$P_{el} = \frac{\Delta p [Pa] \cdot q_v [m^3 / s]}{\eta_p \cdot \eta_{mo} [-]} = 28 \cdot \frac{\Delta p [bar] \cdot q_v [m^3 / h]}{\eta_p \cdot \eta_{mo} [-]}$$

Hvor  $\eta_{mo}$  er elektromotorens virkningsgrad.

De ovenfor nævnte formler for  $P_h$ ,  $P_a$  og  $P_{el}$  benævnes også ofte  $P_3$ ,  $P_2$  og  $P_1$ .

## 2.2 Nødvendigt tryk, volumenstrøm og el-effekt for to-strengede radiatoranlæg i småhuse

Nedenstående er primært baseret på [9]. Den nødvendige volumenstrøm  $q_v$  bestemmes af den maksimalt nødvendige varmeeffekt  $\Phi$  (dimensionerende varmetab) og det mindste temperaturfald  $\Delta T$  ved formlen:

$$q_v [m^3 / h] = 0,86 \cdot \frac{\Phi [kW]}{\Delta T [^{\circ}C]}$$

Hvor faktoren 0,86 er en omregningsfaktor mht. vands fysiske egenskaber. Det nødvendige pumpetryk  $\Delta p_p \cong \Delta p$  bestemmes som tryktabet fra pumpe til fjerneste radiator og tilbage til pumpen. Dette kaldes ofte for det ugunstigste kredsløb. Modtanden omfatter tryktabet i rør, bøjninger, varmeveksler, radiatorventiler og radiatorer. Det antages, at de dominerende bidrag til tryktabet kommer fra veksleren, radiatorventilerne og rørledningerne.

Tryktabet i en standard varmeveksler afhænger meget af vandføringen og dermed varmebehovet, og det vil for typiske varmebehov i én- og tofamiliehuse udgøre 1-4 kPa. I de følgende beregninger anvendes på den sikre side et tryktab på 4 kPa.

Det vil være rimeligt at regne med en ventilmodstand på ca. 5 kPa på den fjerneste radiator. Muligheden for en formodstand er ofte indbygget i radiatorventiler (ventil med integreret formodstand). Med en ventilmodstand på den yderste radiator på 5 kPa (og tilsvarende tilpassede større formodstande på de øvrige radiatorer) opnås en såkaldt god ventilautoritet med deraf følgende god ventilfunktion og vandfordeling.

Tryktabet i lige rør kan beregnes af følgende formel:

$$\Delta p_r [Pa] = \lambda \cdot \frac{\rho \cdot v^2 \cdot L}{2 \cdot d}$$

Hvor  $\lambda$  er friktionskoefficienten [rent tal],  $\rho$  er vandets densitet [ $kg/m^3$ ],  $v$  er vandets middelhastighed [ $m/s$ ],  $L$  er rørledningens længde [ $m$ ] og  $d$  er rørets indvendige diameter [ $m$ ]. Friktionskoefficienten  $\lambda$  afhænger af karakteren af vandets strømning, der udtrykkes ved Reynolds tal  $Re$  [-], og rørets ruhed  $k$  [ $m$ ]. Der er normalt tale om turbulent strømning i varmerør ( $Re > 2300$ ). For turbulent strømning bestemmes  $\lambda$  af Colebrooks formel, der ikke kan løses eksplicit. For at lette brugen af Colebrooks formel, er der udarbejdet en række tilnærmede formler, hvor værdien af friktionskoefficienten  $\lambda$  er udtrykt eksplicit, f.eks. Tor Wadmarks formel:

$$\lambda = \left[ -2 \cdot \log \left( \frac{k}{d \cdot 3,71} + \left( 5 - 0,1 \cdot \log \frac{k}{d} \right) \cdot \text{Re}^{-0,9} \right) \right]^{-2}$$

Formlen anvendes i afsnit 2.4 og 2.5 til beregning af tryktab i rørledninger.

### 2.3 Nødvendig varmeeffekt

Baseret på målte varmemeforbrug i 12 fjernvarmeforsynede huse i Svendborg i perioden marts 2003 – marts 2004 samt beregnede varmemeforbrug i typiske huse, foretages beregning af det dimensionerende varmetab (= nødvendige varmeeffekt), der er grundlaget for beregning af den nødvendige volumenstrøm og dermed behovet for el til cirkulationspumpning i husene i Svendborg og eksisterende enfamiliehuse generelt. De målte fjernvarmeforbrug mm. er vist i tabel 1. Det skal bemærkes at alle huse (undtagen ét) har et bruttoetageareal på 120 m<sup>2</sup> og stort set alle er i ét plan, hvilket skyldes at det er tilstræbt at udvælge huse med samme størrelse, så de så vidt muligt er sammenlignelige.

Tabel 1. Fjernvarmeforbrug i 12 huse i Svendborg - perioden marts 2003 til marts 2004.

| Hus    | Opført<br>[årstal] | Varmeforbrug<br>[kWh/år] | Afkøling<br>[K] | Fjernvarme<br>[m <sup>3</sup> ] | Bruttoetageareal<br>[m <sup>2</sup> ] | Varmeforb.<br>[kWh/m <sup>2</sup> /år] |
|--------|--------------------|--------------------------|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|
| 1      | 1877 <sup>1)</sup> | 21694                    | 35              | 529                             | 175                                   | 124                                    |
| 2      | 1947               | Oliefyret <sup>2)</sup>  |                 |                                 |                                       |                                        |
| 3      | 1977               | 14.410                   | 34              | 363                             | 120                                   | 120                                    |
| 4      | 1976               | 14.191                   | 34              | 363                             | 120                                   | 118                                    |
| 5      | 1933               | 15.749                   | 37              | 367                             | 120                                   | 131                                    |
| 6      | 2000               | 11.977                   | 23              | 448                             | 120                                   | 100                                    |
| 7      | 1972               | 12.817                   | 34              | 329                             | 120                                   | 107                                    |
| 8      | 1977 <sup>1)</sup> | 13.569                   | 28              | 418                             | 120                                   | 113                                    |
| 9      | 1905               | 15.738                   | 36              | 371                             | 120                                   | 131                                    |
| 10     | 1977               | 13.372                   | 38              | 306                             | 120                                   | 111                                    |
| 11     | 1976 <sup>1)</sup> | 12.535                   | 28              | 387                             | 120                                   | 104                                    |
| 12     | 1977               | 15.022                   | 22              | 580                             | 120                                   | 125                                    |
| 13     | 1978               | 13.926                   | 34              | 349                             | 120                                   | 116                                    |
| Middel | -                  | 14.550                   | 32              | 401                             | -                                     | 117                                    |

<sup>1)</sup> Ombygget hhv. 2003 (1), 1989 (8) og 1986 (11).

<sup>2)</sup> Olieforbrug målt i december måned 2000-2004, som indikerer et varmemeforbrug på ca. 12.000 kWh/år.

Det dimensionerende varmetab  $\Phi$ , kan tilnærmelsesvis bestemmes ud fra følgende formel som anført i Varme Ståbi [10]:

$$\Phi = \frac{GAF}{GD_{\text{aktuel}}} \cdot \frac{32}{24}$$

Hvor GAF er det graddøgnsafhængige varmemeforbrug, svarende til nettoenergiforbruget til rumopvarmning [kWh/år] og  $GD_{\text{aktuel}}$  er det målte antal skyggegraddøgn for det aktuelle år, korregeret for sol og vind [K·døgn/år]. Faktoren 32 er den dimensionerende temperaturforskel og 24 er antal timer pr. døgn.

---

Det samlede varmeforbrug er summen af det ovenfor nævnte graddøgnsafhængige forbrug (GAF) og det graddøgn uafhængige forbrug (GUF). GUF består af varmtvandsforbruget, rørtab, tomgangstab fra kedler og varmtvandsbeholder mv. og afhænger meget af beboerantal og –vaner. GAF afhænger primært af isoleringsstandarden. GAF kan bestemmes, når GUF og det samlede varmeforbrug er kendt.

I typiske småhuse vil GUF andrage mellem 25 og 35 %, og i det følgende antages det for de konkrete forsøgshuse at udgøre 30 % af det samlede varmeforbrug. Dette svarer til f.eks. et varmtvandsforbrug på 3000 kWh/år og et ikke-nyttiggjort tab fra varmtvandsbeholder, fjernvarmeunit, rør mv. på 1400 kWh/år.

Det aktuelle antal skyggegraddøgn for måleperioden baseret på månedlige opgørelser af DMI for nærmeste målestation, som er Årslev ved Odense, kan beregnes til 3088 K·døgn. Der foreligger for den aktuelle målestation kun solkorrigerede graddøgn for de sidste 5 måneder af perioden. For de øvrige måneder korrigeres de målte skyggegraddøgn ved at multiplicere med forholdet mellem skygge- og solkorrigerede graddøgn for nærmeste målestation hvor der umiddelbart foreligger solkorrigerede graddøgn, som målestationen i Københavns Lufthavn. Det solkorrigerede graddøgntal bliver således 2345. Korrektions for vind vil typisk betyde at graddøgntallet skal justeres lidt op, men der ses bort fra denne korrektion, hvilket er på den sikre side mht. det dimensionerende varmetab.

Med et gennemsnitligt varmeforbrug på 14.550 kWh i måleperioden (jf. tabel 1), kan det gennemsnitlige dimensionerende varmetab for de 13 huse i Svendborg beregnes:

$$Q_{\text{dim}} = \frac{14.550 \cdot (1 - 0,3)}{2.345} \cdot \frac{32}{24} = 5,8 \text{ kW}$$

Der er tale om et lille dimensionerende varmetab set i forhold til resultatet af detaljerede energiberegninger på et typisk 135 m<sup>2</sup> parcelhus fra 1960'erne [11], hvor der er beregnet et dimensionerende varmetab på ca. 10 kW. Men det er forventeligt at varmetabet er noget større end de ca. 6 kW i et sådant lidt større og ældre hus, der må forventes at være dårligere isoleret. Beregnes det dimensionerende varmetab ud fra ovenstående formel på basis af det i [11] beregnede nettoenergiforbrug til rumopvarmning på ca. 22.500 kWh (=GAF), baseret på standard vejrdato, og et typisk graddøgntal på 2800, fås også ca. 10 kW. Der er desuden foretaget detaljerede beregninger på en konkret 161 m<sup>2</sup> murerstervilla med oprindelige klimaskærmskonstruktioner [12], der viser et dimensionerende varmetab på ca. 15 kW.

Da det af [11] fremgår, at størrelsen af et gennemsnitligt dansk parcelhus er 142 m<sup>2</sup> og at 60 % af alle parcelhuse er opført efter 1960, må det konkluderes, at størsteparten af danske enfamiliehuse vil have et effektbehov på mellem 5 og 10 kW, mens de største og dårligst isolerede huse vil have et effektbehov på op mod 20 kW.

## 2.4 Eksisterende enfamiliehuse

I det følgende beregnes den teoretisk nødvendige elektriske effekt til cirkulationspumpning, som der kræves til rumopvarmningens spidsbelastninger i typiske eksisterende danske enfamiliehuse. Det vurderes at de fleste varme anlæg i eksisterende enfamiliehuse er to-strengede, da det i mange år har været det mest anvendte varmfordelingssystem. Desuden er mange gamle et-strengede anlæg, der tidligere var meget anvendt i enfamiliehuse, blevet omlagt til to-strengede anlæg ved konvertering til fjernvarme. Beregningerne foretages derfor for sådanne anlæg. Beregningerne er simplificeret, som beskrevet i afsnit 2.2.

Den nødvendige elektriske effekt til cirkulationspumpning afhænger af det dimensionerende varmetab  $\Phi$ , centralvarmevandets afkøling  $\Delta T$  og anlægsudformningen, herunder rørdiameteren, rørmaterialet samt rørenes beskaffenhed. Det vil derfor være relevant at foretage følsomhedsanalyser, hvor der varieres på relevante parametre. I Tabel 2 er vist, hvilke værdier, der er valgt at regne med. Nedenfor er parametervariationerne nærmere forklaret.

Tabel 2. Parametre der påvirker elforbruget til pumpning og overordnede anvendte værdier for disse.

| Parameter             | Symbol     | Enhed | Værdier                               |
|-----------------------|------------|-------|---------------------------------------|
| Nødvendig varmeeffekt | $\Phi$     | kW    | 5 ; 10 ; 20                           |
| Afkøling              | $\Delta T$ | °C    | 15 ; 30                               |
| Middel vandtemperatur | $T_m$      | °C    | 50                                    |
| Indvendig rørdiameter | d          | m     | 0,0161 ; 0,0216 ; 0,0273 <sup>1</sup> |
| Ækvivalent rørlængde  | L          | m     | 50 ; 100                              |
| Ruhed af rør          | k          | m     | 0,0000015 ; 0,001 <sup>2</sup>        |
| Virkningsgrad         | $\eta$     | -     | Se nedenfor                           |

<sup>1</sup> Svarer til hhv. ½, ¾ og 1 tomme stålrør. Nærmere forklaring fremgår af teksten nedenfor.

<sup>2</sup> Svarer til hhv. kobberør uden belægninger (glat) og stålrør med belægninger (ru), jf. [9]. Derved er hele spekteret af rørtilstande dækket. Belægninger er normalt ikke aktuelt i forbindelse med radiatoranlæg med stålrør, men der regnes med en ruhed svarende til rør med belægninger for at være på den sikre side.

Den nødvendige varmeeffekt er der redegjort for tidligere. For at dække eksisterende huses effektbehov gennemføres der beregninger ud fra effektbehov på hhv. 5, 10 og 20 kW.

Afkølingen under cirkulation i radiatorerne ved dimensionerende udetemperatur, er for varmeanlæg tilsluttet fjernvarme, beskrevet i bygningsreglementet 1995, idet der foreskrives at der skal dimensioneres for en fremløbstemperatur på 70°C og en afkøling på mindst 30°C. Generelt vil de fleste varmeanlæg være udlagt til en afkøling på 20 – 40°C, idet det der nok sjældent vil forekomme anlæg med en afkøling på 40°C. Tidligere har det almindelige temperatursæt været 90/70°C, altså en afkøling på 20°C.

For kedler med lille vandindhold (gælder især gaskedler) skal der i henhold til bygningsreglementet for småhuse dimensioneres for en afkøling på maksimalt 15°C ved en udetemperatur på -12°C. Denne relativt lille afkøling ønskes for at undgå for store temperaturvariationer på det varme radiatorvand og dermed støj, samt for at sikre en tilstrækkelig vandføring i kedlens veksler, jf. energibalancen for varmeanlægget, da veksleren ellers vil blive termisk overbelastet og dermed vil levetiden blive reduceret.

På denne baggrund vil det være rimeligt at regne med en mindste afkøling på 30°C for fjernvarme og største afkøling på 15°C for olie/gas kedler.

Middeltemperaturen i varmerør er typisk 45-55°C. Der benyttes derfor værdier for massefylde og viskositet for vand ved 50°C. I fjernvarmeforsynede huse med varmeveksler er fremløbstemperaturen på sekundærsiden typisk 65°C, mens returløbstemperaturen er 35°C, hvilket netop giver en middelrørtemperatur på 50°C.

---

De indvendige diametre er fastlagt ud fra dimensioner på stålrør. Som tidligere nævnt regnes med samme diameter for hele varmeanlægget, selvom dimensionen i praksis vil være tilpasset volumenstrømmen. Der er forudsat  $\frac{1}{2}$  tomme rør for 5 kW,  $\frac{3}{4}$  tomme rør for 10 kW huse og en 1 tomme rør for 20 kW huse. Sidstnævnte er i overensstemmelse med fordelingsanlæg i ældre huse, der ikke er blevet renoveret/fornyset, idet det tidligere (før energikriserne) var almindeligt at anvende større rørdimensioner end i dag, især i huse opført indtil 1945, hvor anlæggene ofte var udformet til vandcirkulationen baseret på naturligt drivtryk. De anvendte rørdimensioner svarer til nominelle diametre på hhv. 15, 20 og 25 mm, og de indvendige diametre er fastlagt ud fra godstykkelse og en middelværdi af minimum og maksimum udvendig diameter (iht. DIN 2440), da stålrør kun kan produceres med en tolerance på ca. 1 mm. En meget anvendt kobberørstype er 18/1,0, hvor den indvendige rørdiameter er 16 mm, der stort set svarer til  $\frac{1}{2}$  tomme stålrør. Det skal bemærkes at med de forudsatte dimensioner holdes tryktabet pr. meter under eller omkring de maksimale 150 Pa/m, der typisk anbefales ved projektering af moderne varmeinstallationer.

Med hensyn til rørlængden, kan man for to-strengede anlæg normalt antage fremløb = returløb, dvs. rørlængde = 4 x husets længde + 2 x huset bredde. Det er valgt at regne med rørlængder på 50 og 100 m, der må betragtes som hhv. minimum og maksimum længder for typiske to-strengede anlæg i enfamiliehuse, der er udlagt fornuftigt og uden unødvendige afgreninger.

Den samlede virkningsgrad af elmotor og pumpe fastsættes for hver af de 6 kombinationer af effektbehov og afkøling under forudsætning af anvendelse af sparepumper af fabrikatet Biral (nogle af de mest effektive på markedet). Ved en afkøling på 30°C anvendes data for den mindste type MC10 og ved en afkøling på 15°C anvendes data for den lidt større pumpetype MC12.

Virkningsgraden bestemmes som forholdet mellem den beregnede hydrauliske effekt (tryk x vandføring) og den af pumpekurverne aflæste optagne effekt  $P_{el}$ . Tilsvarende resultater kunne beregnes ud fra anvendelse af den senere markedsførte små og effektive pumper.

#### *2.4.1 Resultater af beregningerne*

I tabel 3 er vist resultater af beregningerne af tryktab, hydraulisk og elektrisk effekt for de forskellige undersøgte maksimale varmebehov, ruheder af rør, rørlængder og afkølinger.

Tabel 3. Samlet tryktab, nødvendig hydraulisk effekt og elektrisk effekt i afhængighed af varmeeffektbehov, ruhed af rør og rørlængde samt afkøling.

| Afkøling [ $^{\circ}\text{C}$ ]             | 30                                           |       |       | 15    |       |       |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Varmebehov [kW]                             | 5                                            | 10    | 20    | 5     | 10    | 20    |
| Volumenstrøm [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]      | 0,143                                        | 0,287 | 0,573 | 0,287 | 0,573 | 1,147 |
| Rørtype/Rørlængde                           | Samlet tryktab $\Delta p$ [kPa]              |       |       |       |       |       |
| Glat / 50                                   | 11,1                                         | 10,7  | 10,9  | 15,9  | 14,7  | 15,4  |
| Ru / 50                                     | 13,9                                         | 12,9  | 13,4  | 28,2  | 24,3  | 26,2  |
| Glat / 100                                  | 13,2                                         | 12,4  | 12,8  | 22,9  | 20,5  | 21,9  |
| Ru / 100                                    | 18,9                                         | 16,8  | 17,8  | 47,4  | 39,7  | 43,4  |
| Rørtype/Rørlængde                           | Nødvendig hydraulisk effekt $P_h$ [W]        |       |       |       |       |       |
| Glat / 50                                   | 0,44                                         | 0,85  | 1,74  | 1,27  | 2,35  | 4,91  |
| Ru / 50                                     | 0,55                                         | 1,03  | 2,13  | 2,25  | 3,87  | 8,35  |
| Glat / 100                                  | 0,53                                         | 0,99  | 2,04  | 1,82  | 3,26  | 6,96  |
| Ru / 100                                    | 0,75                                         | 1,34  | 2,83  | 3,78  | 6,32  | 13,83 |
| Rørtype/Rørlængde                           | Nødvendig elektrisk pumpeeffekt $P_{el}$ [W] |       |       |       |       |       |
| Glat / 50                                   | 8,8                                          | 8,5   | 11,6  | 12,7  | 11,7  | 16,4  |
| Ru / 50                                     | 11,1                                         | 10,3  | 14,2  | 22,5  | 19,4  | 27,8  |
| Glat / 100                                  | 10,5                                         | 9,9   | 13,6  | 18,2  | 16,3  | 23,2  |
| Ru / 100                                    | 15,0                                         | 13,4  | 18,9  | 37,8  | 31,6  | 46,1  |
| Virkningsgrad: $\eta_p \cdot \eta_{mo}$ [-] | 0,05                                         | 0,10  | 0,15  | 0,10  | 0,20  | 0,30  |

Det skal bemærkes, at forskellen i tryktabet mellem et glat og et ru rør er betydelig ved en afkøling på  $15^{\circ}\text{C}$ , mens forskellen er væsentligt mindre, når der er forudsat en afkøling på  $30^{\circ}\text{C}$  og samme varmebehov. Dette skyldes den mindre nødvendige vandmængde og illustrerer den store betydning af at reducere denne vandstrøm.

Den nødvendige hydrauliske effekt, der skal leveres til vandet, for at overvinde tryktabet er generelt særdeles beskeden ved en afkøling på  $30^{\circ}\text{C}$ . Det ses også at ved den halve afkøling og dermed den dobbelte volumenstrøm er den hydrauliske effekt mange gange større, hvilket skyldes tryktabets betydelige afhængighed af volumenstrømmen.

Det ses mere konkret at for huse med et varmebehov under 10 kW og afkøling på  $30^{\circ}\text{C}$  - hvilket må antages at gælde for alle fjernopvarmede huse opført efter energikriserne og en stor del af husene opført i 60 og 70'erne, dvs. en meget stor del af danske enfamiliehuse – er den nødvendige hydrauliske effekt på under 1 W. Det ses også at den nødvendige effekt for et ældre, stort og dårligt isoleret hus (varmebehov 20 kW) med lille radiatorkapacitet (afkøling på  $15^{\circ}\text{C}$ ) og stålrør kan snige sig op på lidt over 10 W. I et sådan tilfælde vil udskiftning til nye glatte rør med samme rørdimension alt andet lige mere end halvere effektbehovet. Det skal dog bemærkes, at det næppe vil kunne betale sig at udskifte rørsystemet, med mindre rørene alligevel skal udskiftes af andre årsager. Derimod vil det stadig være en god ide at udskifte en gammel pumpe med en effektiv pumpe.

De beregnede hydrauliske effekter er konverteret til elektriske optagne effekter, som er anført nederst i tabellen. De forudsatte virkningsgrader er som nævnt baseret på driftsdata for markedets bedste og mindste sparepumper. Det ses at den nødvendige elforbrug i den dimensionerende situation i de fleste tilfælde er på 5 – 15 W. For de mest ugunstige og ret sjældne kombinationer af forudsætninger bliver elforbruget 30 – 45 W.

---

De relativt dårlige virkningsgrader ved små varmebehov og volumenstrømme hænger sammen med at den maksimale pumpevirkningsgrad for centrifugalpumper typiske ligger ved ca. 65 % af den maksimale vandføring. For de forudsatte pumper (Biral MC 10 og MC 12), er den maksimale vandføring ca. 2 m<sup>3</sup>/h, svarende til en optimal virkningsgrad ved ca. 1,3 m<sup>3</sup>/h, hvilket ikke er et niveau der generelt opnås, særligt ikke i betragtning af at varmeanlæg i 85 % af varmesæsonen kun kører med under 50 % af den dimensionerende belastning. Det skal bemærkes, at de små Biral pumper ikke er automatisk regulerbare (men trinløst manuelt regulerbare). Med en automatisk regulering (som ved f.eks. Grundfos Alpha Pro, Smedegaard Isobar 2-50C (ikke med i forsøg) og Wilo Stratos Eco) vil årsforbruget alt andet lige kunne blive lavere.

På baggrund af de gennemførte beregninger, ser det ud til at de fleste enfamiliehuse, der er bygget fra og med starten af 1960'erne vil kunne klare sig fint med de nye effektive små sparepumper. Faktisk viser beregninger at nye sparepumper i mange tilfælde stadig er overdimensioneret, således at der kunne være behov for udvikling af endnu mindre pumper, der også særligt vil være hensigtsmæssige til nye huse med meget lavt varmebehov på under 5 kW, svarende til nye energibestemmelser og nye lavenergiklasser (mere herom i det efterfølgende afsnit).

Det skal bemærkes at ovenstående beregninger er på den sikre side, idet de er foretaget med en fortrykt traditionel ventilmodstand på 5 kPa, hvilket i mange nyere huse og energirenoverede huse næppe er rimeligt at regne med pga. behov for mindre "ventilautoritet" som følge af mindre vandføring og dermed mindre modstand i rørledningerne.

---

## 2.5 Enfamiliehuse svarende til nye energibestemmelser

Der foretages også beregninger af det nødvendige pumpebehov i huse svarende til krav i nye energibestemmelser, der vil være gældende fra 1. januar 2006. Desuden vurderes pumpebehovet for huse svarende til lavenergiklasse 1, dvs. huse med et varmebehov på omtrent 50 % af behovet for et hus opført efter kravene i bygningsreglementet efter 1. Januar 2006, hvilket omtrent svarer til niveauet i såkaldte passiv huse.

I de senere år er det blevet meget udbredt at anvende gulvvarme som primær opvarmningsform i nye huse, hvilket primært skyldes fremkomsten af væsentlig bedre isolerede vinduer, muligheden for bedre pladsudnyttelse (ingen radiatorer) og komfortforbedringen i form af ”varme fødder” og god varmefordeling. Skønsmæssigt installeres der gulvvarme i 90 % af nybyggede huse. En oplagt løsning i fremtidens meget bedre isolerede huse ville være gulvvarme som basisvarme over hele huset og med meget lav temperatur, forsynet fra lavenergi-fjernvarme eller evt. varmepumpeanlæg. Derfor undersøges pumpebehovet i relation til brug af gulvvarme.

Sammenlignes to identiske huse med hhv. et gulvvarmeanlæg og et radiatoranlæg, vil huset med gulvvarme typisk kræve et større pumpebehov, hvilket skyldes behovet for relativt lange gulvvarmeslanger samt mindre afkøling i forhold til radiatoranlæg og deraf følgende større volumenstrøm og tryktab.

Gulvvarmeanlæg opbygges med blandesløjfe til opnåelse af korrekt fremløbstemperatur og med parallelforbundne kredse til de enkelte rum i huset via et fordelerrør. Den nødvendige fremløbstemperatur ved dimensionerende udetemperatur, vil i 2006 huse være omtrent 30 - 35°C. Dimensioneringsgrundlaget for pumpen er tryktabet i den længste rørkreds, der anbefales aldrig at være længere end 120 m. I forbindelse med gulvvarme dimensioneres typisk efter en afkøling på mindst 5°C.

Det dimensionerende varmetab baseres på detaljerede beregninger samt målinger på forsøgshuse med et varmebehov, der højest er som krævet i de nye energibestemmelser. Beregningerne viser at det dimensionerende varmetab for sådanne typiske huse på omkring 130-150 m<sup>2</sup> vil ligge i størrelsesordenen 3,5 kW. Det forøgede varmetab til jord og udeluft via fundament, som gulvvarme giver anledning til, er der taget højde for i beregningen af det dimensionerende varmebehov.

Målinger af energiforbrug og vandføring på huse beliggende i hhv. Snekkersten og Brøndby indikerer en god overensstemmelse mellem beregninger og målinger. I Tabel 4 er vist uddrag af måledata for et koldt døgn med omtrent dimensionerende temperaturforskel (32°C). Varmeeffektbehovet er større i huset i Brøndby end i Snekkersten, hvilket delvist kan forklares ved en lidt dårligere isoleringsstandard. De målte varmeeffektbehov er målt under indflydelse af gratisvarme fra personer, apparatur og solindfald, så effektbehovet ville have været større hvis disse tilskud ikke var forekommet og ca. svarende til 3,5 kW. Det ses at afkølingen ligger på et forventet niveau omkring 5 °C og at volumenstrømmen er relativt beskeden i forhold til den vandføring, som pumpen kan levere i det punkt på karakteristikken, hvor virkningsgraden er størst.

Tabel 4. Målinger af varmeforbrug, inde- og udeklima mv. i et koldt døgn (kl. 12 d. 21/1 til kl. 12 d. 22/1 2004). Det skal bemærkes, at der er tale om 24 timers middelværdier.

| Hus, beliggenhed                 | Snekkersten | Brøndby |
|----------------------------------|-------------|---------|
| Udetemperatur [°C]               | -8,9        | -7,1    |
| Indetemperatur [°C]              | 22,5        | 23      |
| Temperaturforskel [°C]           | 31,4        | 30,1    |
| Vandmængde [m <sup>3</sup> ]     | 14,26       | 10,01   |
| Varmeforbrug [kWh]               | 58          | 72      |
| Varmeeffekt [kW]                 | 2,4         | 3,0     |
| Volumenstrøm [m <sup>3</sup> /h] | 0,59        | 0,42    |
| Afkøling [K]                     | 3,5         | 6,2     |

Typiske huse, der opføres efter de nye energibestemmelser og med et energibehov svarende til lavenergiklasse 1, vil have et dimensionerende varmetab på ca. 2 kW.

Beregninger af den totale tryktab baseres på et konkret udført gulvvarmeanlæg i et af ovennævnte forsøgshuse. Huset har et bruttoetageareal på 135 m<sup>2</sup> og er opført i Snekkersten af Lind & Risør A/S.

Først bestemmes den samlede nødvendige volumenstrøm:

$$q_v \left[ m^3 / h \right] = 0,86 \cdot \frac{3,5 [kW]}{5 [°C]} = 0,602 m^3 / h$$

Den længste kreds er 72 m, mens varmetabet i dette rum udgør ca. 12 % af det samlede dimensionerende varmetab. Den nødvendige volumenstrøm i den længste kreds bliver således 0,0722 m<sup>3</sup>/h = 0,020 l/s. Til gulvvarmeanlæg i småhuse anvendes typisk Pexrør PN 6 med dimension 15 x 2,5 rør eller 18 x 2,5, hvor 2,5 er godstykkelsen i mm og 15 og 18 er udvendig diameter i mm. Ud fra tidligere omtalte formel til beregning af tryktab i lige rør kan beregnes tryktab på hhv. 137 Pa/m og 40 Pa/m. Der anvendes på den sikre side et passende tryktab på 5 kPa over ventilen. Idet den mindste rørdimension antages anvendt, bliver det totale tryktab over den længste varmekreds og fordelingsventilen da:

$$\Delta p = 137 Pa / m \cdot 72 m \cdot 10^{-3} kPa / Pa + 5,0 kPa = 14,9 kPa$$

Den nødvendige hydrauliske effekt bliver herefter:

$$P_h = 14,9 \cdot 10^3 Pa \cdot \frac{0,602 m^3 / h}{3600 s / h} = 2,5 W$$

Hvis den lidt større dimension 18 x 2,5 benyttes, kan der beregnes et totalt tryktab på 7,9 kPa og en hydraulisk pumpeeffekt på 1,3 W. Hvis der f.eks. anvendes en Biral MC 10 sparepumpe, vil den optage 11 W under forudsætning af at den mindste rørdimension benyttes, og 7 W hvis den største rørdimension anvendes. Med andre nyere pumper, som Grundfos Alpha Pro, Smedegaard Isobar 2-50C (ikke med i forsøg) og Wilo Stratos Eco, vil tilsvarende el-effekter kunne opnås.

Beregningerne viser, som forventet, at små sparepumper kan benyttes uden problemer i typiske enfamiliehuse med gulvvarme, der er opført i henhold til nye energibestemmelser 2006. Elforbruget ved dimensionerende driftsforhold vil være ca. 10 W. I fremtidens lavenergihuse vil pumpeeffektbehovet være væsentlig mindre, og elforbruget kan mindskes yderligere, hvis mindre pumper med blot lige så god virkningsgrad udvikles.

## 2.6 Betegnelser og enheder

| Betegnelse              | Beskrivelse                      | Enhed                                       |
|-------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------|
| $\Delta p_p$            | Pumpetryk                        | Pa                                          |
| $\Delta p$              | Tryktab                          | Pa                                          |
| $\Delta p_t$            | Forskel i totaltryk              | Pa                                          |
| $\Delta p_g$            | Drivtryk fra gravitationskræfter |                                             |
| $q_v$                   | Volumenstrøm                     | m <sup>3</sup> /s (eller m <sup>3</sup> /h) |
| K                       | Konstant                         | -                                           |
| $P_h$ (eller $P_3$ )    | Hydraulisk effekt                | W                                           |
| $P_a$ (eller $P_2$ )    | Pumpeeffekt (eller akseffekt)    | W                                           |
| $P_{el}$ (eller $P_1$ ) | El-effekt (optagen effekt)       | W                                           |
| $\eta_p$                | Pumpevirkningsgrad               | -                                           |
| $\eta_m$                | Motorvirkningsgrad               | -                                           |
| $\Phi$                  | Dimensionerende varmetab         | kW                                          |
| $\Delta T$              | Afkøling                         | K                                           |
| $\Delta p_r$            | Tryktab i lige rør               | Pa                                          |
| $\lambda$               | Friktionskoefficient             | -                                           |
| $\rho$                  | Densitet af vand                 | kg/m <sup>3</sup>                           |
| $v$                     | Middelhastighed af vand          | m/s                                         |
| L                       | Rørledningens længde             | m                                           |
| d                       | Indvendig rørdiameter            | m                                           |
| Re                      | Reynolds tal                     | -                                           |
| k                       | Rørledningens ruhed              | m                                           |
| GAF                     | Graddøgnaafhængigt forbrug       | kWh/år                                      |
| GUF                     | Graddøgnaafhængigt forbrug       | kWh/år                                      |
| GD <sub>aktuel</sub>    | Graddøgn for en bestemt periode  | K·døgn/år                                   |

### 3 Målinger af elforbrug til cirkulationspumpning

Der er foretaget målinger af elforbruget til cirkulationspumpning i 13 eksisterende huse samt 2 nye huse. De to nye huse opfylder energikravene i nye skærpede energibestemmelser gældende fra 1. januar 2006. Der er foretaget kortvarige målinger af husenes oprindelige pumpe elforbrug før udskiftningen samt mere langvarige målinger på de nyinstallerede sparepumper. Resultaterne skal tages med forbehold for de relativt kortvarige måleperioder og det begrænsede antal forsøg samt de forholdsvis forskelligartede pumper i før og efter situationen

I Tabel 5 er vist en oversigt over de pumper, som har indgået i undersøgelsen af elbehovet til cirkulationspumpning. Alle huse er forsynet med fjernvarme, undtagen ”Hus 2”, der har oliefyr.

Hus 1-13 er alle eksisterende småhuse i Svendborg fjernvarmes forsyningsområde, hvoraf de fleste har et etageareal på omkring 120 m<sup>2</sup>. Det totale gennemsnitlige varmeforbrug inkl. varmt brugsvand og tab er som tidligere nævnt målt til 14.550 kWh/år, svarende til et nettoenergiforbrug til rumopvarmning på 85 kWh/m<sup>2</sup>/år, idet der som tidligere er regnet med et forbrug af varmt brugsvand og tab på 30 %. Dette er et forholdsvis lavt forbrug i forhold til det gennemsnitlige årlige nettoenergiforbrug til rumopvarmning baseret på energistyrelsens energistatistik, der er på 103 kWh/m<sup>2</sup>. Det mindre målte forbrug i Svendborg husene skyldes bl.a. at måleperioden havde 11 % færre solkorrigerede graddøgn end normalt.

Hus 14+15 er de to nye huse, der har et bruttoetageareal på ca. 135 m<sup>2</sup>. Fjernvarmeforbruget (inkl. varmt brugsvand) i disse huse har i fyringssæsonerne 2003/2004 + 2004/2005 været ca. 8000-9000 kWh/år.

I bilag 2 er vist pumpekurver for udvalgte sparepumper, der indgår i undersøgelsen.

Tabel 5. Oversigt over varmeinstallation samt oprindelige pumper og de nyinstallerede sparepumper.

| Hus | Varme-<br>afgiver | Oprindelige pumper               | Sparepumper              | Bemærkninger til sparepumpe       |
|-----|-------------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| 1   | Radiator          | Grundfos UPS 25-40               | Biral MC 10-1            | Har trinløs manuel regulering     |
| 2   | Radiator          | Grundfos UM 36 30F <sup>1)</sup> | Biral MC 12              | Har trinløs manuel regulering     |
| 3   | Radiator          | Grundfos UPS 20-45               | Wilo EasyStar 25/1-5     | Har automatisk regulering         |
| 4   | Radiator          | Grundfos UPS 15-35               | Smedegård Isobar 2-65 C  | Har automatisk regulering         |
| 5   | Radiator          | Grundfos UPS 25-40               | Grundfos Alpha+ 25-40    | Har automatisk regulering         |
| 6   | Radiator          | Grundfos UPS 25-40               | Grundfos UPE 15-40       | Har automatisk regulering         |
| 7   | Radiator          | Grundfos UPS 15-40               | Wilo Star-EP25 1-3       | Har automatisk regulering         |
| 8   | Radiator          | Grundfos UPS 25-40               | Grundfos UPS 25-40       | Eksisterende pumpe udskiftes ikke |
| 9   | Radiator          | Wilo TF110                       | Smedegård MiniWatt 2-50  | Ikke regulerbar                   |
| 10  | Radiator          | Grundfos UPS 25-45               | Biral MC 12-1            | Har trinløs manuel regulering     |
| 11  | Radiator          | Grundfos UPS 15-20               | Grundfos Alpha Pro 15-40 | Har automatisk regulering         |
| 12  | Radiator          | Grundfos UPS 25-40               | Grundfos Alpha Pro 25-40 | Har automatisk regulering         |
| 13  | Radiator          | Grundfos UPS 25-40               | Wilo Stratos Eco 25/1-5  | Har automatisk regulering         |
| 14  | Gulvvarme         | Grundfos UPS 15-40               | Smedegård MiniWatt 2-50  | Har pulsstyring <sup>2)</sup>     |
| 15  | Gulvvarme         | Grundfos UPS 15-40               | Biral MC 10-1            | Har trinløs manuel regulering     |

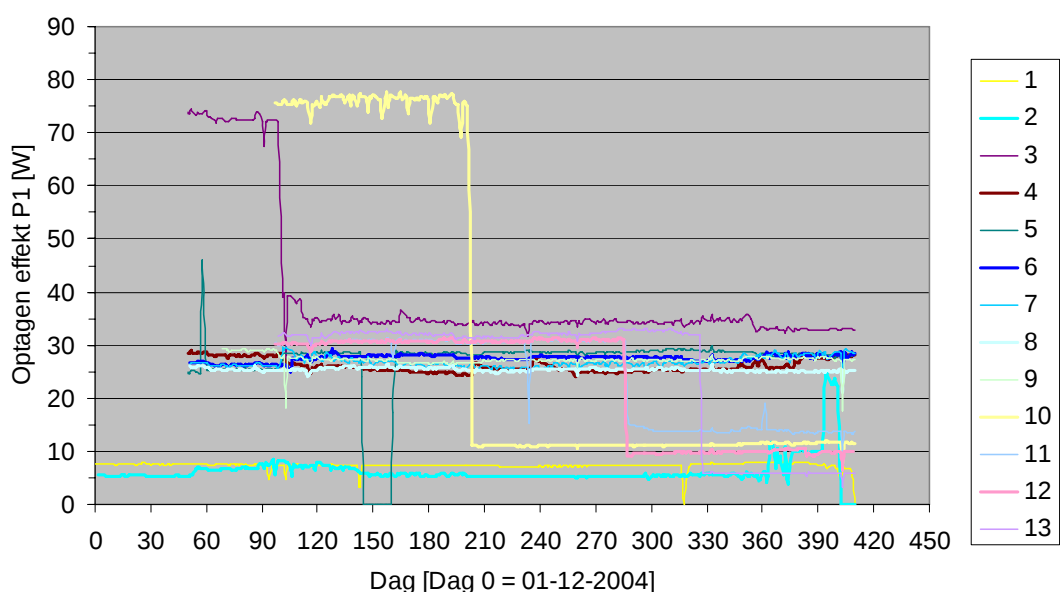
<sup>1)</sup> Den eksisterende pumpe var ca. 15 år gammel (og forsynet med 3 faser). Elforbruget er spotmålt til 94 W.

<sup>2)</sup> Pulsstyringen virker ved at pumpens drift er delt op i 2 minutters intervaller, hvori stilstandsperioden kan indstilles med en opløsning på 10 %. Pumpen har været indstillet til at slukke 50 % af tiden.

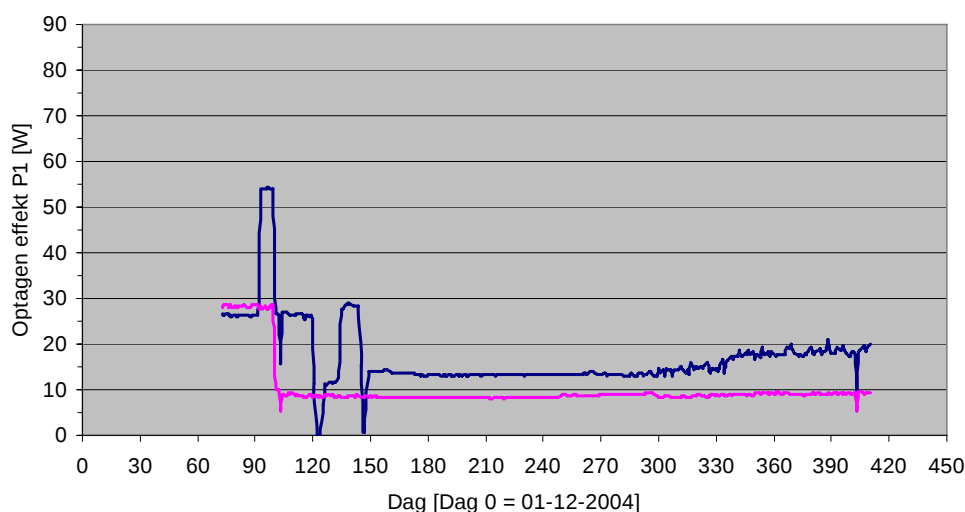
### 3.1 Måleresultater

Målinger og udskiftning af de oprindelige pumper er påbegyndt 1. december 2004. I nærværende rapport er rapporteret målinger frem til 15. januar 2006. De samlede målinger er vist i nedenstående figurer, hvor den øverste (Figur 2) viser resultater for de eksisterende huse med radiatoropvarmning og den nederste (Figur 3) viser resultater for de to nye huse med gulvvarme.

Figur 2 viser at elforbruget i nogle huse er faldet markant, mens det i andre stort set er konstant i hele måleperioden på trods af udskiftning til sparepumpe. I de huse hvor elforbruget ikke er faldet, er der tale om udskiftning af traditionelle pumper indstillet på trin 1 til ”1. Generation sparepumper” med for stor minimumskapacitet. Mere udførlig forklaring følger nedenfor. Figur 3 viser at der er foretaget pumpeudskiftninger omkring dag 105 i hus 15, hvilket har nedsat elforbruget væsentligt. Pumpen i hus 14 er blevet udskiftet omtrent samtidigt, men der har været problemer med pulsstyringen, der først har virket efter hensigten fra ca. dag 150.



Figur 2. Optagen effekt ( $P_1$ ) for cirkulationspumper i fjernvarme forsynede huse i Svendborg.

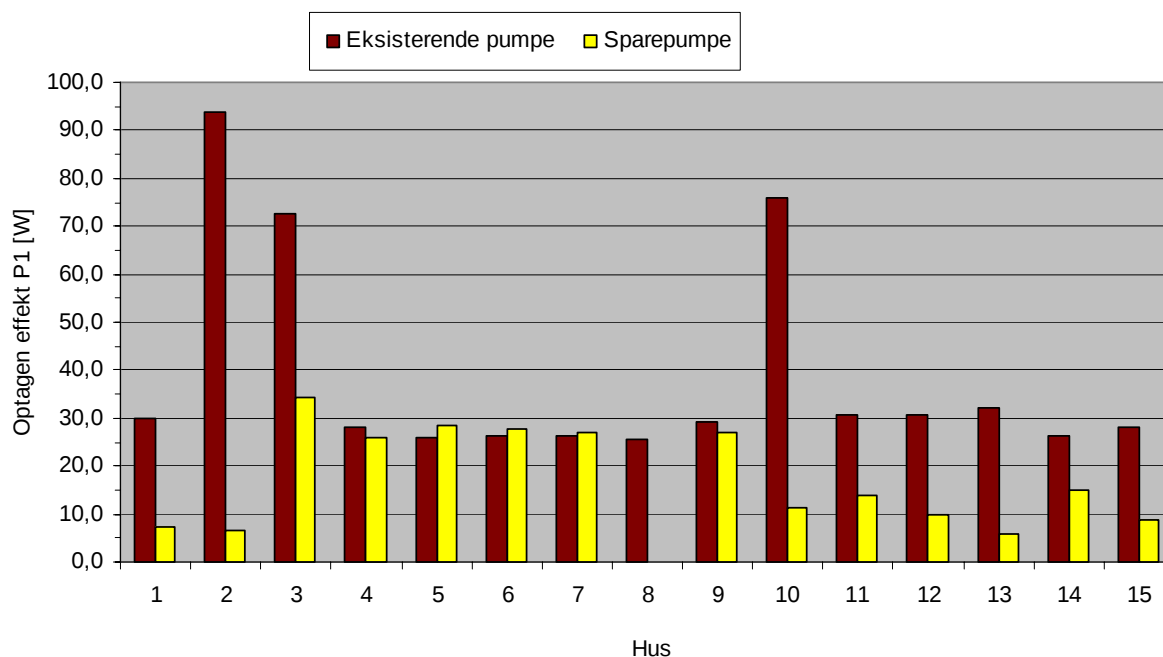


Figur 3. Optagen effekt ( $P_1$ ) for cirkulationspumper i to nye fjernvarme forsynede huse, svarende til nye energibestemmelser 2006.

For at få et bedre indtryk af de konsekvenser pumpeudskiftningerne har haft på elforbruget, er der foretaget beregninger af den gennemsnitlige el-effekt i udvalgte perioder. Resultater af disse beregninger, inklusiv en angivelse af måleperioder, er vist i Tabel 6. En grafisk oversigt er vist i Figur 4. Som det ses, varierer den gennemsnitlige effekt for de små pumper, hus 10-15, fra 5,8 til 14,9 W.

Tabel 6. Elektriske optagne gennemsnitlige effekter ( $P_1$ ) og måleperioder for hhv. oprindelige pumper og undersøgte sparepumper.

| Hus | Oprindelig pumpe [W] | Sparepumpe [W] | Måleperiode, eksisterende pumpe | Måleperiode, sparepumpe |
|-----|----------------------|----------------|---------------------------------|-------------------------|
| 1   | 30,0                 | 7,3            | Spotmåling                      | 01-12-04 - 14-01-06     |
| 2   | 93,7                 | 6,4            | Spotmåling                      | 01-12-04 - 06-01-06     |
| 3   | 72,7                 | 34,3           | 20-01-05 - 10-03-05             | 11-03-05 - 15-01-06     |
| 4   | 28,1                 | 25,7           | 20-01-05 - 11-03-05             | 12-03-05 - 15-01-06     |
| 5   | 25,8                 | 28,6           | 20-01-05 - 11-03-05             | 12-05-05 - 15-01-06     |
| 6   | 26,4                 | 27,7           | 21-01-05 - 09-03-05             | 10-03-05 - 15-01-06     |
| 7   | 26,2                 | 26,9           | 21-01-05 - 10-03-05             | 11-03-05 - 15-01-06     |
| 8   | 25,4                 | -              | 21-01-05 - 15-01-06             | Udskiftes ikke.         |
| 9   | 29,0                 | 27,1           | 08-02-05 - 10-03-05             | 11-03-05 - 15-01-06     |
| 10  | 75,8                 | 11,2           | 08-03-05 - 20-06-05             | 21-06-05 - 15-01-06     |
| 11  | 30,5                 | 13,9           | 08-03-05 - 14-09-05             | 15-09-05 - 15-01-06     |
| 12  | 30,7                 | 9,8            | 08-03-05 - 13-09-05             | 14-09-05 - 15-01-06     |
| 13  | 32,1                 | 5,8            | 10-03-05 - 24-10-05             | 25-10-05 - 15-01-06     |
| 14  | 26,3                 | 14,9           | 12-02-05 - 02-03-05             | 29-04-05 - 15-01-06     |
| 15  | 28,2                 | 8,7            | 12-02-05 - 10-03-05             | 11-03-05 - 15-01-06     |

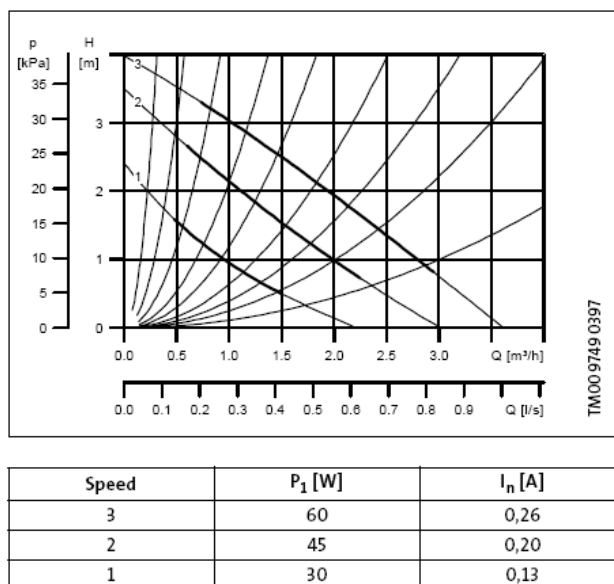


Figur 4. Målte gennemsnitlige optagne effekter til cirkulationspumper i de enkelte undersøgte varmeinstallationer/huse før og efter pumpeudskiftning til sparepumpe. (Elforbruget pr. år ved kontinuert drift fås i kWh ved at multiplicere effekterne med 8,75).

### 3.2 Generelle kommentarer til måleresultaterne

De involverede beboere har været fuldt tilfredse med de nye pumper. Beboerne har kunnet opretholde en indetemperatur på 20-22°C i måleperioden. Det vil sige, at pumperne med deres reguleringer har været i stand til at levere den nødvendige vandføring.

Det ses af Figur 4, at elforbruget med sparepumper for mange huse er betydeligt mindre end elforbruget for oprindelige pumper. Det ses dog også, at der i mange huse er et uændret elforbrug. Dette skyldes at Svendborg Fjernvarmeværk også forud for dette projekt har haft særlig fokus på pumpebehov og energibesparelser, således at kunderne er blevet vejledt til at indstille deres traditionelle 3 trins pumper på det mindste trin 1, der typisk er tilstrækkeligt til at klare varmebehovet. Dette fremgår ved at sammenholde tryktab og volumenstrøm for typiske anlæg i tabel 3 med pumpekurven for den typiske eksisterende pumpe, som er Grundfos UPS 25-40, se Figur 5. Installering af sparepumper har i disse tilfælde ikke reduceret elforbruget, da der er udskiftet til såkaldte "1. generation sparepumper" med samme (over)kapacitet og relativt dårlige effektivitet som eksisterende pumper, men som dog har automatisk styring. Huse der har haft eksisterende pumper kørende på trin 1 og dermed et elforbrug på ca. 30 W gælder for hus 4-8 og 11-15.



Figur 5. Pumpekurve for Grundfos UPS 25-40.

Det skal bemærkes, at forsøgshusene i Svendborg alle, bortset fra hus 2 der er oliefyret, har indirekte fjernvarme. De er i den henseende ikke repræsentative for hele Danmarks huse, men da gas- og oliefyrede kedler generelt ikke har højere tryktab end varmevekslere til fjernvarme, snarere tværtimod, er vi på den sikre side med hensyn til pumpeeffektens tilstrækkelighed. Direkte fjernvarme har oftest ikke cirkulationspumpe, da trykket til cirkulation i radiatorsystemet leveres af fjernvarmeværkets pumper.

Den typiske situation er ikke som i Svendborg, da man desværre oftest ser at traditionelle pumper er indstillet på trin 3 (60 W), der giver maksimal ydelse, men også et betragteligt merforbrug af el i forhold til trin 1, svarende til ca. 30 W. Baggrunden for dette er en kombination af uvidenhed og et ønske om at være sikker på at der ikke bliver problemer med varmetilførslen i de koldeste vinterperioder.

---

### 3.3 Specifikke kommentarer til måleresultaterne

Ser man specifikt på de målte elforbrug med sparepumper, ses det for hus 1 og 2, at optagen el-effekt kun har været 6-7 W over en periode på ca. 1 år. De installerede sparepumper fra producenten Biral (der som nævnt tidligere er et resultat af et schweizisk udviklingsprojekt i 1990'erne) har både en passende lille kapacitet og en høj effektivitet. El-effekten er som det kunne forventes på baggrund af driftsforhold og pumpekurver.

I hus 3-7 er der som nævnt tale om relativt dårlige "1. generation sparepumper", der ikke har givet anledning til en elbesparelse. Elforbruget ligger på ca. 30 W. Hus 8 er udstyret med en traditionel pumpe, der ikke er blevet udskiftet. Sparepumpen i hus 9 har i måleperioden haft en el-effekt på 27 W, hvilket kun er en mindre forbedring i forhold til den eksisterende pumpe, og forklaringen fremgår af ovenstående afsnit 3.2.

Elbesparelsen har været betydelig i hus 10, hvor el-effekten er blevet reduceret fra 76 til 11 W. Den eksisterende pumpe var en Grundfos UPS pumpe af lidt større størrelse end normalt og sparepumpen er en lille pumpe fra Biral.

Sparepumperne i hus 11-13 skiller sig ud fra sparepumperne i hus 3-9, da der ligesom for hus 1 og 2 er tale om "2. generation sparepumper". De kom på markedet i løbet af projekt i forbindelse med lanceringen af den nye energimærkningsordning for cirkulationspumper. Begge pumpetyper er A-mærket, idet effektiviteten er væsentligt forbedret, hvilket bl.a. kan tilskrives anvendelse permanentmagnet-motor (såkaldt EC teknologi). Grundfos Alpha Pro pumpe (hus 11+12) har automatisk proportional-tryksregulering (fabriksindstilling), der betyder at løftehøjden tilpasses varmesystemets anlægsskarakteristik (dvs. differenstrykket reduceres som følge af faldende varmebehov). Målingerne viser at elforbruget reduceres til omkring 10 W. Sparepumpen i hus 13 er også en A-mærket pumpe, type Wilo Stratos Eco, og det målte elforbrug er her endnu lavere, svarende til ca. 6 W.

Disse foreløbige målinger på markedets mest effektive og bedst tilpassede pumper over en forholdsvis kort, men kold vinterperiode, dokumenterer således at den gennemsnitlige el-effekt til cirkulationspumpning i de undersøgte eksisterende huse typisk kun er omkring 10 W.

Hus 14 og 15 er opført svarende til 2006 energikrav og har gulvvarmeanlæg med tung gulvvarme. Sparepumpen i hus 14, type Smedegaard Miniwatt, har én hastighed, men til gengæld er den pulsstyret, idet den har været tændt og slukket i hhv. 50 % af tiden. Dette har reduceret den gennemsnitlige el-effekt til 15 W (uden pulsstyring vil pumpens elforbrug være 25-35 W). Det vil formentlig være muligt at øge perioden hvor pumpen er slukket uden at få problemer med at kunne opretholde indetemperaturen, og derved mindske elforbruget yderligere. Det vil være oplagt at undersøge muligheden for at udvide pulsstyringen, så den tager hensyn til variationer i udeklimaet/varmebehovet og betondækkets varmekapacitet.

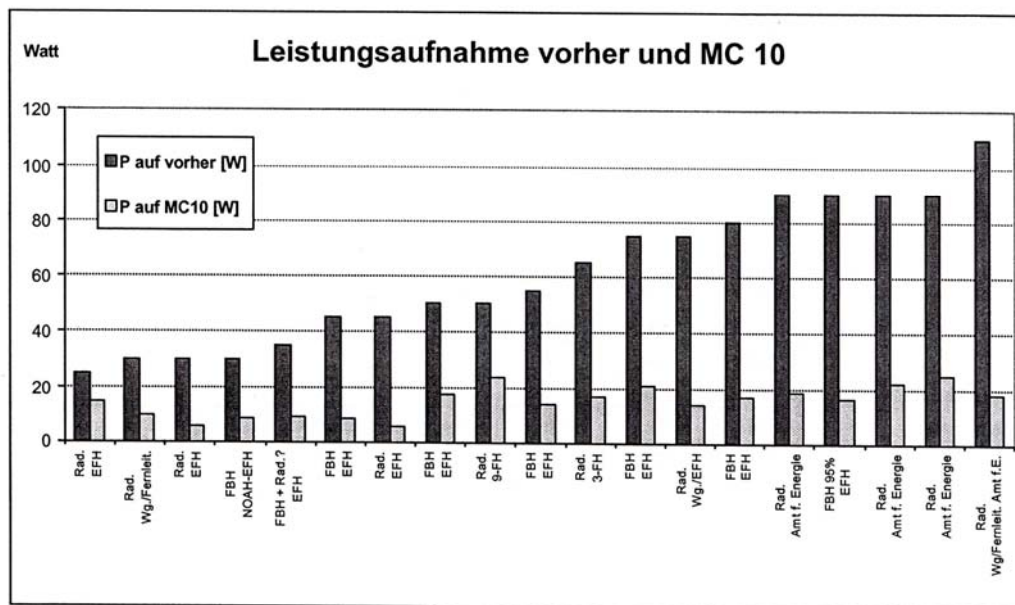
I hus 15 er der installeret en Biral pumpe, som i måleperioden har været indstillet på ca. halv kraft via potentiometeret på den eksterne styringsenhed. El-effekten i måleperioden har været ca. 9 W. De hydrauliske forhold er ikke målt, men pumpen vil formentlig kunne nedreguleres uden at der opstår problemer med varmetilførslen på kolde dage.

### 3.4 Schweiziske elmålinger af Biral MC 10

I slutningen af 1990'erne blev der fremstillet en pilotserie af Biral MC 10 til afprøvning i praksis [6]. 20 eksemplarer blev installeret i huse af forskellige størrelser, fra enfamiliehuse til 9-

familieshuse. Erfaringerne blev brugt til at tilrette udformningen af pumperne før en større produktion og demonstrationsafprøvning af flere hundrede pumper. Denne demonstrationsafprøvning blev dog ikke gennemført og rapporteret.

I forbindelse med afprøvningerne blev der målt på elforbruget i det meste af fyringssæsonen 1998/1999. For de 10 af pumperne, der blev installeret i enfamiliehuse, var den gennemsnitlige el-effekt ca. 13 W. De målte elforbrug varierede fra 5-21 W (se Figur 6 – betegnelse EFH = enfamiliehuse). Det er værd at bemærke, at et blot nogenlunde isoleret 9-familiehus (nr. 9 i figuren) kun havde en el-effekt til cirkulationspumpe på 24 W eller 2,7 W pr. bolig.



Figur 6. Elforbrug før og efter installation af Biral MC 10 i en række én- og flerfamiliehuse.

---

## 4 Fremtidigt behov for el til cirkulationspumpning

Der er foretaget beregninger og vurderinger af elbehovet til cirkulationspumpning i Danmark i én- og tofamiliehuse. Disse er baseret på de beregnede teoretiske pumpeeffektbehov, udførte elmålinger på sparepumper og scenarier for udbredelsen af sparepumper. Desuden er der for Europa foretaget en tilsvarende men mere skønsmæssig vurdering. Beregningerne er foretaget for to tilfælde, svarende til et passiv scenarie (nuværende praksis) og et spare-scenarie, hvor der vælges de mest effektive og bedst tilpassede pumper. Herved kan bestemmes den elbesparelse, der kan opnås.

I Danmark findes ca. 1,35 mio. én- og tofamiliehuse og ca. lige så mange cirkulationspumper (se nedenfor). En lille cirkulationspumpe har en gennemsnitlig levetid på 13 år [14] og der udskiftes årligt ca. 100.000 pumper i Danmark.

### 4.1 Metode

Beregninger og vurderinger omfatter alle landets én- og tofamiliehuse, der opvarmes med centralvarmeanlæg med cirkulationspumpe. Beregningerne er baseret på bearbejdede BBR-data af den samlede boligbestand medio 2003, der er benyttet i forbindelse med et tidligere projekt [11].

Der fokuseres kun på de pumper, der cirkulerer vandet i centralvarmeanlæggene. Der er således set bort fra pumper, der cirkulerer varmt brugsvand, (der typisk ikke findes i én- og tofamiliehuse), ekstra cirkulationspumper i blandesløjfer, gulvvarmeanlæg, ventilationsanlæg, aircondition, solvarmeanlæg og lignende. Inkluderes disse vil elbesparelsen ved indførelsen af små effektive pumper blive betydeligt større end de i det følgende beregnede.

### 4.2 Forudsætninger

#### 4.2.1 Boligarealer

Ud fra BBR data fra ovennævnte projekt [11], er opgjort antallet af danske småhuse, fordelt på opførelsestidspunkt og hustype samt fordelinger som angivet i nedenstående Tabel 7.

Tabel 7. Antal danske en- og tofamiliehuse (x1000), fordelt på tidsperiode for opførelse og hustype.

|           | Parcelhuse | Rækkehuse | Stuehuse | I alt |
|-----------|------------|-----------|----------|-------|
| -1960     | 435        | 57        | 111      | 604   |
| 1961-1978 | 485        | 49        | 8        | 542   |
| 1979-2003 | 134        | 73        | 6        | 212   |
| I alt     | 1054       | 179       | 124      | 1358  |

Boligarealerne er vist i den efterfølgende Tabel 8, der er fra samme kilde [11].

Tabel 8. Boligarealer og gennemsnitligt boligareal for én- og tofamiliehuse, fordelt på tidsperiode for opførelse og hustype.

| Opførelsesperiode | Parcelhuse<br>[1000 m <sup>2</sup> ] | Rækkehuse<br>[1000 m <sup>2</sup> ] | Stuehuse<br>[1000 m <sup>2</sup> ] | I alt<br>[1000 m <sup>2</sup> ] | Gns. Boligareal<br>[m <sup>2</sup> ] |
|-------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| -1960             | 58.913                               | 7.559                               | 19.379                             | 85.852                          | 144                                  |
| 1961-1978         | 72.282                               | 8.161                               | 1.430                              | 81.874                          | 152                                  |
| 1979-2003         | 20.023                               | 13.928                              | 1.114                              | 35.065                          | 168                                  |
| I alt             | 151.219                              | 29.648                              | 21.924                             | 202.791                         | 151                                  |

Boligarealernes procentvise fordeling på varmeinstallationer er ifølge samme kilde følgende:

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| Centralvarme med fjernvarme | 32 %  |
| Centralvarme med eget fyr   | 51 %  |
| El-opvarmning               | 12 %  |
| Øvrige <sup>1)</sup>        | 6 %   |
| I alt                       | 100 % |

1) Varmepumpe, ovne, gasradiatorer mv.

En del af de fjernvarmeforsynede huse har ingen cirkulationspumpe, hvilket der skal tages hensyn til. Huse med elopvarmning, ovne og gasradiatorer har ikke centralvarmeanlæg, og indgår derfor ikke i beregningerne. Der ses bort fra den forholdsvis lille andel af varmeinstallationerne der har varmepumper. I gaskedler med indbyggetpumpe kan der umiddelbart være problemer med at udskifte til sparepumper. Der skulle dog ikke være hindringer i vejen for at udstyre nye kedler med sparepumper og i så fald vil udskiftning af pumper følge udskiftning af kedler.

Fjernvarmeopvarmede huse uden cirkulationspumpe er huse, hvor varmeanlægget er tilsluttet direkte uden varmeveksler og hvor der samtidig ikke er installeret en blandesløjfe i anlægget. Hvis der er blandesløjfe forudsættes pumpen at have samme elforbrug som en pumpe i et selvstændigt varmeanlæg. I [13] er forudsat en andel af fjernvarmeforsynede boliger helt uden cirkulationspumpe på 40 % for boliger under 100 m<sup>2</sup> og 30 % for boliger mellem 100 og 200 m<sup>2</sup>. Det vil derfor være på den sikre side at regne med at 40 % af de fjernvarmeopvarmede én- og tofamiliehuse ikke har en pumpe.

#### 4.2.2 Scenarier for udskiftning af pumper

Elsparafonden, VVS-branchens organisationer og danske pumpeproducenter har i 2004 lavet en frivillig aftale om at øge markedsandelen af sparepumper (se definition senere) fra 20 % (medio 2004) til 50 % i 2005, 60 % i 2006 og 70 % i 2007. Denne kampagne er gået godt og målet på de 50 % blev nået ved udgangen af 2005. Faktisk var markedsandelen ved udgangen af 2005 tæt på 90 % bl.a. på grund af at pumpeproducenterne har lanceret A-mærkede pumper, forbedret energieffektiviteten på flere C-mærkede pumper så disse nu er blevet B-mærkede samt at flere D-mærkede pumper nu er blevet C-mærkede.

Som nævnt undersøges to scenarier for udskiftning af pumper i én- og tofamiliehuse.

Det første scenarie er et ”passiv scenarie”, hvor der forudsættes at den nuværende praksis på området fortsættes. Nuværende praksis henviser til andelen af sparepumper ved udskiftning før ovennævnte aftales indgåelse, dvs. en sparepumpeandel på ca. 20 %, og til den daværende gældende praksis for valg af sparepumpe.

Det andet scenarie er et "spare-scenarie", hvor det antages, at den indgåede aftale opfyldes og at udviklingen fortsætter efter 2007, således at andelen af sparepumper er 95 % fra og med 2010. Desuden forudsættes, at de pumper der udskiftes, erstattes med de mest effektive og bedst tilpassede pumper på markedet, og ikke blot som i "passiv scenarie" til sparepumper. Beregningerne foretages for en periode på 13 år, som svarer til den gennemsnitlige levetid for cirkulationspumper. Selv om alle pumper ikke kan forventes udskiftet inden for den gennemsnitlige levetid, antages dette her at være tilfældet, evt. tilskyndet af kampagner osv. Udskiftningen antages foretaget lineært over de 13 år. Det er set bort fra nybyggeri og nedrivning og en eventuel stigning i boligareal/antal huse.

#### 4.2.3 Elforbrug til cirkulationspumper

Pumper i én- og tofamiliehuse forventes i dag og fremover typisk være i drift hele året. I nogle tilfælde kan pumpen i centralvarmeanlæg slukkes i sommerperioden, hvilket gælder for de indirekte fjernvarmeforsynede hus, i de tilfælde hvor fjernvarmevandet direkte opvarmer det varme brugsvand. På trods af en øget energibevisthed og øget kendskab til denne mulighed, vurderes det, at omfanget er lille og der ses derfor bort fra dette.

De pumper, der i dag cirkulerer vandet i danske centralvarmeanlæg er i langt overvejende grad almindelige traditionelle tretrinspumper uden mulighed for automatisk regulering. Typisk bliver pumpen indstillet (f.eks. af VVS montøren) på det maksimale trin 3 eller trin 2, så der er sikkerhed for at der er tilstrækkelig varme på de koldeste vinterdage. Manuel regulering i takt med varmebehovet forekommer kun sjældent.

Der er forudsat en gennemsnitlig løftehøjde på 3 m eller svarende til et pumpetryk på ca. 30 kPa. Dette svarer omtrent til typiske traditionelle pumpe tryk ved de typiske indstillinger og dimensionerende volumenstrømme. Der er forudsat forskellige virkningsgrader for de tre grupper af huse, idet denne afhænger væsentligt af den nødvendige vandføring, som er forskellige i de tre tilfælde. Virkningsgrader er baseret på [13]. Det er rimeligt kun at betragte den dimensionerende situation, da effektkurven er meget flad i det volumenstrøm-område, der forekommer i løbet af året.

I Tabel 9 er beregnet et årligt elforbrug for traditionelle pumper i danske én- og tofamiliehuse. Det beregnede elforbrug er relateret til arealet af de tre model-huse (svarende til de tre tidsperioder for opførelsesår), og der fremkommer herved et elforbrug for én m<sup>2</sup>-opvarmet boligareal, som er anvendt ved opgørelse af det samlede elforbrug.

Tabel 9. Forudsætninger og årligt elforbrug for traditionelle pumper i danske én- og tofamiliehuse. Der er regnet med en afkøling på 15 K og en benyttelsestid på 8760 timer/år (hele året).

| Opførelses-<br>periode | Pumpetryk  | Dims.<br>Varmetab | Volumen-<br>strøm | Virknings-<br>grad <sup>1)</sup> | Elforbrug |        |                        |
|------------------------|------------|-------------------|-------------------|----------------------------------|-----------|--------|------------------------|
|                        | $\Delta p$ | $\Phi$            | $q_v$             | $\eta$                           |           |        |                        |
| År                     | kPa        | kW                | m <sup>3</sup> /h | -                                | kW        | kWh/år | kWh/m <sup>2</sup> /år |
| -1960                  | 30         | 10-20             | 0,86              | 0,120                            | 0,058     | 507    | 3,51                   |
| 1961-1978              | 30         | 10-15             | 0,72              | 0,105                            | 0,055     | 483    | 3,19                   |
| 1979-2003              | 30         | 5-10              | 0,43              | 0,065                            | 0,053     | 468    | 2,79                   |

<sup>1)</sup> pumpe + motor

Beregningerne viser, at elforbruget er omtrent ens selvom der er stor forskel på de forudsatte varmetab og dermed nødvendige vandføringer, hvilket skyldes den betydeligt dårligere virkningsgrad ved de relativt små vandføringer i nyere huse. Dette er et udtryk for at traditionelle små pumper er overdimensionerede.

Elforbruget for energieffektive pumper (sparepumper) afhænger naturligvis af den specifikke sparepumpe. For at øge bevidstheden om energiforbruget i cirkulationspumper har de største pumpeproducenter i Europa indgået en frivillig aftale om en mærkningsordning. Denne mærkningsordning minder om den allerede eksisterende mærkningsordning for køleskabe og andre hårde hvidevarer, hvor pumper kan klassificeres fra A-G, hvor A er den mest og G den mindst effektive. A, B og C pumper defineres som sparepumper. En A-mærket cirkulationspumpe sparer på årsbasis op til 75 %, sammenlignet med en gennemsnitlig Pumpe, som er D- eller E- mærkede pumper. B- og C- mærkede pumper sparer op til hhv. 50 og 25 %.

I forbindelse med beregninger af passiv scenariet antages at den forudsatte andel af de nye pumper, der er sparepumper, er B-mærket, og giver anledning til en besparelse på 30 %.

Elforbruget for sparepumper ved spare-scenariet baseres på de mest effektive og samtidigt bedst tilpassede pumper. På baggrund af de udførte beregninger af elbehov og elmålinger samt typiske belastningsprofiler, er det vurderingen, at man ved at vælge de mest effektive, bedst tilpassede og regulerbare pumper, og ved at foretage en fornuftig indstilling, vil kunne opnå en årlig gennemsnitlig el-effekt på omkring 10 W i typiske varmeinstallationer.

Dette elforbrug antages at gælde generelt, da udformningen af typiske ældre og nyere varmeanlæg (rørdimensioner mv.) medfører at tryktabene er omtrent ens, jf. de teoretiske beregninger af elbehov.

De gennemsnitlige el-effekter og dermed årlige elforbrug for de tre omtalte tilfælde kan resumeres til følgende:

1. Udgangssituationen: 57 W
2. Sparepumpe i ”passiv-scenarie”: 40 W
3. Sparepumpe i ”spare-scenarie”: 10 W

### 4.3 Resultater af beregningerne

#### 4.3.1 Boligarealer

Nedenfor i Tabel 10 er sammenfattet resultatet af beregninger af boligarealer med enten fjernvarme med Pumpe eller anlæg med individuelle fyr. På baggrund af de statistiske data og gjorte forudsætninger ses det, at det samlede areal med cirkulationspumpe er ca. 141 mio. m<sup>2</sup>, hvilket svarer til 70 % af det samlede areal af en- og tofamiliehuse i Danmark (203 mio. m<sup>2</sup>).

Tabel 10. Boligarealer med centralvarmeanlæg og cirkulationspumpe.

|                   | Fjernvarme          | Individuelt fyr     | Samlet              |
|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Opførelsesperiode | Areal               | Areal               | Areal               |
| år                | 1000 m <sup>2</sup> | 1000 m <sup>2</sup> | 1000 m <sup>2</sup> |
| -1960             | 12.309              | 51.237              | 63.545              |
| 1961-1978         | 18.291              | 39.037              | 57.329              |
| 1979-2003         | 8.179               | 12.321              | 20.500              |
| I alt             | 38.779              | 102.594             | 141.374             |

### 4.3.2 Elforbrug

På baggrund af de ovenfor viste boligarealer og elforbrug pr. m<sup>2</sup>, kan beregnes et samlet elforbrug til cirkulationspumper i danske en- og tofamiliehuse på 463 GWh/år. Dette kan sammenlignes med det samlede elforbrug til cirkulationspumper i danske husholdninger (inkl. etageboliger), som i F&U strategi 2005-2015 for energieffektive forbrugsteknologier (udarbejdet af Birch & Krogboe for Energistyrelsen og ELFOR) er anført til 2.045 TJ/år = 568 GWh/år. Boligmassens samlede elforbrug til dette formål er således en del større end for danske småhuse, og forskellen er forventelig. I B&K undersøgelsen er det i øvrigt vurderet, at der er et besparelspotentiale på 50 % i den nævnte periode, idet der forudsættes et uændret behovs- og forbrugsmønster.

De samlede beregninger for de to scenarier med hensyn til udskiftning af pumper og deres energieffektivitet er vist i Tabel 11.

Tabel 11. Elforbrug og –besparelser for de to scenarier mht. udskiftning af pumper, set i forhold til et startforbrug i år 2004 på 463 GWh/år.

| Passiv-scenarie                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| År                                 | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  |
| % Trad. pumper                     | 80    | 80    | 80    | 80    | 80    | 80    | 80    | 80    | 80    | 80    | 80    | 80    | 80    |
| % Sparepumper                      | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    |
| Årlig besparelse [GWh/år]          | 5,0   | 5,0   | 5,0   | 5,0   | 5,0   | 5,0   | 5,0   | 5,0   | 5,0   | 5,0   | 5,0   | 5,0   | 5,0   |
| Elforbrug [GWh/år]                 | 458,1 | 453,1 | 448,1 | 443,1 | 438,1 | 433,1 | 428,1 | 423,2 | 418,2 | 413,2 | 408,2 | 403,2 | 398,2 |
| Spare-scenarie                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| År                                 | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  |
| % Trad. pumper                     | 65    | 45    | 35    | 25    | 15    | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     |
| % Sparepumper                      | 35    | 55    | 65    | 75    | 85    | 95    | 95    | 95    | 95    | 95    | 95    | 95    | 95    |
| Årlig besparelse [GWh/år]          | 10,3  | 16,1  | 19,1  | 22,0  | 24,9  | 27,9  | 27,9  | 27,9  | 27,9  | 27,9  | 27,9  | 27,9  | 27,9  |
| Elforbrug [GWh/år]                 | 452,8 | 436,7 | 417,6 | 395,6 | 370,7 | 342,8 | 315,0 | 287,1 | 259,3 | 231,4 | 203,5 | 175,7 | 147,8 |
| Passiv-scenarie vs. Spare-scenarie |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Årlig besparelse [GWh/år]          | 5,3   | 16,4  | 30,5  | 47,5  | 67,4  | 90,3  | 113,2 | 136,1 | 158,9 | 181,8 | 204,7 | 227,5 | 250,4 |

Det fremgår af tabellen, at ved ”passiv scenariet”, dvs en fortsættelse af den nuværende praksis med udskiftning, vil det samlede elforbrug til pumper i en- og tofamiliehuse i løbet af de 13 år reduceres med 14 %, eller ca. **65 GWh/år**, i forhold til forbruget i dag.

For ”spare scenariet” udskiftes pumperne med de mest effektive og bedst tilpassede, dvs. 10 W, der i praktisk afprøvning har vist sig at have tilstrækkelig kapacitet. Udskiftningen sker dog gradvist, og markedsandelen af 10 W sparepumper øges, som vist i Tabel 11 til en andel på 95 % fra 2010. Reduktionen i elforbruget bliver i forhold til nuværende forbrug på ca. 70 %, eller **315 GWh/år**. I forhold til udviklingen i ”passiv scenariet” reduceres elforbruget ved ”spare scenariet” med ca. 250 GWh/år, idet forbruget i gennemsnit hvert år reduceres med ca. 19 GWh/år.

---

På lidt længere sigt kan man have udskiftet alle pumperne i de ca. 575.000 én- og tofamiliehuse der har behov for pumper, med de effektive og bedst tilpassede, med gennemsnitligt forbrug på 10 W. Det anførte antal huse er baseret på [11] og den tidligere omtalte forudsætning om at 40 % af de fjernvarmeforsynede huse ikke har en pumpe. Elforbruget til disse 10 W pumper i kontinuert drift hele året, bliver for hver pumpe på ca. 90 kWh/år eller ca. 55 GWh/år for Danmark som helhed. Den samlede besparelse i forhold til i dag bliver da på godt **400 GWh/år**.

Sammenligner man med produktionen på et kulfyret kraftværk, som må være dem man først faser ud, svarer elforbrugsreduktionerne i de tre tilfælde i forhold til det nuværende elforbrug til en reduktion i Danmarks årlige CO<sub>2</sub> udslip på omkring henholdsvis 65.000, 325.000 og 400.000 tons. Endvidere spares naturligvis også opførelsen af kraftværkskapacitet, svarende til henholdsvis 2, 10 og 13 % af et typisk 500 MW kraftværk. Da pumperne regnes at køre hele tiden regnes der her med et grundlastværk med 6000 timers årlig drift.

Forestiller man sig en overgang til en elforsyning, der baseres på vindkraft, svarer besparelserne i de tre tilfælde til, at man kan spare opførelsen af henholdsvis 25, 130 eller 160 store vindmøller på hver 1000 kW, hvis man regner med en typisk kapacitetsfaktor på 0,25, dvs. en årsproduktion svarende til at køre på fuld kapacitet i en fjerdedel af året.

#### **4.4 Vurderinger af mulige el-besparelser til cirkulationspumper i Europa**

Formålet med dette afsnit er at give et groft overslag over el-besparelspotentialerne i hele EU ved udskiftning til mere effektive og bedre tilpassede cirkulationspumper til husholdningers centralvarmeanlæg, som de i Danmark afprøvede. For 1995 blev antallet af cirkulationspumper til en og tofamiliehuse i EU, dvs. de 15 EU-lande, anslået til at være 87,5 millioner, og det årlige salg af pumper til både nye installationer og til udskiftning af gamle, var 8-9 millioner [15].

10 år senere, i 2005, anslås der ifølge Grundfos at være ca. 120 mio. små cirkulationspumper i brug i husstande i EU, og tilsammen bruges der omkring 60 TWh/år eller 500 kWh pr. pumpe. Cirkulationspumper kan generelt tilskrives ca. 15 % af elforbruget i en gennemsnitlig europæisk husstand [16].

Der udskiftes omtrent 12 mio. pumper hvert år. Hvis disse pumper alle fremover var af de mest effektive og bedst tilpassede pumper, må man antage, at elforbruget ville kunne reduceres til et gennemsnitligt niveau på 10 W eller under 90 kWh/år, som forudsat i det mest optimistiske tilfælde for DK. En sådan gradvis udskiftning over 10 år vil betyde, at elforbruget til dette formål hvert år vil blive sænket med ca. 5 TWh/år, svarende til noget nær to store kraftværker. Efter en total udskiftning i løbet af de 10 år, vil elforbruget til dette formål i runde tal være faldet fra de antagne 60 TWh/år til godt 10 TWh/år, set i forhold til forbruget til pumperne i dag, altså en reduktion i elforbruget på ca. 50 TWh/år. (Der er i dette overslag set bort fra nyinstallationer i centralvarmeanlæg, rumkøleanlæg, varmt brugsvandsanlæg med cirkulation mv., som naturligvis vil øge el-forbruget, men spare i forhold til, at der installerendes konventionelle pumper i disse nye anlæg).

De 50 TWh/år, der kan spares ved indførelse af bedre cirkulationspumper er større end Danmarks samlede indenlandske elforbrug (2004) på knap 34 TWh/år.

For EU vil den fulde el-besparelse på 50 TWh/år medføre, at der over de 10 år spares opførelsen af 17 grundlast-kraftværker, hver med en kapacitet på 500 MW. Regnes der med at det er kulkraftværker der sparer, vil det årlige CO<sub>2</sub>-udslip i EU efter gennemførelsen være reduceret med omkring 50 millioner tons CO<sub>2</sub>, hvilket er over 1 % af EU's samlede CO<sub>2</sub>-udslip, eller ca. en

---

sjattedel af den 8 % reduktion i forhold til 1990 niveauet, som EU ifølge Kyoto protokollen har forpligtet sig til. Vælger man at spare olie- eller gasfyrede kraftværker i stedet for kulkraftværker, bliver reduktionen i CO<sub>2</sub>-udslip henholdsvis 25 og 44 % lavere.

I en fremtid baseret på vedvarende energi, kan de årlige el-besparelser på 50 TWh ved denne relativt lille ændring i forbrugsteknologien, spare opførelsen af ca. 20.000 store 1000 kW vindmøller, når der antages den typiske kapacitetsfaktor på 0,25.

---

## 5 Krav og anbefalinger i relation til nye energibestemmelser

Den 1. januar 2006 indføres i Danmark nye skærpede energibestemmelser for bygninger og i den forbindelse nye regler om energimærkningsordningen og eftersyn af kedel- og varmeanlæg. De nye bestemmelser er indeholdt i lov om fremme af energibesparelser i bygninger (fra juni 2005), som skal fremme energibesparelser og øge effektiviteten inden for anvendelse af energi i bygninger, og er et led i udmøntningen af EU's direktiv om bygningers energimæssige ydeevne.

I det følgende redegøres for forslag til krav eller anbefalinger ved valg af cirkulationspumper set i lyset af de nye energibestemmelser, hvor elforbruget til pumper indgår i den nye bruttoenergiramme.

Elforbrug indgår i energirammen med en primærenergifaktor på 2,5, hvor den er 1 for gas, olie og fjernvarme. Faktoren 2,5 er i store træk udtryk for, hvor meget el-produktionen kræver af brændsel og hvor meget den forurener, sammenlignet med miljøbelastningen fra de andre former for energiforsyning. Faktoren svarer også stort set til den gennemsnitlige prisforskel. Det typiske elforbrug til pumper vil derfor lægge beslag på en betydelig del af energirammen, hvilket umiddelbart understøttes af den beregningsmetode, der skal anvendes ved energirammeberegning. Ud fra metoden beregnes elforbruget ud fra angivelse af pumpens elforbrug på højeste trin (inkl. evt. styringsudstyr og automatik) og en reduktionsfaktor der udtrykker forholdet mellem elforbruget i middel over pumpens driftstid i forhold til pumpens forbrug på højeste trin. Reduktionsfaktoren angives typisk til 0,8 for flertrinspumper med manuel indstilling af driftstrin og 0,4 for automatisk styrede pumper. Ovenstående forudsætter at pumpen er velproportioneret til opgaven, hvilket er problematisk mht. konventionelle pumper i en- og tofamiliehuse, da det i denne rapport er eftervist at disse typisk er overproportioneret.

Benyttes metoden for et typisk nyt 180 m<sup>2</sup> hus med varmeinstallation med kedel og en konventionel kombi-pumpe med en maksimal el-effekt på 60 W og en reduktionsfaktor på 0,8, kan der med beregningsprogrammet Be06 beregnes et energibehov til pumpen på knap **700 kWh/år** (inkl. faktor 2,5). Til sammenligning svarer dette til varmetabet gennem 39 m<sup>2</sup> ydervæg med en U-værdi på 0,20, som er et forventeligt isoleringsniveau for huse opført iht. nye energibestemmelser. Hvis der benyttes en A-mærket sparepumpe som f.eks. Grundfos Alpha Pro med et maksimal elforbrug på 25 W, fås et energibehov på **150 kWh/år** (inkl. faktor 2,5), der svarer til 8 m<sup>2</sup> ydervæg. Der kan altså spares **550 kWh/år** eller hvad der svarer til det årlige varmetab gennem ca. 30 m<sup>2</sup> ydervæg. Det skal bemærkes at elforbruget til den traditionelle Pumpe er:  $700/2,5 = 280 \text{ kWh/år}$ , som er noget mindre end anført tidligere, hvilket skyldes at programmet regner med ca. 6000 driftstimer og en reduktionsfaktor på 0,8. Dette er et udtryk for valg af beregningsmetode og ikke nødvendigvis et udtryk for det reelle elforbrug i praksis, som bør give anledning til overvejelser om hvordan metoden eventuelt kan ændres, så den bedre afspejler det reelle energiforbrug og dermed energibesparelse ved valg af bedre pumper.

Set i lyset af den nye energiramme og beregningsmetode, kan det umiddelbart anbefales at benytte de bedste sparepumper på markedet. Desuden vil det formentlig også være rimeligt at stille krav til elforbruget til cirkulationspumper i småhuse, ligesom der er krav til elforbruget til ventilatorer ved anvendelse af mekaniske ventilationsanlæg med varmegenvinding, og til nyttevirkningen for kedler. Der bør dog udarbejdes et bedre beslutningsgrundlag i form af beregning af totaløkonomiske energisparepriser (prisen for at spare 1 kWh) ved anvendelse af mere effektive pumper og andre alternative energisparetiltag som f.eks. merisolering af ydervægge, så det afklares, hvor meget de forskellige energisparetiltag koster i forhold til hinanden og - ikke mindst - i forhold til energiforsyning, når eksterne omkostninger for miljø mm. indregnes.

---

I relation til cirkulationspumper i eksisterende en- og tofamiliehuse, er ordningen om eftersyn af kedel- og varmeanlæg interessant, og særligt den del der omfatter engangseftersyn af små varmeanlæg med kedler, der er mere end 15 år gamle. Eftersynet gælder for alle olie- og gasfyrede anlæg samt fastbrændselsanlæg, og ikke blot kedlen, men også varmfordelingssystemerne. Ejeren/brugeren har på baggrund af eftersynsrapporten krav på rådgivning mht. udskiftning af kedlen og andre ændringer af varmeanlægget. Det er således oplagt og af stor betydning, at der i forbindelse med eventuelle udbedringer, rådgives omkring udskiftning af gamle cirkulationspumper til nye effektive, bedre tilpassede pumper, typisk på 6-10 W. Håndværkerudgifterne ved udskiftningen vil i denne forbindelse kunne holdes lavere, end hvis der ved anden lejlighed specifikt skal udskiftet en pumpe.

I praksis vil der i forbindelse med eftersynet være forskellige situationer, der vil muliggøre en pumpeudskiftning. Dette kunne være i form af en udskiftning af hele kedeluniten (og dermed pumpen), udskiftning af pumpen i kedeluniten og udskiftning af shuntpumpe i et gulvvarmeanlæg. Hvis udskiftningerne skal kunne realiseres, skal de være forbundet med en god økonomi, og der kan foretages nogle simple beregninger til belysning af dette aspekt. Et sådant overslag er følgende:

Følgende forudsætninger er anvendt:

- Årligt gennemsnitligt elforbrug for gammel pumpe: 30 W
- Årligt gennemsnitligt elforbrug for sparepumpe: 10 W
- Driftstid: 75 % af året (6570 h/år)
- Marginalpris (forbrugerpris) på el: 1,60 kr./kWh (Nesa, februar 2006, inkl. moms).
- Markedspris for traditionel UPS pumpe: ca. 800 kr. (februar 2006, inkl. moms).
- Markedspris for f.eks. en A-mærket Alpha pro pumpe: ca. 1600 kr. (februar 2006, inkl. moms).
- Montørtimepris: ca. 375 kr. (inkl. moms)

Det antages at installationen foregår som en ekstra aktivitet, idet kun selve tidsforbruget til installation af den nye pumpe medregnes. Installationen antages at kunne foretages på 1 time, idet vandet antages at være tappet af anlægget pga. udførelse af andre forbedringstiltag.

På denne baggrund kan beregnes en tilbagebetalingstid på **9 år**, hvis den fulde udgift antages at skulle tilbagebetales, svarende til at den eksisterende traditionelle pumpe var helt ny. Omvendt går der kun **4 år** før (mer)udgiften er tilbagebetalt af elbesparelsen, såfremt den eksisterende pumpe var udskiftningsmoden og alligevel skulle være skiftet. Beregningerne er på den sikre side, da elforbruget til den eksisterende pumpe i mange tilfælde vil være større end 30 W, som nævnt tidligere i rapporten.

Der bør slutteligt overvejes at indføre en kampagne og tilskudsordning rettet mod udskiftning til de nye, små sparepumper, evt. med en vis garanti for tilstrækkelig varmecirkulation. Der bør også gøres en indsats overfor designerne af centralvarmeanlæg, så der kommer opmærksomhed på vigtigheden af at udføre disse med et passende lille tryktab, set i relation til anvendelse af små energibesparende cirkulationspumper.

I forhold til andre af en husholdnings elektriske apparater, er valget af en ny cirkulationspumpe sjældent noget husstandens medlemmer går op i. Som regel overlades dette valg til VVS installatøren, der tilkaldes. Kampagner og evt. tilskudsordninger må have dette forhold for øje.

Som det fremgår af målingerne fra Svendborg, har en udskiftning til såkaldte 1. generations sparepumper ikke reduceret elforbruget i forhold til blot at stille en traditionel pumpe på laveste

---

trin, som fjernvarmeselskabet allerede havde anbefalet. En forceret udskiftning til 1. generations pumper bør derfor ikke anbefales.

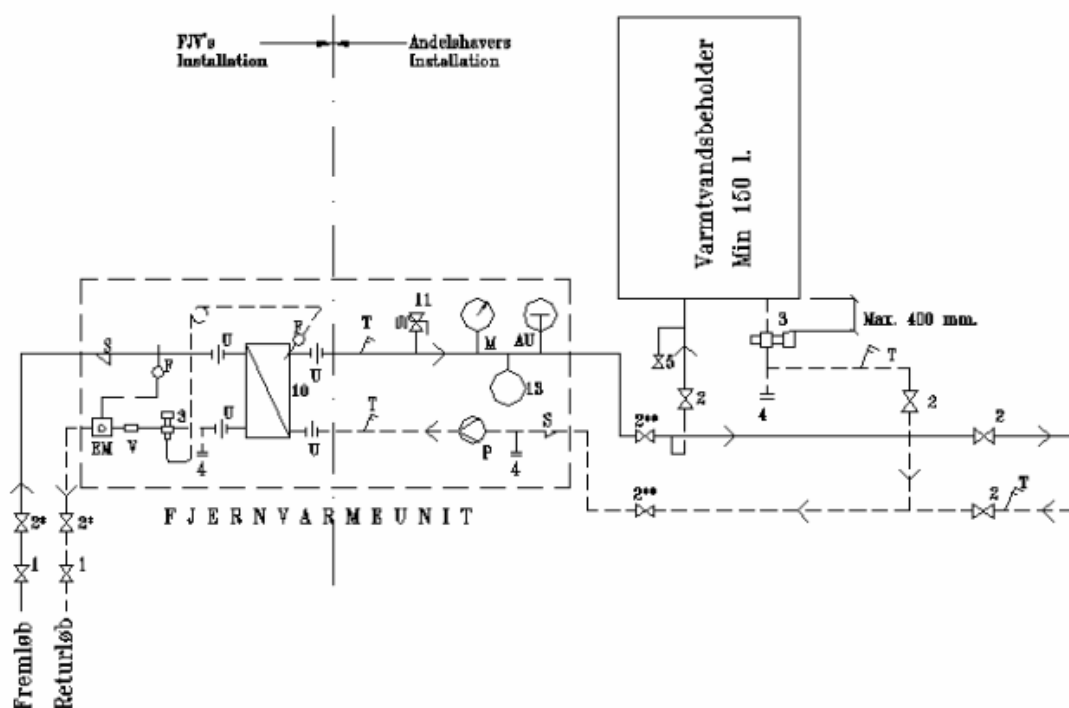
---

## 6 Referencer

- [1] Nørgård, J.S., 1979: "Husholdninger og Energi", Polyteknisk Forlag, Lyngby
- [2] Nørgård, J.S., 1979: "Improved Efficiency in Domestic Electricity Use", *Energy Policy* Vol.7, pp. 43-56.
- [3] Nørgård, J.S., 1989: "Low Electricity Appliances – Options for the Future", in *Electricity – Efficient End-Use and New Generation Technologies, and their Planning Implications*, (eds. Johansson, Bodlund, and Williams), pp. 125-172, Lund University Press
- [4] Staubli, Th. and Nipkow, J., 1996: "Wirkungsgradverbesserung bei Kleinwälzpumpen", in proceedings from *Pump Congress*, Karlsruhe 1996, 30. Sept. – 02. Okt.. Fachgemeinschaft Pumpen im VDMA, Lyoner Strasse 18, D-60528, Frankfurt/M, Germany.
- [5] Nipkow, J., 1995: "Kleinwälzpumpen: Wirkungsgrad verdreifacht", *Wasser, Energie, Luft – Eau, énergie, air*, Vol. 87, heft 5/6, pp 101-104.
- [6] Nipkow, J. and Meyer, W., 1999: *Felderprobung einer Stromspar-Kleinumwälzpumpe*, Swiss Federal Office of Energy,
- [7] "Die Mini-Energie-Pumpe Biral MC 10 gewinnt den Prix eta+ 2000 und den Wuppertal Energie und Umweltpreis", Brochure fra Biral AG, Südstrasse 10, CH-3110 Münsingen, Schweiz, 2000.
- [8] Danvak Grundbog – Varme- og klimateknik. 1. udgave 1991.
- [9] Varmeanlæg – med vand som medium. SBI-anvisning 175. Statens Byggeforskningsinstitut 2000.
- [10] Varmeståbi 3. udgave. Ingeniøren A/S, 2000.
- [11] Energibesparelser i eksisterende og nye boliger. Rapport R-080. Danmarks Tekniske Universitet BYG-DTU, 2004.
- [12] Energirenovering af muremestervilla. Rapport R-102. Danmarks Tekniske Universitet BYG-DTU, 2004.
- [13] CO2-besparelser ved installering af energieffektive cirkulationspumper i varmeanlæg – vurdering af potentiale. Rapport udarbejdet af COWI for Grundfos, februar 2004.
- [14] Den lille blå om sparepumper. 2. udgave. ELFOR 2004.
- [15] EU SAVE II Project, 2001: "Promotion of Energy Efficiency in Circulation Pumps, especially in Domestic Heating Systems" Task 1: Market Analysis and Assessment of Energy Consumption, Final Report.
- [16] Grundfos hjemmeside:  
<http://www.grundfos.dk/web/grfosweb.nsf/GrafikOpslag/energylabelling/>  
(se dokumentet "cirkulationspumpemarkedet og mulige energibesparelser")

## Bilag 1: Indirekte varmevekslerinstallation, små anlæg.

Nye varmeanlæg der tilsluttes fjernvarme i Svendborg, må ikke være direkte tilsluttede anlæg, hvilket i øvrigt ikke er i henhold til retningslinier fra Dansk Fjernvarme. Både rumopvarmning og opvarmning af brugsvand skal ske via varmeveksler og med varmtvandsbeholder. Fordelen herved er at fjernvarmevandet og vandet i varmeanlægget separeres, hvilket tillader et lavere tryk på den sekundære side og desuden minimeres risikoen for beskadigelse, hvis et rør eller andet udstyr lækker. Konsekvensen er dog at cirkulationspumpen ikke umiddelbart kan slukkes i sommerperioden. Her bør dog indrettes en styring af pumpen, så den om sommeren aktiveres af varmtvandsbeholderens termostat. Opvarmning af brugsvand i bestående direkte anlæg skal som udgangspunkt ske i beholdere med rørspral. Bestående gennemstrømningsvandvarmere tillades bibeholdt, hvis de ikke er til gene for varmeforsyningen til andre forbrugere.



### Signaturer:

#### FJV's installation

- |     |                         |
|-----|-------------------------|
| 1.  | FJV's hovedventil       |
| 3.  | Termostatisk regulator  |
| 4.  | Aftapventil             |
| 10. | Varmeveksler            |
| U.  | Union                   |
| V.  | Strengreguleringsventil |
| S.  | Snævssamler             |
| F.  | Temperaturføler         |
| EM. | Energimåler             |

#### Afspærringsventil

2\*. Udelades hvor FJV's hovedventiler ① er placeret i teknikrum

#### BEMÆRKNINGER.

#### Andelshavers installation

- |     |                       |
|-----|-----------------------|
| 2.  | Afspærringsventil     |
| 3.  | Returløbstermostat    |
| 4.  | Aftapventil           |
| 5.  | Udluftning            |
| 11. | Sikkerhedsventil      |
| 13. | Ekspansionsbeholder   |
| P.  | Cirkulationspumpe     |
| T.  | Termometer            |
| S.  | Snævssamler           |
| M.  | M. Manometer – Tryk   |
| AU. | Automatisk udluftning |

#### Afspærringsventil

2\*\*. Udelades hvor andelshavers ventiler ② er placeret i teknikrum

- 
1. Fjernvarme unit (18, 30 og 50 kW) leveres og monteres af FJV
  2. Komponenter på unittens sekundærside betales af Andelshaver
  3. Evt. afdækninger monteret af Andelshaver skal være forsynet med ventilationsåbninger.
  4. Andelshaver sørger for installation til og tilslutning af cirkulationspumpe til 240V stikkontakt/jord

## Bilag 2: Pumpekurver.

Nedenfor er vist pumpekurver for udvalgte sparepumper.

### Biral MC 10/12.

#### MC 10, MC 10-1

|                                             |                |
|---------------------------------------------|----------------|
| Installation length                         | 170/180 mm     |
| Permissible operating pressure              | 10 bar         |
| Permissible operating temp.                 | -20°C à +110°C |
| Required operating pressure at 500 m a.s.l. |                |
| at 75°C water temperature                   | 0.1 bar        |
| at 90°C water temperature                   | +0.35 bar      |
| at 110°C water temperature                  | +1.1 bar       |
| For every ±100 m altitude                   | 0.01 bar       |
| Weight                                      | 1.9 kg         |

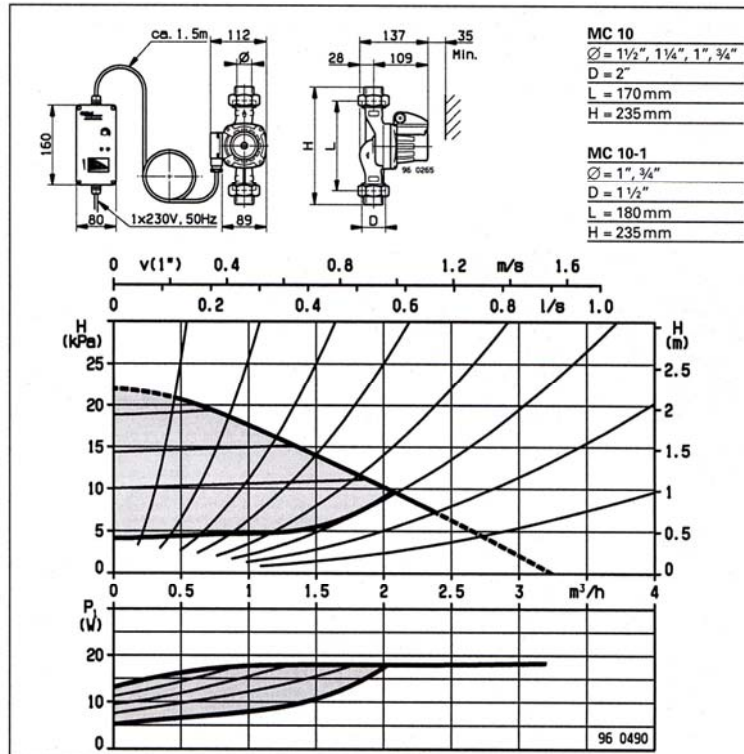
|         |                            |
|---------|----------------------------|
| Voltage | 1×230 V, 50 Hz             |
| Speed   | Regulation 1680...3530 rpm |
| Current | Regulation 0.05...0.14 A   |
| Power   | Regulation 5...19 W        |

The motor protection is integrated in the electronics. The pump requires no external motor protection.

The pump has an automatic deblocking program.

Option:

- Fault indication module



#### MC 12, MC 12-1

|                                             |                |
|---------------------------------------------|----------------|
| Installation length                         | 170/180 mm     |
| Permissible operating pressure              | 10 bar         |
| Permissible operating temp.                 | -20°C à +110°C |
| Required operating pressure at 500 m a.s.l. |                |
| at 75°C water temperature                   | 0.1 bar        |
| at 90°C water temperature                   | +0.35 bar      |
| at 110°C water temperature                  | +1.1 bar       |
| For every ±100 m altitude                   | 0.01 bar       |
| Weight                                      | 1.9 kg         |

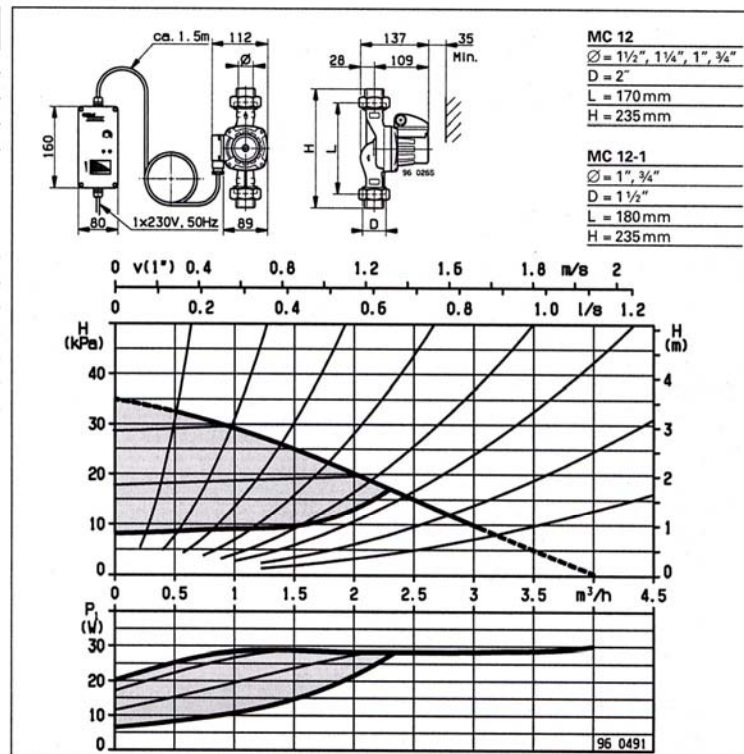
|         |                            |
|---------|----------------------------|
| Voltage | 1×230 V, 50 Hz             |
| Speed   | Regulation 2060...4320 rpm |
| Current | Regulation 0.08...0.23 A   |
| Power   | Regulation 7...29 W        |

The motor protection is integrated in the electronics. The pump requires no external motor protection.

The pump has an automatic deblocking program.

Option:

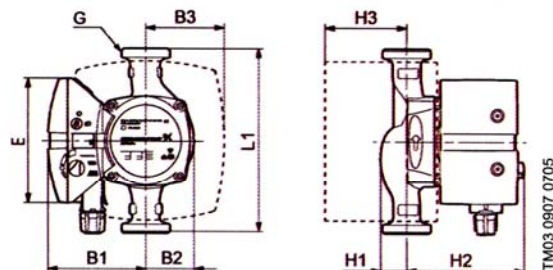
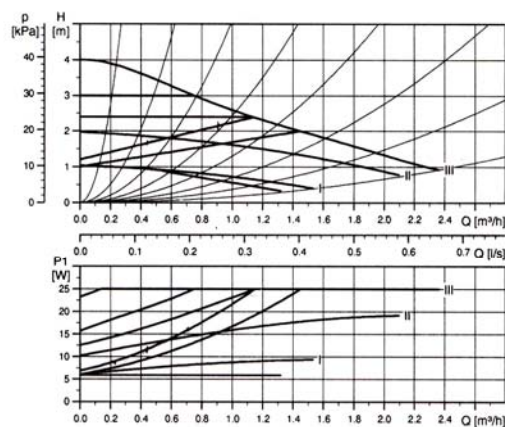
- Fault indication module



## Grundfos Alpha Pro.

### ALPHA Pro 15-40, 25-40, 32-40

1 x 230 V, 50 Hz



| Speed | P <sub>1</sub> [W] | I <sub>n</sub> [A] |
|-------|--------------------|--------------------|
| Min.  | 6                  | 0,06               |
| Maks. | 25                 | 0,23               |
| I     | 8                  | 0,09               |
| II    | 18                 | 0,17               |
| III   | 25                 | 0,23               |

Pumpen har indbygget overbelastningsbeskyttelse.

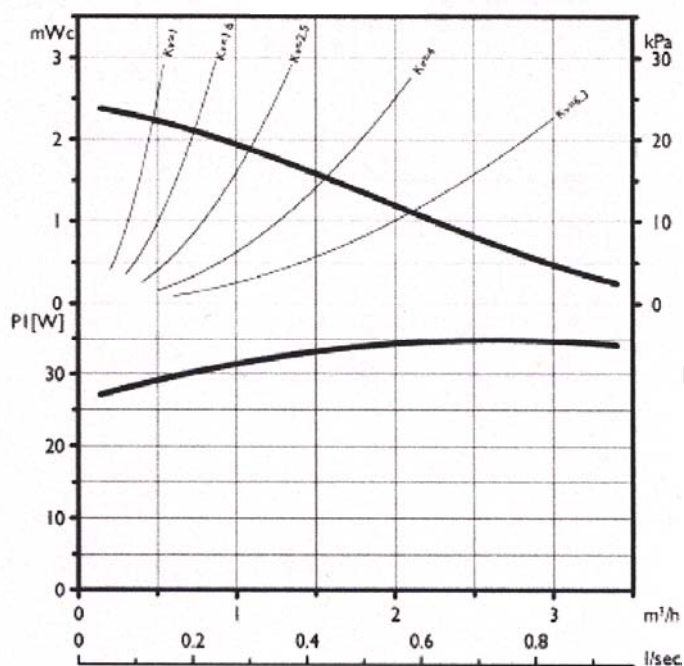
Tilslutning: Se "Unions- og ventil sæt" side 12.  
 Anlægsstryk: Maks. 10 bar.  
 Medietemperatur: +2°C til +110°C (TF 110).  
 Fås også med: Pumpehus af bronze, type B (kun ALPHA Pro 25-40 B 180).

| Pumpetype       | Mål [mm] |    |     |    |    |    |    |     | Vægt [kg]★ |       | Ship. vol.<br>[m³] |         |
|-----------------|----------|----|-----|----|----|----|----|-----|------------|-------|--------------------|---------|
|                 | L1       | H1 | H2  | H3 | B1 | B2 | B3 | E   | G          | Netto |                    | Brutto  |
| ALPHA Pro 15-40 | 130      | 28 | 116 | 57 | 97 | 48 | 77 | 122 | 1          | 2,4   | 2,6                | 0,00516 |
| ALPHA Pro 25-40 | 130      | 28 | 116 | 57 | 97 | 48 | 77 | 122 | 1½         | 2,4   | 2,6                | 0,00516 |
| ALPHA Pro 25-40 | 180      | 28 | 116 | 57 | 97 | 48 | 77 | 122 | 1½         | 2,5   | 2,7                | 0,00516 |
| ALPHA Pro 32-40 | 180      | 30 | 116 | 57 | 97 | 48 | 77 | 122 | 2          | 2,8   | 3,0                | 0,00516 |

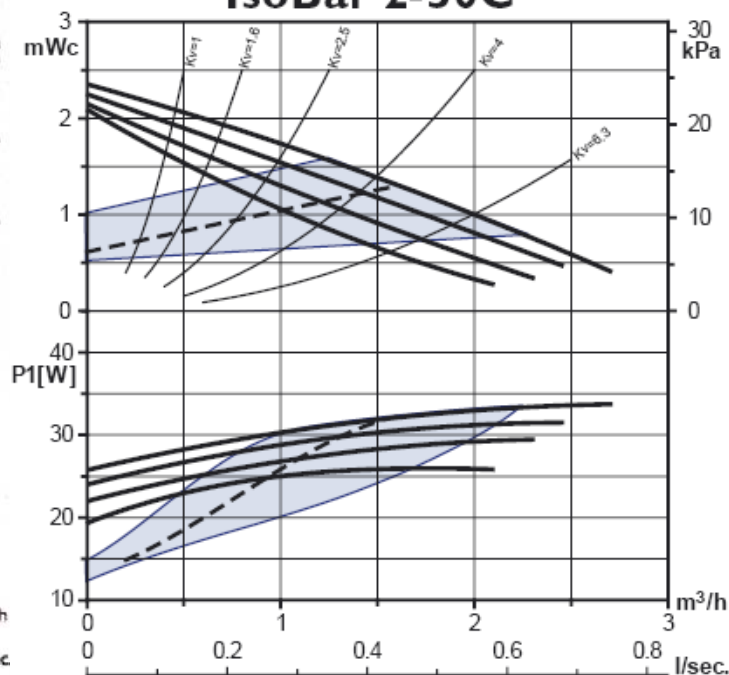
★ Vægten for bronzesversioner er ca. 10% højere.

## Smedegaard (IsoBar 2-50C er ikke med i forsøg)

### MiniWatt



### IsoBar 2-50C



## Wilo-Stratos ECO

Wilo-Stratos ECO 25/1-3 er ikke med i forsøg, men det er effektkurven for denne, der er vist nedenfor. 25/1-5 har samme lave elforbrug som 25/1-3.

