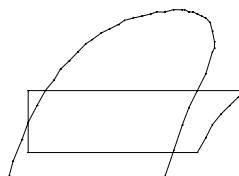


Individuelle Eldrevne Varmepumper

Implementering af ny teknologi – fase 5-10



**Teknologisk Institut
Køle- og Varmepumpeteknik
December 2002**

Forord

Nærværende rapport beskriver det arbejde, der er gennemført i projektet ”Individuelle Eldrevne Varmepumper, Implementering af ny teknologi – fase 5-10”. Dette projekt er en direkte fortsættelse af projektet med titlen ”Individuelle Eldrevne Varmepumper, Implementering af ny teknologi – fase 1-4” se reference /2/.

Projektet, der er gennemført med økonomisk støtte fra Energistyrelsen, omhandler anvendelse af behovsstyring af varmpumper vha. kompressorregulering. Første del af projektet (fase 1-4) var koncentreret om design, opbygning af første prototype, laboratorietest af denne samt udarbejdelse af simuleringsprogram til bestemmelse af nøgletal for anlæg med behovsstyring. Den her beskrevne del af projektet (fase 5-10) er koncentreret omkring feltmålinger på to anlæg installeret i private ejendomme.

Der skal herfra lyde en stor tak til projektgruppens medlemmer (Salling Vaske- og Køleservice og Lodam Elektronik A/S), og ikke mindst til de to anlægsværter, uden hvis hjælp projektet aldrig havde kunnet gennemføres.

Der skal desuden rettes en tak til de virksomheder, der uden for projektgruppen medvirkede til projektets gennemførelse, herunder specielt til virksomhederne Danfoss Drives A/S og Bitzer Kühlmaschinenbau GmbH i Tyskland.

Der er under projektførelsen gennemført flere præsentationer af projektet, og her kan nævnes følgende:

- Præsentation ved 16. Nordiske Kølemøde og 9. Nordiske Varmepumpedage (29.-31. august 2001) - konferenceindlæg.
- Præsentation ved temadag om ”Energibesparelse på kølekompressorer” afholdt af Procesteknisk Selskab under IDA (23. april 2002) – kursus/undervisning.
- Præsentation ved Danske Køledage 2001 og 2002 – udstilling.
- Artikel i VVS-Bladet (nr. 9/2001) med titlen ” Varmepumper til individuel opvarmning – teknologisk udvikling i fuld fart”.

Ønskes yderligere information om projektet, kan der rettes henvendelse til undertegnede.

Claus S. Poulsen
Projektleder
Teknologisk Institut
December 2002

Indholdsfortegnelse

Forord.....	1
Indholdsfortegnelse.....	2
0. Konklusion og anbefalinger.....	4
1. Indledning.....	6
2. Formål, projektindhold og organisation.....	8
3. Forprojektet (fase 1-4).....	9
4. Generel beskrivelse af teknologi.....	10
5. Opbygning af prototype varmepumper.....	12
5.1 Generelt.....	12
5.2 Kompressor.....	13
5.3 Frekvensomformer.....	14
5.4 Varvekslere.....	15
5.5 Drøveorgan.....	15
5.6 Pumper.....	15
5.7 Reguleringsudstyr.....	16
6. Styring og regulering af varmepumper.....	17
6.1 Generelt om styring af varmepumper.....	17
6.2 Beskrivelse af anvendt styring/reguleringsstrategi.....	17
6.2.1 Overordnede regler.....	17
6.2.2 Reguleringer.....	18
7. Laboratiemålinger på varmepumper.....	20
7.1 Laboratiemålinger på varmepumpe 1 (VP1).....	20
7.1.1 EN 255 prøvning af VP1.....	20
7.1.2 Øvrige målinger, VP1.....	21
7.2 Laboratiemålinger på varmepumpe 2 (VP2).....	21
7.2.1 EN 255 prøvning af VP2.....	21
7.2.2 Øvrige målinger, VP2.....	22
8. Feltnålinger.....	23
8.1 Generel beskrivelse af gennemførte feltnålinger (procedure).....	23
8.2 Målinger på varmepumpe 1.....	24
8.2.1 Beskrivelse af ejendom og opvarmningssystem – VP1.....	24
8.2.2 Resultat af målinger på VP1.....	24
8.3 Målinger på varmepumpe 2.....	26
8.3.1 Beskrivelse af ejendom og opvarmningssystem – VP2.....	26
8.3.2 Resultat af målinger på VP2.....	26
8.4 Analyse og korrektion af måleresultater.....	28
8.5 Opsummering af målinger.....	30
9. Litteraturliste.....	32
10. Oversigt over rapportens bilag.....	33
Bilag 1.1: Billeder fra installation 1 (varmepumpe 1).....	34
Bilag 1.2: Billeder fra installation 2 (varmepumpe 2).....	36
Bilag 2.1: Specifikke måleresultater fra varmepumpe 1.....	37
Bilag 2.2: Specifikke måleresultater fra varmepumpe 2.....	38
Bilag 3.1: Dimensionering, VP1.....	39

Bilag 3.2: Dimensionering, VP2	40
Bilag 4.1: Resultater – laboratoriemålinger VP1	41
Bilag 4.2: Resultater – laboratoriemålinger VP2	43
Bilag 5: Komponentliste - varmepumper	45
Bilag 6: Anvendt måleudstyr og målesystemer, laboratorie- og feltmålinger	46

0. Konklusion og anbefalinger

Anvendelse af varmepumper i områder uden kollektiv varmforsyning er uden tvivl en af de mest effektive metoder til nedbringelse af landets CO₂ emission. I nærværende rapport er beskrevet hvorledes det er muligt at gøre varmepumperne endnu mere effektive, nemlig ved anvendelse af behovsstyring, som dækker over at apparatet er i stand til at tilpasse ydelsen til det aktuelle behov. Dette gøres ved at omdrejningstalsregulere kompressoren (vha. en frekvensomformer) og i denne rapport er det vist, at denne teknologi med fordel kan anvendes i varmepumper.

Der er i projektet udviklet og demonstreret en ny styring, som indeholder de nødvendige elementer til en behovsstyring. De i projektet gennemførte målinger viser bl.a. følgende:

- Det er muligt at styre varmepumpens varmeydelse nøjagtigt efter det aktuelle behov i hovedparten af fyringssæsonen. Varmepumpens relative køretider i fyringssæsonen er tæt på 100%. I yderkanten af fyringssæsonen (september/oktober samt april/maj) vil varmepumpen naturligvis køre periodisk on/off.
- Det er hele varmepumpen, der reguleres, forstået således at pumper (varm som kold) ligeledes reguleres efter det aktuelle behov. I styringen udviklet i dette projekt reguleres brinepumpen efter en konstant temperaturdifferens over fordampere. Dette er nødvendigt, da energiforbruget til denne pumpe ellers vil stige betragteligt, da pumpens driftstid er væsentligt forøget i.f.t. normal drift. Regulering af den varme cirkulationspumpe er ikke essentiel for systemets samlede effektivitet, da dennes effektforbrug er relativt begrænset set i forhold til de øvrige komponenters. Og regulering af den varme cirkulationspumpe kan resultere i problematisk regulering af resten af systemet. I projektet er det derfor valgt at køre de varme cirkulationspumper ved konstant omdrejningstal.
- Anvendelse af behovsstyring generelt og den i projektet udviklede styring i særdeleshed giver mulighed for en væsentlig forøgelse af komfortniveauet. Dette skyldes, at det nu er muligt at holde en konstant rumtemperatur uden at dette får indvirkning på energiforbruget. Den udviklede styring indeholder bl.a. en reguleringsstrategi, der sikrer at indekomforten ikke lider under det primære ønske om lavt energiforbrug.
- Der er en række forhold, som det er nødvendigt at tage højde for inden teknologien implementeres i køle- og varmepumpeanlæg bl.a. forhold som kompressorvalg, olietilbageføring og vibrationer. Disse forhold bør altid diskuteres med leverandørerne af de enkelte komponenter.
- Der er gennemført en referencemåling på VP2 og denne viser ved de givne driftsbetingelser, at effektiviteten ved behovsstyring ligger på ca. 22% højere end tilsvarende ved on/off-drift.

Det har i projektet ikke været muligt at opnå helt så høje virkningsgrader, som forventet efter gennemførelsen af de første faser (1-4). Dette skyldes flere forhold, bl.a. at radiatorsystemet i den ene installation ikke var dimensioneret optimalt til varmepumpedrift. Men den primære årsag til forskellen er, at den valgte kompressor effektivitetsmæssigt ikke nåede samme niveau, som den kompressor, der anvendtes i de første projektfaser. Det blev dog allerede fra projektets start besluttet at acceptere denne lavere effektivitet, da projektets primære mål var at vise at behovsstyringsteknologien kunne implementeres i varmepumper – og det var derfor absolut nødvendigt at vælge en kompressor med et stort reguleringsområde.

På sigt vil den udviklede og demonstrerede teknologi kunne indpasses i flere varmepumpetyper, men den altoverskyggende udbredelse af teknologien må forventes at ske indenfor kølebranchen, hvor der bl.a. er startet et udviklingsprojekt under CO₂-ordningen med titlen ”Behovsstyring af mindre køleanlæg ved hjælp af kompressorregulering” (ENS-j.nr.: 731327/01-0108). Dette projekt vil på mange områder tage afsæt i de erfaringer, der er gjort i projektet beskrevet i nærværende rapport.

Nærværende projekt har allerede resulteret i lanceringen af et nyt produkt, nemlig en behovsstyret varmepumpe af samme type, som de her udviklede. Erfaringerne fra projektet er nu implementeret i en ”VP3”, som modellen er blevet døbt. Yderligere oplysninger om varmepumpen kan fås ved henvendelse til producenten Salling Vaske- og Køleservice.

1. Indledning

I bestræbelserne på at anvende systemer til opvarmning af enfamiliehuse, der kan reducere afbrændingen af fossilt brændsel, udgør varmepumperne en vigtig faktor. Resultaterne af tidligere undersøgelser viser (se /1/), at man ved anvendelse af varmepumper kan reducere CO₂ udslippet betydeligt, sammenlignet med andre typer opvarmningssystemer. Sammenlignet med f.eks. kondenserende oliefyrsdrift har varmepumper op til **40 %** mindre CO₂ udslip.

Ved gennemførelse af ”Individuelle Eldrevne Varmepumper – 1”, der afsluttedes i april 1998, er der ved eksperimentelle undersøgelser i laboratorium demonstreret forbedringer på op til 30 % af varmepumpers effektivitet ved anvendelse af kompressorer med omdrejningsregulering. Det påvistes ligeledes, at bruttoenergibesparelsen ved anvendelse af varmepumper udgør ca. 50 % sammenlignet med kondenserende oliekedler, se ref. /1/.

Fortsættelsen af dette projekt blev iværksat gennem projektfaserne 1-4 i projektet ”Individuelle el-drevne varmepumper -2, implementering af ny teknologi”. Dette projekt afsluttedes 1. december 1999, se ref. /2/, og der blev her gennemført en systemdimensionering samt en række laboratorieforsøg på en varmepumpe med behovsstyring. Det blev i projektet vist, at der kan forventes en årsnyttevirkning på ca. 4 ved installation af varmepumper med behovsstyring i hus med gulvvarmesystem. Dette medfører, at varmepumpens rolle som attraktiv og miljøvenlig alternativ til de traditionelle opvarmningssystemer er endnu mere velbegrunderet.

Anvendelsen af behovsstyring i varmepumper, tager udgangspunkt i ønsket om tilpasning af varmepumpens ydelse til det aktuelle opvarmningsbehov. Praksis i dag er, at man lader varmepumpen køre on/off, hvilket betyder at varmepumpen i køreperioder yder mere end nødvendigt og i andre perioder er afbrudt. Dette medfører en del tab under drift og i opstartssituationer.

Indenfor en række andre køle- og varmepumpeteknologier er det vist at behovsstyringsteknologien giver væsentlige forbedringer i anlæggenes effektivitet. Faktisk er der i nogle tilfælde tale om næsten en halvering af energiforbruget i.f.t. traditionelle reguleringsstrategier (se eksempelvis /4/, /5/ og /6/).

Nærværende projekt (fase 1-10) arbejder videre med resultater og erfaringer opnået i Individuelle Eldrevne Varmepumper – 1 (april 1998). Dette gøres gennem optimering af varmepumpens kølekredsløbet, anvendelse af elektronisk ekspansionsventil, dimensionering af komponenter og udvælgelse/udarbejdelse af korrekt styringsstrategi (frekvensregulering / behovsstyring).

Projektets første fire faser, der afsluttedes december 1999, var inddelt i følgende:

- fase 1: Komponentudvælgelse og analyse
- fase 2: Vurdering og udvælgelse af regulerings- og styringsstrategier
- fase 3: Opbygning af laboratorieopstilling
- fase 4: Udarbejdelse af måleprogram og gennemførelse af eksperimentelle undersøgelser i laboratorium

Nærværende rapport, der beskriver projektfaserne 5-10, er specielt rettet mod praktisk anvendelse og demonstration af de opnåede resultater i de tidligere projekter. Projektet omhandler opbygning af to varmepumpeanlæg, hvorpå der er gennemført en række laboratorietests samt feltmålinger over en længere periode.

På verdensplan ses i dag flere anlæg, der anvender behovsstyring (kapacitetsregulering), men fælles for disse anlæg er, at de ikke er energimæssigt attraktive i Danmark, da de for hovedpartens vedkommende er luft/luft anlæg. Disse anlæg udgør i dag et stort volumen i DK, men medfører totalt set en relativt begrænset energibesparelse, da de typisk dækker mindre end 60% af det samlede varmebehov i de ejendomme, hvor de er installeret.

Teknologien fra de nævnte luft/luft varmepumper kan ikke umiddelbart anvendes i de mere attraktive væske/vand varmepumper, hvilket skyldes, at de i princippet er optimerede til anlæg, hvor hovedparten af driftstiden ligger, hvor anlægget fungerer som luftkonditioneringsanlæg.

Indsatsen i nærværende projekt er koncentreret om væske/vand varmepumper, der betragtes som værende den teknologi, der på længere sigt vil have den største indvirken på nedbringelsen af CO₂ emissionen i Danmark.

Det overordnede projektresultat fra projektets første faser (1-4) er vist i kapitel 3.

2. Formål, projektindhold og organisation

Formålet med det i nærværende rapport beskrevne projekt er at anvende og viderebearbejde de resultater, der er opnået i projektet ”Individuelle Eldrevne Varmepumper – implementering af ny teknologi fase 1-4”. Dette gøres via feltmålinger på varmepumpeanlæg installeret i private ejendomme.

Feltemålingerne skal dokumentere, at anvendelse af varmepumper på dette område, medfører en effektivitet, der ikke kan opnås med andre kendte varmeanlæg. Resultaterne skal endvidere kunne danne grundlag for fremtidige energiplanmæssige overvejelser specielt i områder uden kollektiv varmeforsyning.

Projektet indeholder følgende aktiviteter:

- fase 5: Udvalgelse af egnede anlægsværter samt fastlæggelse af tilhørende måleprogram
- fase 6: Opbygning, test og optimering af varmepumper
- fase 7: Installation af varmepumpeanlæg
- fase 8: Gennemførelse af feltemålinger
- fase 9: Bearbejdning og analyse af resultater
- fase 10: Projektledelse, rapportering og videnformidling

Projektets organisation består af følgende:

Projektledelse:

Prøvestationen for Varmepumpeanlæg, Teknologisk Institut
v./ Claus S. Poulsen
Gregersensvej
2630 Taastrup

Øvrige projektdeltagere:

Lodam Elektronik A/S
v./ Jens Andersen, Carsten Rothmann, John Sostack, Jan Elbæk
Grundtvigs Allé 163
6400 Sønderborg

Salling Vaske- og Køleservice
v./ Vagn Tanderup
Frederiksgade 36
7800 Skive

3. Forprojektet (fase 1-4)

Fra rapporten udgivet i forprojektet (fase 1-4) /2/ er hentet følgende uddrag fra konklusionen:

”Der er entydige energi- og miljømæssige fordele ved anvendelse af varmepumper både sammenlignet med mest de effektive oliefyr men naturligvis i endnu højere grad ved sammenligning med direkte el-opvarmning. Men grundet stadigt stigende elpriser er en konstant udvikling indenfor varmepumpeteknologien nødvendig, såfremt det økonomiske incitament til anskaffelse af varmepumper stadig skal være til stede.

I tidligere gennemført projekt med titlen Individuelle Eldrevne Varmepumper blev det vist at anvendelse af frekvensregulerede kompressorer i varmepumper kunne øge effektiviteten af disse med op til 30 % sammenlignet med traditionelle varmepumper. Nærværende projekt har efterfølgende vist, hvorledes teknologiske og økonomiske barrierer ved implementeringen af den nye teknologi i varmepumperne kan overvindes.

Nærværende projekt indeholder en systemdimensionering med deraf følgende komponentudvælgelse. Dette er foregået i samarbejde med en række firmaer nationalt og internationalt. Der er desuden opbygget en styring, hvor elektronikken er bygget op omkring et grundmodul til frekvensregulering leveret af Grundfos.

Et af de punkter, der ikke tidligere har været belyst omkring frekvensregulering er termoventilens arbejdsområde. I foregående projekt anvendtes en traditionel termostatisk ekspansionsventil, men af hensyn til indsatsområder og effektivitet er det her valgt at anvende en elektronisk ventil, en såkaldt AKV fra Danfoss. Med denne er det muligt at reducere overhedningen og dermed gøre systemet mere effektivt. I de aktuelle dynamiske laboratorieforsøg er overhedningen fastsat variabelt til mellem 2 og 3 K, med en søgning efter laveste værdi, altså 2 K.

Målinger i laboratorium viser at der kan forventes en årsnyttevirkning på ca. 4 (incl. pumper og produktion af varmt brugsvand), hvilket er forbedring på 18-25% i forhold til de 3,2 - 3,4 der er normalt for de nuværende varmepumpesystemer på markedet. Denne forbedring er betinget af at varmeafgiversystemet er korrekt og optimalt dimensioneret.

Derfor er de energi- og miljømæssige gevinster ved anvendelse af varmepumper [ref. 1 og ref. 5] betydeligt højere ved anvendelse af frekvensregulering end tidligere antaget.

4. Generel beskrivelse af teknologi

I det følgende gives en introduktion til begrebet behovsstyring. Formålet med beskrivelsen er at give læseren en appetitvækker og præsentere de grundbegreber, der bliver anvendt i resten af nærværende rapport.

Emnet behovsstyring er blevet behandlet i mange sammenhænge i de seneste år. Der findes en del litteratur om teknologien, bl.a. beskriver /3/ på rimelig kort og kontant form de grundlæggende begreber indenfor frekvensregulering.

Formålet med denne form for regulering er at tilpasse varmepumpens ydelse til det aktuelle behov. I /2/ er reguleringsformen nærmere beskrevet, men i det følgende gennemgås de vigtigste forhold omkring behovsstyring af varmepumper.

I forbindelse med gennemførelsen af projekterne ”Individuelle Eldrevne Varmepumper” ref./1/ og ”Individuelle Eldrevne Varmepumper – 2, Implementering af ny teknologi” ref./2/ er undersøgt den gevinst, der kan opnås ved at behovsstyre varmepumper af typen væske/vand. Det er i disse undersøgelser vist, at der kan forventes en forbedring i effektiviteten på mellem 15 og 30% ved at anvende behovsstyring (laboratorieforsøg).

Behovsstyring er som nævnt grundlæggende at tilpasse varmepumpens ydelse til det aktuelle behov. Dette gøres primært ved trinløs hastighedsregulering af kompressoren. Regulering af omdrejningstal på pumper eller ventilatorer kan ligeledes være en del af behovsstyringen.

Der er ved anvendelsen af denne reguleringsform en række forhold man skal være opmærksom på, herunder kan nævnes indsatsgrænser (strøm og omdrejningstal) for kompressor, udformning og dimensionering af kølemiddelsystemets varmevekslere samt tilbageføring af olie til kompressor.

Faldende omdrejningstals i kompressoren vil resultere i højere fordampningstemperatur og desuden vil kondenseringstemperaturen falde. Begge disse forhold vil have en positiv indflydelse på varmepumpens effektivitet. Derudover vil kompressorens effektivitet normalt stige ved nedsættelse af omdrejningstallet (indtil et vist niveau – derefter vil effektiviteten falde markant). Der kan dog i nogle tilfælde være vanskeligheder ved at få olien tilbageført til kompressoren, eksempelvis hvis der køres ved meget lave omdrejningstal samtidig med at der haves en lav fordampningstemperatur. Den trefasede asynkronmotor som normalt anvendes i kompressorer til varmepumper vil naturligvis kunne sætte visse begrænsninger på systemets effektivitet. Men i de fleste tilfælde vil frekvensomformerens og motorens virkningsgrader holde et tilfredsstillende niveau ned til selv meget lave omdrejningstal. Det sidstnævnte afhænger af belastningen af motoren - i kølesystemer vil belastningen typiske være høj selv ved lave omdrejningstal sammenlignet med andre anvendelser.

Der er naturligvis en række andre forhold, man skal være opmærksom på, når reguleringsformen tages i anvendelse i kølesystemer. Der er ikke umiddelbart muligt at opstille generelle retningslinier for, hvornår løsningen er økonomisk attraktiv, men det vil primært være anlæg med stor variation i belastningen der er mest interessant. Netop i denne type anlæg (som varmepumper hører ind under) vil anvendelse af behovsstyring kunne bidrage til væsentlige forbedringer i systemeffektiviteten.

I nedenstående liste er nogle fordele og ulemper ved anvendelse af teknologien ridset op:

Fordele:

- + Højere systemeffektivitet
- + Mindre slid på kompressoren og dermed højere levetid
- + Mindre støj
- + Mulighed for forceret drift (omdrejningstal over det nominelle)

Ulemper:

- Begrænset udbud af kompressorer egnet (godkendt) til reguleringsmetoden
- Problematisk olieretur ved lave omdrejningstal
- Vibrationsproblemer ved nogle omdrejningstal (afhænger af øvrige betingelser)
- Anlægsinvestering som i nogle tilfælde kan blive større med denne reguleringsform

Afslutningsvis må det klart anbefales at man retter henvendelse til sin kompressorleverandør inden man tager teknologien i anvendelse.

5. Opbygning af prototype varmepumper

5.1 Generelt

I projektet er der opbygget to prototype varmepumper, som er testet i laboratorium og efterfølgende opstillet i private ejendomme, hvor de er blevet testet over en længere periode.

Begge varmepumper i projektet er bygget som prototyper. Dette betyder bl.a. at de alene er konstrueret for det pågældende projekt og dermed ikke er lagervarer. Det har gennem projektføreløbet været ønsket at få afdækket så mange relevante forhold som muligt, bl.a. forhold som pumpernes indflydelse på systemets samlede effektivitet, optimal udnyttelse af underkøling i kondensator etc.

Dimensionering af varmepumper og jordslanger er foretaget på helt normal vis. Nærmere oplysninger om de to systemer fås i kapitel 8.2 og 8.3 og i bilag 3 er vist de grundlæggende systemberegninger.

Der er visse grundlæggende forhold omkring dimensionering, man skal være opmærksom på, når behovsstyring anvendes. Eksempelvis vil en forbedring af anlæggets effektivitet betyde at energioptaget fra jordslangerne øges, hvilket betyder, at det er ekstra vigtigt, at jordslangen er korrekt dimensioneret. Omkring selve varmepumpen er det muligt at vælge en kompressor, der er mindre end ellers, da det er muligt at forcere driften til højere hastighed, end hvad der svarer til 50Hz.

Begge varmepumper, kaldet VP1 og VP2 er bygget ud fra de erfaringer, der er gjort i projektets første faser. I foregående projektfaser (se /2/) opstod der i testfasen bl.a. problemer med kraftrige vibrationer, der resulterede i et knækket trykrør. Der er derfor i begge prototyper gjort en ekstra indsats omkring vibrationsdæmpning – bl.a. omkring ophæng og rørføring.

Begge varmepumper er opbygget i en selv bærende rammekonstruktion, som er beklædt med rustfrie stålsider. Varmepumperne er beregnet for indendørs opstilling, og de er begge isoleret for at mindske varmetab og støj.

Begge varmepumper er naturligvis udstyret med lovbefalet og nødvendigt sikkerhedsudstyr herunder miljøpressostat, høj- og lavtrykspressostat samt diverse elektroniske sikkerhedsfunktioner i styringen. Inden montering af varmepumper blev begge værter bedt om at sikre, at deres elinstallation var forsynet med et HPFI-relæ, for sikre mod eventuelle fejlstrømme. Der er efterfølgende blevet monteret et såkaldt ”AC/DC-følsomt fejlstrømsrelæ” i begge installationer, som yderligere sikrer brugerne (sikrer mod eventuelle jævnstrømstrømme som uhindret kan passere et HPFI-relæ). Det sidstnævnte bør altid monteres sammen med installation af frekvensomformere.

I det følgende gennemgås anlæggenes hovedkomponenter og der lægges i sær vægt på projektgruppens beslutninger omkring komponentvalg, og hvilke vanskeligheder de enkelte valg har resulteret i. I bilag 5 er vist en samlet oversigt over de anvendte hovedkomponenter.

5.2 Kompressor

Ved udvælgelsen af kompressoren er der taget udgangspunkt i nogle vigtige forhold, bl.a. krav til reguleringsområde, samt naturligvis til de dimensionerende forhold, der var gældende hos de to anlægsværter.

Reguleringsområdet for den valgte kompressor vurderes som værende absolut essentielt, og der er derfor valgt en kompressortype, der umiddelbart ikke synes velegnet til varmepumpedrift. Den valgte type som er en semihermetisk stempelkompressor, der udmærker sig som værende ganske fremragende til behovsstyring, men lider i varmepumpesammenhæng under at have et relativt stort varmetab. Dette betyder i praksis at store dele af gevinsten ved behovsstyringen kan gå tabt, hvis der ikke træffes forholdsregler omkring opstilling og isolering af varmepumpe.

I projektet er der naturligvis taget højde for disse forhold, men det skal understreges, at det absolut havde været muligt at fremskaffe en væsentligt mere effektiv kompressor, men var valgt faldet på andre, havde det været nødvendigt at gå på kompromis med reguleringsområdet – og dette ønskede projektgruppen ikke. Konsekvensen af denne beslutning er at varmepumperne ikke har den effektivitet, som fra projektets start var forudset.

Generelt må det anbefales, at varmepumper af denne størrelse udstyres med hermetiske kompressorer, hvor varmetabet er væsentligt mindre end hvad der gælder for semihermetiske kompressorer. Og netop i varmepumper kan dette varmetab betyde forskellen mellem tilfredsstillende og ikke tilfredsstillende effektivitet. Desværre er en del af de hermetiske kompressorer, der findes på markedet ikke særligt velegnet til frekvensregulering. Dette har været den primære årsag til at valget i projektet er faldet på en semihermetisk kompressor fra Bitzer. Den valgte kompressor er en 2-cylindret model i to udgaver (2EC-2.2Y i VP1 og 2CC-3.2Y i VP2). Begge motorer er firepolet modeller. Valget af 2-cylindret modeller kan medføre problemer. Det må klart anbefales, at der under normale omstændigheder vælges 4-cylindret modeller, da der ellers kan opstå store strømpulser ved lave omdrejningstal eller i nogle tilfælde reelle opstartsproblemer.

Kompressorerne er til projektet udført i en specialudgave, hvor endepladen er erstattet med en tyk, massiv plade af aluminium, hvor frekvensomformerer kan monteres direkte. Dette sikrer, at den varme, der afsættes i frekvensomformerer bortledes til kølemidlet i kompressoren og dermed udnyttes denne "spildvarme" i varmepumpen.

Udvælgelsen af kompressorstørrelsen er naturligvis betinget af det dimensionerende varmetab i de ejendomme, der er udvalgt til demonstrationen. Dimensioneringen er foretaget på helt traditionel vis med beregning af dimensionerende varmetab, effektforhold og energidækning. Der er til beregningerne benyttet de opgivelser anlægsværterne har leveret omkring tidligere forbrug og ydelsen for varmepumpen er ligeledes på helt traditionel vis beregnet ud fra kompressorproducentens data ved netfrekvensen 50Hz.

Motorerne i de valgte kompressorer er koblet forskelligt. I VP1 er valgt en trekantskobling og viklingerne påtrykkes en nominel spænding på 230 V. Dette giver mulighed for at hæve motorens

omdrejningstal til en frekvens svarende til ca. 87 Hz før der sker en reel forøgelse af ampereforbruget (den eksakte frekvens afhænger af spændings/frekvens forholdet).

I VP2 er det af hensyn til startvanskeligheder ved højt kondenseringstryk valgt at koble motoren i stjernekobling og denne påtrykkes nominelt 400 V. Dette medfører at man allerede ved omdrejningstal over det der svarer til 50 Hz får en forøgelse af ampereforbruget og dermed en afsættelse af varme i motoren. Dette skyldes at frekvensomformerer ikke kan levere spændinger højere end netspændingen (400 V). Til gengæld vil kompressoren typisk være mere effektiv ved lavere frekvens end den trekantskoblede, da spændingen ved lavere frekvenser vil være højere. Mere information om dette emne kan hentes i ref /3/.

5.3 Frekvensomformer

Ved udvælgelse af frekvensomformer til testanlæggene er der foretaget en række beregninger på de valgte kompressorer, men den endelige beslutning omkring frekvensomformerer blev trods dette truffet ud fra erfaringer gjort fra andre projekter. Det blev nemlig valgt at benytte en model, der var mulig at montere direkte på kompressoren og som nævnt i foregående afsnit har dette stor betydning for udnyttelse af det varmetab, der er i frekvensomformerer.

Frekvensomformerer, en VLT fra Danfoss, blev indledningsvis justeret rent softwaremæssigt, således at denne var tilpasset det aktuelle behov.



Figur 5.3.1: Billede af indvendig del af varmepumpe – til højre ses frekvensomformer monteret på kompressoren

Det skal understreges at den valgte løsning med frekvensomformer og kompressorer sammenbygget ikke på nuværende tidspunkt vurderes som værende økonomisk realiserbar, men for varmepumpesystemer er det en klar fordel at varmen fra frekvensomformerer ledes videre i

kølesystemet. I systemer, hvor anlæggene konstrueres til køleformål er dette ikke nødvendigt, medmindre det er et krav a.h.t. køling af frekvensomformereren.

Det er nødvendigt, når der vælges frekvensomformere til kølesystemer (herunder varmepumper) at sikre at disse er beregnet til konstant moment. Vælges frekvensomformere beregnet til kvadratisk moment til kølesystemer vil det ikke være muligt at starte motoren i kompressoren, da eksempelvis et højt kondenseringstryk vil bevirke at momentbehovet er så stort, at kompressoren ikke kan startes.

5.4 Varmevekslere

Varmevekslerne i begge varmepumper (fordampere og kondensatorer) er dimensioneret på ganske traditionel vis. Dette betyder, at der er taget udgangspunkt i en ønsket temperaturdifferens over vekslerne. Det er valgt at benytte pladevekslere til varmepumperne (ganske traditionelt valg) af mærket Alfa Laval.

Fordamperen er lagt ud til at bidrage med et temperaturfald på brinen på 3K ved nominel drift (50Hz ved 5/55). For kondensatorens vedkommende ønskes en temperaturstigning på vandsiden på omkring 8 K ved nominel drift. Med disse beslutninger samt kendskabet til den ønskede ydelse, kan vekslerne udvælges ved opslag i producentkatalog.

5.5 Drøveleorgan

I begge prototyper det valgt at anvende en elektronisk ventil (AKV fra Danfoss). Valget er truffet ud fra ønsket om at undersøge, hvorvidt det er muligt fuldstændigt at kontrollere overhedningen ud af fordamperen. Fra Danfoss' side var der dog fra projektets start tvivl om, hvorvidt dette kunne lade sig gøre primært fordi anlæggene ikke umiddelbart synes egnet til denne ventiltipe. Et af problemerne som blev forudset var at anvendelsen af frekvensregulerede pumpe på brinesiden kunne influere negativt på reguleringen af ventilen.

Det har dog vist sig at der i langt hovedparten af driftssituationerne ingen reelle problemer er. Kun ved bratte ændringer i driftsbetingelserne ses problemer – bl.a. er der på VP1 observeret en del fejl ved skift fra brugsvand til rumvarmeproduktion, hvor ventilen simpelthen ikke når at kompensere for det momentant faldende kondenseringstryk. Problemet er afhjulpet ved at lade kompressorens omdrejningstal ændre sig øjeblikkeligt ved endt brugsvandsproduktion til det, som var gældende før brugsvandsproduktionen blev indledt.

5.6 Pumper

Pumperne i begge varmepumper er forsynet med deres egne frekvensomformere. På brinesiden er valgt en CRE-model fra Grundfos og på vandsiden anvendes i begge varmepumper en UPE pumpe ligeledes fra Grundfos.

Baggrunden for disse valg er, at det fra projektets start lå klart, at tabet ved at lade specielt brinepumpen køre synkront med kompressoren (og dermed i væsentligt flere driftstimer end ellers) kunne æde en del af gevinsten ved de øvrige tiltag. Der er i styringen lavet kommunikation med de to pumper, således at disse kan styres i samspil med de øvrige komponenter. Det lå dog hurtigt klart at vandpumpen i afgiversystemet ikke skulle reguleres, da dette ville kunne få uheldig indflydelse på de øvrige reguleringer i systemet. Derfor er det alene brinepumpen, der ”fjernstyres” og behovstyres.

5.7 Reguleringsudstyr

Styringen, der i fase 1-4 var indbygget i sit eget styreskab, er nu blevet integreret i selve varmepumpen. Formålet er naturligvis at reducere pladsbehovet, men samtidig er det muligt at begrænse eventuel elektrisk støj fra apparatet.

Der er brugt et nyere styrekort som det i fase 1-4, tilpasset den aktuelle opgave. Der er sket følgende ændringer/forbedringer iht. fase 1-4:

- Styringen har fået en LCD display og folie tastatur, så lokalt betjening er muligt.
- Der er kommunikation med pumper.
- PC programmet funktioner er udvidet.

Styringen er microcontroller baseret og indeholder følgende:

- RS485 til kommunikation med frekvensomformer.
- RS485 til kommunikation med pumper.
- RS232 til kommunikation med PC.
- Udgange til 3-vejsventil.
- Udgang til styring af elektronisk termoventil.
- Indgange til måling af kompressor tilgangs- og afgangstryk.
- Indgange til måling af følgende temperaturer: Brine fremløb, brine returløb, temperatur af kølemiddel efter fordamper, kompressor afgangstemperatur, fremløb, retur, brugsvand, ude og inde temperatur.
- Indgang for følgende pressostater: Miljø-, høj- og lavtrykspressostat.
- Udgang til LCD display.
- Indgang til folietastatur.

6. Styring og regulering af varmepumper

6.1 Generelt om styring af varmepumper

Varmepumper bliver traditionelt reguleret efter nogle kurver, der bestemmer den fremløbstemperatur som tilfredsstillende radiator-systemet afhængigt af udetemperaturen. Ulempen ved denne metode er, at fremløbstemperaturen i mange tilfælde er for høj fordi man "giver den ekstra tand" for at være sikker på, at huset kan varmes op i alle driftssituationer. Desuden er det nødvendigt at køre en del over den nødvendige fremløbstemperatur, når kompressoren kører, da der skal kompenseres for den manglende opvarmning under stilstand.

En forhøjet fremløbstemperatur medfører højere kondenseringstemperatur og dermed lavere effektivitet. Generelt kan tommelfingerreglen "2-3 % pr. grad" benyttes og heraf ses at bare nogle grader højere fremløbstemperatur kan få store følger. Det er derfor utroligt vigtigt at fremløbstemperaturen holdes så lav som muligt.

Tilsvarende regnestykke kan opstilles for brinekredsen. Her kører pumpen traditionelt synkront med kompressoren, men ved at sænke pumpens omdrejningstal er det muligt at nedsætte dennes effektforbrug.

6.2 Beskrivelse af anvendt styring/reguleringsstrategi

I det følgende gennemgås kort de valgte reguleringsstrategier i den opbyggede styring. De viste størrelser er kun et lille udpluk af alle de parametre, der indgår i den relativt komplicerede styring.

6.2.1 Overordnede regler

Kompressor og frekvensomformer

For at sikre kompressorens levetid må den ikke startes hurtigere end 5 minutter efter den har været helt stoppet.

Når kompressoren har været slukket i mere end 10 min, startes kompressoren med at rampe op til 50 HZ og derefter til den ønskede frekvens for at sikre tilstrækkelig smøring af kompressorens stempler specielt under opstart.

Trevejsventilen

Varmepumpen kører brugsvandsprioritering, hvilket betyder at brugsvandsproduktionen har førsteprioritet. Systemet er udstyret med en trevejsventil, der kan skifte mellem brugsvands- og rumvarmestilling.

Trevejsventilen skifter, når brugsvandsproduktionen påbegyndes og skifter altid tilbage til rumvarmestilling også i sommerdrift.

Brinepumpe

Brinepumpen kører altid når kompressoren kører. Brinepumpen skal altid køre en fastlagt tid før kompressoren starter. Pumpen stopper samtidig med kompressoren. Pumpen kører ikke når vandpumpen cirkulerer radiatorvandet om sommeren.

Vandpumpe

Vandpumpen kører konstant når varmepumpen kører i vinterdrift. I sommerdrift kører den på det planlagte cirkulations tidspunkt, samt når der laves brugsvand.

Sænkning/Hævning (temperatur profiler)

Til at tilpasse ydelsen efter dags/uge behov implementeres der et antal uge programmer.

6.2.2 Reguleringer

Brine regulering:

Brinens temperaturfald over fordamperen holdes på et fast niveau. Det bevirker at flowet blive styret som funktion af fordampningsenergien.

Brineflowet skal holdes inden for de tilladte grænser som er valgt ud fra kendskabet pumpens energiforbrug, samt den ønskede fordampereffekt.

Vand regulering:

Vand reguleringen skal sikre konstant tryk på tilgangen til radiatorerne. Trykket af hænger af hvorledes radiator systemet er sammensat.

Temperatur regulering:

Temperaturreguleringen styrer energitilførslen til huset. Ydelsen er variabel og reguleres ud fra ude- og indetemperaturen, samt afhængig af nogle konstanter C2 (Q grundlast) og C3 som er forholdet imellem husets isoleringsevne og radiatorkapaciteten korrigeret med en faktor.

Brugsvand regulering:

Når beholdertemperaturen falder til under et fastsat niveau, opvarmes brugsvandet på grundlag af den valgte strategi. Der kan vælges mellem følgende strategier. Fasttid, Fast effekt, Bedste COP. Ved fasttid søger reguleringen at varme vandet op på den forlangte tid. Ved fast effekt opvarmes vandet med en fast effekt (Q). Ved bedste COP varmes vandet op ud fra den bedste COP. I semiautomatisk drift kan brugeren selv trække trevejsventilen og dermed manuelt lave brugsvand. Eventuel elpatron kan tilkobles udgangen for 3 vejs ventilen med en kontaktor eller direkte afhængig af effekt forbrug.

Sommer/vinter drift:

Når varmebehovet er lille skiftes der automatisk til sommerdrift (efter fastsat dato eller temperaturniveau udendørs).

I sommerdrift produceres der brugsvand efter behov. Yderligere cirkuleres radiatorvandet på planlagte tidspunkter, for at sikre mod pumpefejl.

Semiautomatisk drift:

Semiautomatisk drift kan benyttes under indkøring og service, eller hvis man ønsker at styre anlægget delvis manuelt.

Cirkulationspumperne og kompressor styres automatisk ved at kalde på en ønsket relativ varme ydelse. Det er muligt at styre trevejsventilen manuelt on/off, derved kan der laves brugsvand manuelt.

7. Laboratiemålinger på varmepumper

Umiddelbart inden varmepumperne blev installeret hos anlægsværterne blev de begge testet på prøvestand på Teknologisk Institut i Tåstrup. Dette blev gjort for at sikre et fuldstændigt kendskab til varmepumpernes ydelse, effektivitet etc. Samtidig blev laboratiemålingerne gennemført med henblik på optimering af frekvensomformerens opsætning.

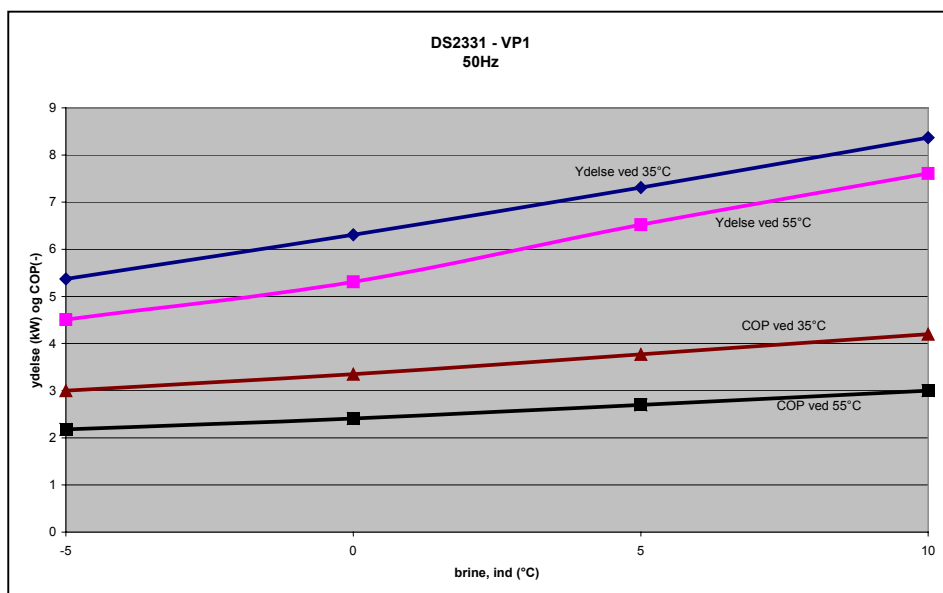
I det følgende beskrives de målinger, der er foretaget i laboratoriet, og der vises de mest interessante resultater fra disse målinger.

Begge varmepumper gennemgik indledningsvis en standard EN 255 prøvning (ydelse og effektivitet). Herudover er begge varmepumper testet ved forskellige belastninger (varierende omdrejningstal, forskellige temperaturniveauer etc.). Resultaterne kan alle ses i bilag 4.

7.1 Laboratiemålinger på varmepumpe 1 (VP1)

7.1.1 EN 255 prøvning af VP1

På følgende figur ses resultaterne af EN255 prøvningen af VP1.



Figur 7.1.1-1: EN255 Ydelse og COP for VP1 (COP er varmepumpens effektivitet incl. pumper etc.)

7.1.2 Øvrige målinger, VP1

Som nævnt er der gennemført en række test af varmepumperne ved forskellige driftsbetingelser (ikke EN255 – betingelser). Disse målinger har vist følgende interessante resultater:

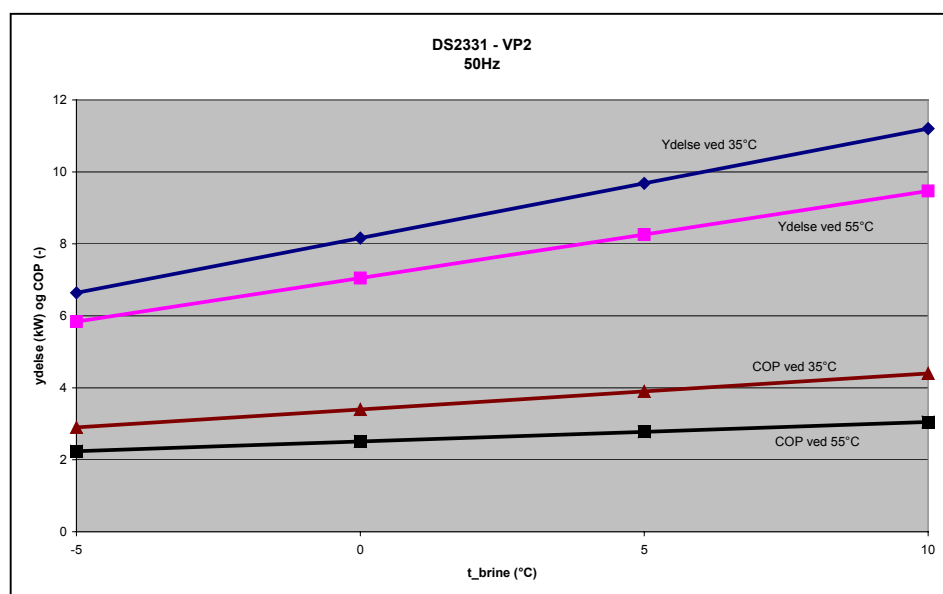
- Varmepumpens ydelse kan tilnærmelsesvis betragtes som værende ligefrem proportional med kompressorens omdrejningstal ved konstante ydre betingelser i et rimeligt stort område (ca. 25-65 Hz)
- Varmepumpens COP er tilnærmelsesvis konstant i et relativt stort område. Først ved høje omdrejningstal falder COP'en. Det kan i øvrigt oplyses, at der netop for denne varmepumpe ved lave omdrejningstal (svarende til mindre end 20Hz) ses et kraftigt fald i COP'en.
- Ampereforbruget ligger rimeligt konstant i det område testene er foretaget i (op til 75 Hz). Dette kan tilskrives den måde motoren er koblet og strømforsynet på (trekantskoblet med 230 V forsyning nominelt).

Se bilag 4.1 for yderligere information om måleresultaterne på VP1.

7.2 Laboratiemålinger på varmepumpe 2 (VP2)

7.2.1 EN 255 prøvning af VP2

På følgende figur ses resultaterne af EN255 prøvningen af VP2.



Figur 7.2.1-1: EN255 Ydelse og COP for VP2 (COP er varmepumpens effektivitet incl. pumper etc.)

7.2.2 Øvrige målinger, VP2

Som gældende for VP1 har målingerne på VP2 også vist en række interessante resultater. Tendensen omkring ydelse og COP er faktisk ens for de to varmepumper. Men på ampereforbruget ses ikke overraskende en forskel:

- Varmepumpens ydelse kan tilnærmelsesvis betragtes som værende ligefrem proportional med kompressorens omdrejningstal ved konstante ydre betingelser i et rimeligt stort område (ca. 25-65 Hz)
- Varmepumpens COP er tilnærmelsesvis konstant i et relativt stort område. Først ved høje omdrejningstal falder COP'en.
- Ampereforbruget ligger rimeligt konstant op til 50 Hz. Derefter ses et stigende forbrug. Dette kan tilskrives den måde motoren er koblet og strømforsynet på (stjernekoblet med 400 V forsyning nominelt).

Se bilag 4.2 for yderligere information om måleresultaterne på VP2.

8. Feltmålinger

8.1 Generel beskrivelse af gennemførte feltmålinger (procedure)

For dokumentation af anlæggenes effektivitet, er der på begge varmepumper gennemført et omfattende måleprogram. Måleprogrammet har været gennemført over en fyringssæson (2001-2002) med tilhørende målinger i sommerperioden 2002 for afdækning af driftsforhold ved brugsvandsproduktion i sommerperioden.

Begge varmepumper blev opsat i slutningen af 2000 (hhv. oktober og december) og selve måleperioden indledtes omkring afslutningen af sommeren 2001.

Målingerne, der er gennemført i projektet har naturligvis været koncentreret om anlæggenes energiforhold, men af hensyn til fremtidigt arbejde med teknologien, er det ligeledes målt og registreret en række køletekniske størrelser.

Nedenstående tabel viser de målte størrelser:

Navn	Målepunkt
t	Kontinuert registrering af tid (hh:mm:ss)
T_sug	Sugegastemperatur ved indgang til kompressor (°C)
T_tr	Trykrørstemperatur ved afgang fra kompressor (°C)
T_uk1	Væsketemperatur ved afgang kondensator – underkøling (°C)
T_uk2	Væsketemperatur ved før ventil (°C)
T_oh	Gastemperatur ved ventilmøler – overhedning (°C)
T_kbin	Brinetemperatur ind i varmepumpe (°C)
T_kbut	Brinetemperatur ud af varmepumpe (°C)
T_vbin	Vandtemperatur (radiator) ind i varmepumpe (°C)
T_vbut	Vandtemperatur (radiator) ud af varmepumpe (°C)
LP	Sugetryk tilgang kompressor (bar)
HP	Højtryk afgang kompressor (bar)
P_vp	Totalt tilført effekt til varmepumpe (incl. kompressor, pumper styring etc.) (kW)
q_vand	Vandflow, radiatorsystem (l/h)
q_brine	Brineflow, optagersystem (l/h)

Figur 8.1.1: Målepunkter – feltmålinger

Det er ud fra ovenstående målinger muligt at beregne alle nødvendige størrelser og nøgletal for de to varmepumper. Der er anvendt graddage (hhv. skyggegraddage og solkorrigerede graddage) til bestemmelse af udetemperatur samt samlet antal graddage i perioden.

De nøgledata, der opgives er (afhængig af varmepumpe):

Q_afgivet	afgivet varmeenergi brugsvand og rumvarme (kWh)
Q_tilført_brine	tilført energi fra brinekreds (kWh)
Q_tilført_el	tilført energi fra elnettet (kWh)

8.2 Målinger på varmepumpe 1

8.2.1 Beskrivelse af ejendom og opvarmningssystem – VP1

Varmepumpe 1 (kaldes i det efterfølgende VP1) blev installeret i efteråret 2000 i en ejendom i Sabro beliggende ca. 12 km vest for Århus. Ejendommen er en ældre murstensvilla med fuld kælder og førstesal med et opvarmet areal på ca. 131m². Undervejs i projektføreløbet er det opvarmede areal udvidet med ca. 10 m², da anlægsværten har etableret et nyt badeværelse. Ejendommen var inden projektets start opvarmet af oliefyr med et mindre tilskud i form af brændeovn.

Ejendommen er udstyret med et ældre radiatorsystem og gulvvarme i badeværelse. Ejendommens varme brugsvand leveres fra en beholder, der er placeret i separat rum. Denne var tidligere tilsluttet oliefyret, men efter installation af varmepumpen, blev varmen til beholderen leveret fra denne (brugsvandsprioritering).

Der er inden projektet blevet gennemført en beregning af det dimensionerende varmetab. Dette er beregnet til ca. 8,1 kW ved -12°C. Anlæggets årsforbrug svarer til et årsforbrug på ca. 2.700 liter olie.

Ud fra ovennævnte er det nødvendigt slangeareal (ved årsnyttevirkning = 3 og belastning på 15W/m) beregnet til ca. 230 m. Grundet de fysiske forhold omkring ejendommen har anlægsværten valgt kun at nedgrave ca. 180 m jordslange og disse er lagt i to lag i hhv. 1,05 og 2,10 meters dybde. Jorden var her leret og fugtig med god vandgennemstrømning. For at kompensere for den korte slange har anlægsværten installeret en energifanger som supplement til slangen. Denne energifanger styres af temperaturforskellen mellem udeluft og jord – således at en pumpe sender brinen op gennem energifangeren og derefter ned i jorden hvis temperaturforskellen er af en vis størrelse (typisk 3-6 grader).

8.2.2 Resultat af målinger på VP1

Der er igennem måleperioden, der strækker sig fra begyndelsen af uge 33/2001 til slutningen af uge 32/2002 registret følgende på varmepumpe 1 i Sabro:

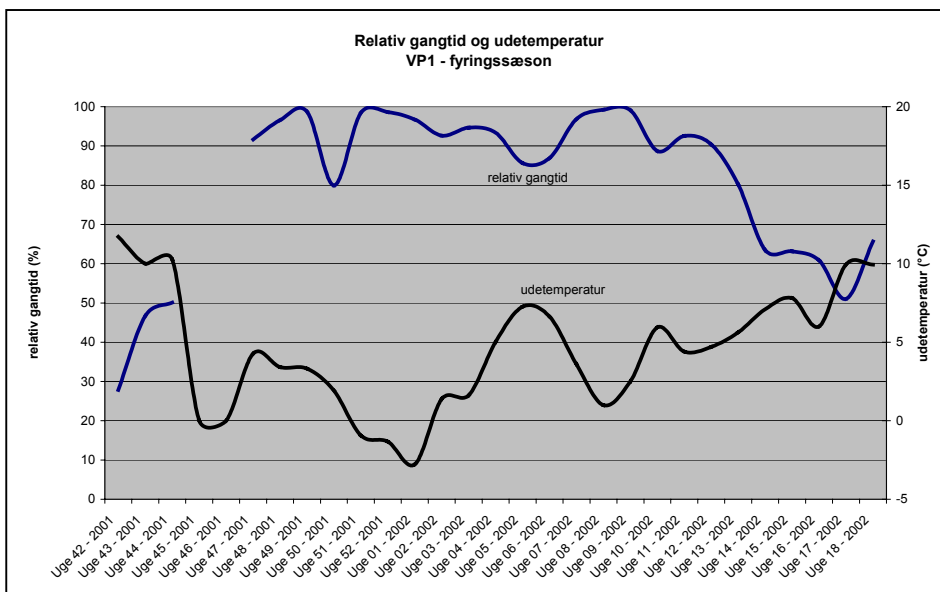
Følgende skal her bemærkes:

- Dataloggersystem har i kortere perioder fordelt over måleperioden været ude af drift og der er ikke korrigeret for disse perioder
- Data er ikke korrigeret til normalåret.
- Der er undervejs foretaget en række justeringer og opdateringer i systemet, specielt er styringen undervejs blevet forbedret.

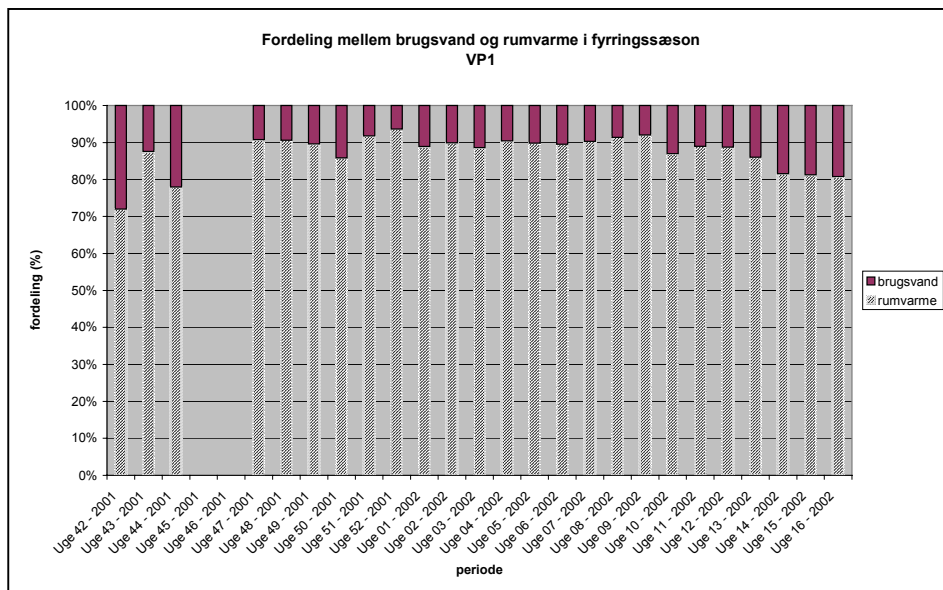
Totalt energimængder for hele måleperioden for VP1		
Periode, start	Uge 33 - 2001	
Periode, slut	Uge 35 - 2002	* se bemærkning
Graddage i hele perioden	1943.7 solkorrigerede graddage	
Afgivet energi (rumvarme)	14538 kWh	
Afgivet energi (brugs vand)	3080 kWh	
Totalt afgivet energi	17618 kWh	
Rumvarme udgør i alt	83 (% af samlet energilevering)	
Totalt tilført el til varmepumpe	6978 kWh	
tilført el under produktion af varmt brugsvand	1679 kWh	
tilført el under produktion af rumvarme	5298 kWh	
Total nyttevirkning	2.52 (-)	
Nyttevirkning - brugsvandsproduktion	1.83 (-)	
Nyttevirkning - rumvarme	2.74 (-)	
Bemærkninger:	Målinger afbrudt i uge 45 og 46 (2001) grundet ombygning hos vært Målinger afbrudt i uge 21, 33 og 34 (2002) grundet stoppet datalogger	

Figur 8.2.2-1: Hovedresultater for VP1

I det følgende vises en række udvalgte resultater fra målingerne. Der henvises i øvrigt til bilag, hvor der er vist en række yderligere resultater. Det skal bemærkes at figurerne primært afbilder resultater fra selve fyringssæsonen.



Figur 8.2.2-2: Relativ gangtid og udetemperatur, VP1 – fyringssæsonen 2001/2002



Figur 8.2.2-3: %-vis fordeling mellem brugsvand og rumvarme, VP1 – fyringssæsonen 2001/2002

8.3 Målinger på varmepumpe 2

8.3.1 Beskrivelse af ejendom og opvarmningssystem – VP2

Varmepumpe 2 (kaldes i det efterfølgende VP2) blev installeret omkring julen i 2000 i en ejendom beliggende uden for byen Adsbøl som ligger mellem Sønderborg og Gråsten. Ejendommen er en ældre istandsat landejendom fra 1877 med stråtag og et totalt areal på ca. 242 m², heraf opvarmet areal ca. 150 m². Ejendommen var inden projektets start opvarmet med elpatron i beholder tilsluttet radiatorsystemet samt et mindre tilskud i form af brændeovn. Den nævnte beholder er i projektet bibeholdt som buffer. Ejendommen er udstyret med et veldimensioneret radiatorsystem (55/45°C). Ejendommens varme brugsvand leveres fra en separat brugsvandsvarmepumpe, hvilket betyder at der i denne ejendom ikke er registreret bidraget fra det varme brugsvand.

Anlægsværten opgav inden projektets start at det samlede elforbrug i ejendommen på årsplan på ca. 18.000 kWh hvoraf ca. 5.800 kWh forventedes at være forbrug i husholdningen.

Anlægsværten havde inden projektets start fået godkendelse til nedgravning af jordslange og dette arbejde var tilendebragt inden varmepumpen blev dimensioneret. Der var i alt nedgravet ca. 600 m slange fordelt på 4 løb á 150 meter.

8.3.2 Resultat af målinger på VP2

Der er igennem måleperioden, der strækker sig fra begyndelsen af uge 39/2001 til slutningen af uge 38/2002 registreret følgende på varmepumpe 2 i Adsbøl:

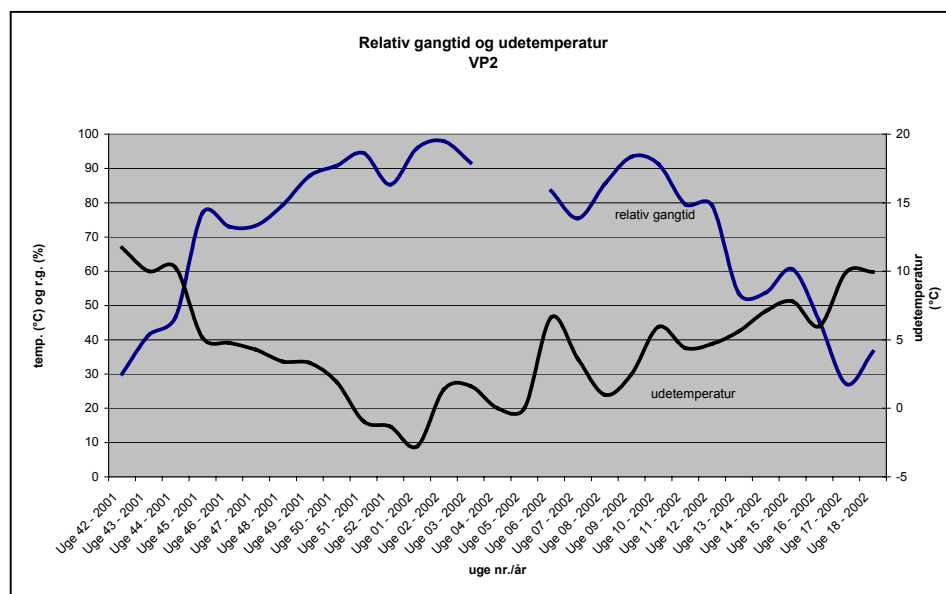
Følgende skal her bemærkes:

- Dataloggersystem har i kortere perioder fordelt over måleperioden været ude af drift og der er ikke korrigeret for disse perioder
- Data er ikke korrigeret til normalåret.
- Der er undervejs foretaget en række justeringer og opdateringer i systemet, specielt er styringen undervejs blevet forbedret.

<u>Totale energimængder for hele måleperioden for VP2</u>		
Periode, start	Uge 39 - 2001	
Periode, slut	Uge 38 - 2002	*
Graddage i hele perioden	1907 solkorrigerede graddage	
Afgivet energi (rumvarme)	16417 kWh	
Tilført el under produktion af rumvarme	4945 kWh	
Tilført energi fra jordslange	13642 kWh	
Total nyttevirkning	3.32 (-)	
Målt varmetab fra varmepumpe	2170 kWh	
*: Målesystem ude af drift i uge 04/2002 og uge 05/2002 grundet opdatering af software i varmepumpe		

Figur 8.3.2-1: Hovedresultater for VP2

På følgende figur ses varmepumpens relative gangtid og udetemperaturens forløb gennem dele af fyringssæsonen.



Figur 8.3.2-2: Relativ gangtid og udetemperatur, VP2 – fyringssæsonen 2001/2002

Der er afslutningsvis i projektet blevet gennemført en referencemåling, en uges målinger, hvor varmepumpen har været reguleret på traditionel vis, nemlig hvor kompressoren alene har kunnet køre ved 50Hz. Resultater og analyse af denne måling er vist i det efterfølgende afsnit.

8.4 Analyse og korrektion af måleresultater

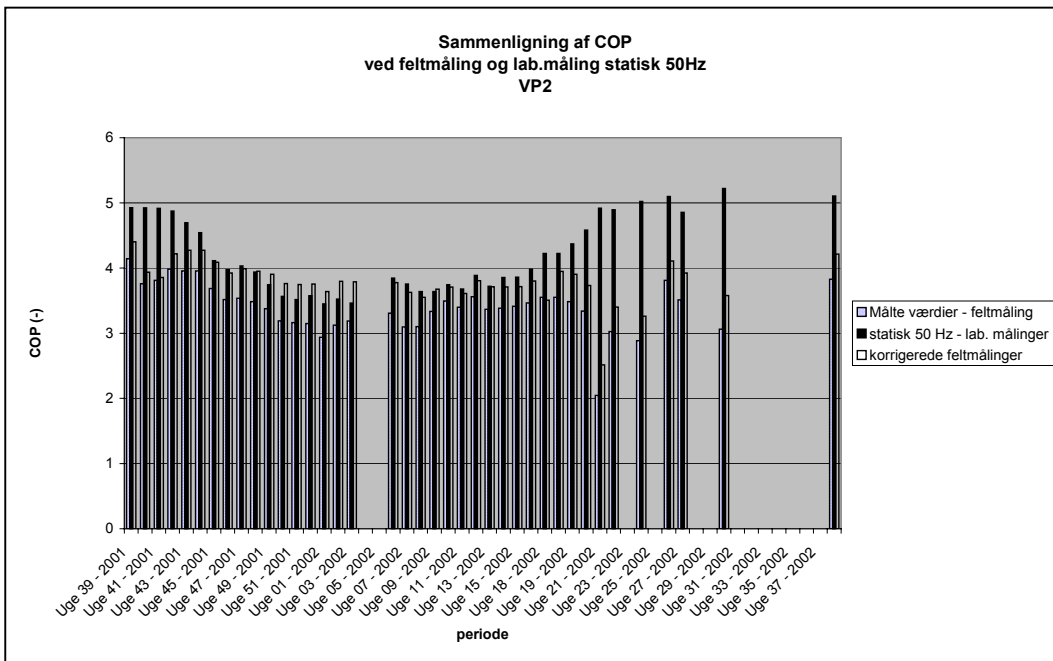
Der har gennem måleprogrammet vist sig enkelte forhold som det ikke umiddelbart har været muligt at rette op på – primært omkring registrering af varmetab fra varmepumperne. På VP1, der delvis er opstillet udendørs har der kunnet registreres et relativt stort varmetab, og dette varmetab har pga. opstillingsstedet ikke kunnet udnyttes til opvarmning. Det har ikke umiddelbart været muligt at korrigere de målte værdier på VP1 for dette varmetab, da det lidt specielle optagersystem besværliggør analysen. Dette skyldes at brinekredsen er forsynet med en energifanger, der er udstyret med en separat pumpe. Dette medfører, at brinekredsen ved kompressorstilstand stadig er aktiv i tilfælde af højere temperatur i udeluften end i jorden. Desuden er varmetabet ikke direkte anvendeligt til opvarmning, så korrektionen ville under alle omstændigheder kunne anfægtes.

Men for den anden varmepumpe kan analysen gennemføres. VP2 som er opstillet indendørs vil levere et ”positivt” varmetab, forstået således at den varme, der registreres som varmetab faktisk er anvendelig varme, der afsættes indendørs. I det følgende er der foretaget et par interessante korrektioner af måleresultaterne. Først er resultaterne af VP2 korrigeret for den varmemængde, der er registreret som varmetab.

Korrigerede måleresultater - VP2	
måleresultater korrigeret for varmetab	
<u>Totale energimængder for hele måleperioden for VP2</u>	
Periode, start	Uge 39 - 2001
Periode, slut	Uge 38 - 2002
Korrigeret totalt afgivet energi	18587 kWh
Målt totalt tilført el til varmepumpe	4945 kWh
Målt tilført energi fra jordslange	13642 kWh
Total nyttevirkning	3.76 (-)

Figur 8.4.1: Korrigerede resultater – VP2

Foretages der samtidig en sammenligning/beregning af de målte størrelser med de resultater, der blev opnået i laboratoriet ved 50 Hz fås følgende interessante resultat:



Figur 8.4.2: Sammenligning af COP – feltmålinger og lab.målinger, VP2

Figur 8.4.2 viser med al tydelighed, at den målte og ikke korrigerede COP for det behovsstyrede system i perioder med lav belastning (ydrekanterne af fyringssæsonen) ligger ca. 25% under den statiske COP (ved 50Hz – målt i lab.). Til gengæld vil forskellen kun være ca. 10% i perioder med relativ høj systembelastning (vinterperiode).

Men det mest interessante ved figuren er at den korrigerede COP faktisk i perioder ligger højere end den statiske, hvilket betyder at det er muligt at gøre systemet bedre end ved statisk drift i laboratoriet. Dette betyder med andre ord, at det nu ikke alene er pga. det reducerede antal start/stop, at vi får en gevinst, forbedringen er faktisk større end dette og må derfor være betinget af andre faktorer, bl.a. bedre termodynamiske forhold i kølesystemet (højere fordampnings- og lavere kondenseringstemperatur).

Der er afslutningsvis blevet gennemført en referencemåling på VP2, en måling hvor varmepumpen har været reguleret tilnærmelsesvis som en traditionel varmepumpe (on/off 50 Hz – ingen frekvensregulering af pumper etc.). Disse målinger er i efterfølgende figur sammenlignet med tilsvarende målinger fra en uge i 2001.

Målinger	Uge 46/2001 behovsstyret	Uge 46/2002 reference on/off
Middel udetemperatur i periode	4,8°C	4,7°C
Solkorrigerede graddage	68 graddage	83 graddage
Middel brinetemperatur, indløb (ved drift)	7,3°C	7,4°C
Middel fremløbstemperatur radiatorer (ved drift)	37,0°C	40,7°C
Afgivet varmemængde	596,2 kWh	645,2 kWh
Tilført elenergi	169,5 kWh	224,4 kWh
Tilført fra jordslange	495,7 kWh	517,0 kWh
Energinyttevirkning	3,52 (-)	2,88 (-)
Kompressor relativ on-tid	73,0 %	48,9 %

Figur 8.4.3: Sammenligning af behovsstyring og on/off-drift, VP2

Det skal understreges at referencemålingen (uge 46/2002) er gennemført over en ”skæv” uge strækkende sig fra og med torsdag den 14-11-2002 til og med onsdag den 20-11-2002.

Det ses af foregående figurer, at udetemperatur, brineindløbstemperatur (temperaturen måles kun når kompressor kører) og afgivet varmemængde er nogenlunde ens i de to uger. Alligevel ligger effektiviteten ved behovsstyring ca. 22% højere end når varmepumpen har været reguleret på traditionel vis.

Disse resultater kan ikke umiddelbart anvendes til at drage konklusioner omkring effektivitetsforbedringen på årsplan, men de giver en ganske god indikation.

8.5 Opsummering af målinger

Projektets klare mål har fra start været at eftervise, at det er muligt at behovsstyre varmepumper i ”normale” installationer i private ejendomme. Udvælgelsen af anlægsværterne fra projektets start var klart koncentreret om at finde værter, der var ”repræsentative”. I forprojektet /2/ blev det vist, at der ved installation af behovsstyrede varmepumper i ejendomme med gulvvarme kan forventes en årsnyttevirkning på ca. 4. Men for at sikre projektets bredde, blev det valgt at feltmålingerne primært skulle foregå i ejendomme, der var repræsentative for ejendomme i område 4 (altså ejendomme i områder uden kollektiv varmeforsyning).

Dette medførte selvfølgelig, at det fra begyndelsen stod klart, at der ikke kunne forventes årsnyttevirkninger på det niveau, som var opnået i foregående projekt. De to valgte anlæg er som vist af meget forskellig karakter – ét med veldimensioneret radiator- og jordslangesystem og uden brugsvandsproduktion og ét anlæg med underdimensioneret jordslange og brugsvandsproduktion. Førstnævnte anlæg er klart det bedst egnede og det er også her den højeste effektivitet er opnået. Faktisk er det lykkedes at eftervise mulighederne for at opnå endog meget høje virkningsgrader (se figur 8.4.1).

At valget faldt på disse to ejendomme skal også ses ud fra ønsket om engagerede anlægsværter – begge har ydet en meget stor indsats i projektet specielt omkring optimering af reguleringsparametre.

9. Litteraturliste

- /1/ Individuelle Eldrevne Varmepumper – Hovedrapport, H.C.Aagaard, Prøvestationen for Varmepumpeanlæg – Teknologisk Institut, April 1998
- /2/ Individuelle Eldrevne Varmepumper – 2, Implementering af ny teknologi, Claus S. Poulsen, Prøvestationen for Varmepumpeanlæg - Teknologisk Institut, December 1999
- /3/ Værd at vide om frekvensomformere, Danfoss 1.udgave, 3.oplag 1998.
- /4/ Måling på omdrejningsreguleret kompressorer i køleanlæg, Claus S. Poulsen, Teknologisk Institut, februar 1997
- /5/ Development of energy saving bottle cooler, Final report, Danish Technological Institute, June 2000
- /6/ Development of energy saving ice cream cabinet, Final report, Danish Technological Institute, June 2000

10. Oversigt over rapportens bilag

Bilag 1.1	Billeder fra installation 1 (varmepumpe 1)
Bilag 1.2	Billeder fra installation 2 (varmepumpe 2)
Bilag 2.1	Specifikke måleresultater fra varmepumpe 1
Bilag 2.2	Specifikke måleresultater fra varmepumpe 2
Bilag 3.1	Dimensionering, VP1
Bilag 3.2	Dimensionering, VP2
Bilag 4.1	Resultater – laboratoriemålinger VP1
Bilag 4.2	Resultater – laboratoriemålinger VP2
Bilag 5	Komponentliste varmepumper
Bilag 6	Anvendt måleudstyr og målesystemer, laboratorie- og feltmålinger

Bilag 1.1: Billeder fra installation 1 (varmepumpe 1)



Billede 1.1.1: Varmepumpen er netop installeret og styringen kontrolleres af ekspert fra Lodam



Billede 1.1.2: Energifangeren (her set fra bagsiden) blev monteret på hegn



Billede 1.1.3: Måleudstyret blev placeret indvendigt på væg i kælderrum

Bilag 1.2: Billeder fra installation 2 (varmepumpe 2)

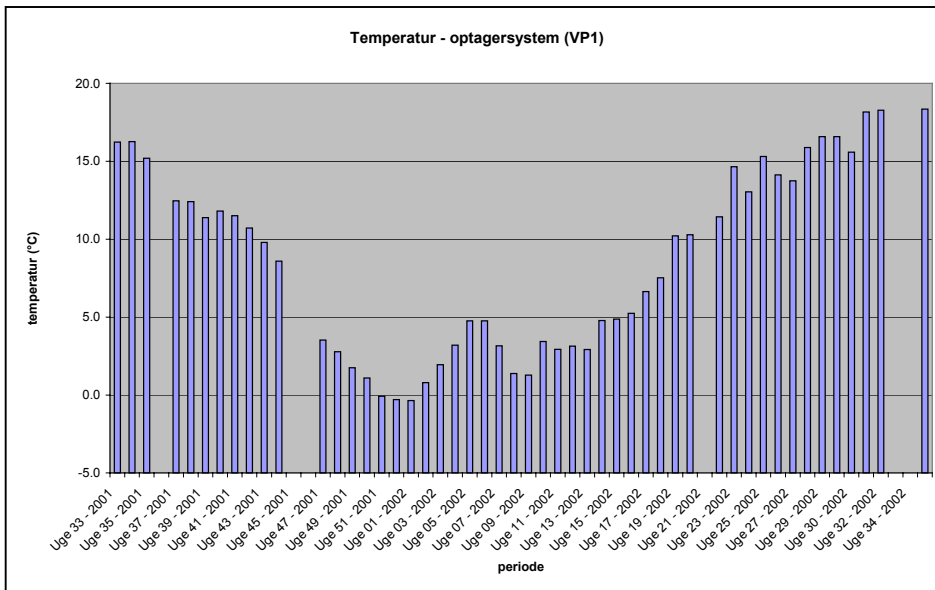


Billede 1.2.1: Varmepumpe, PC og dataopsamlingsudstyr opstillet indendørs i bryggers

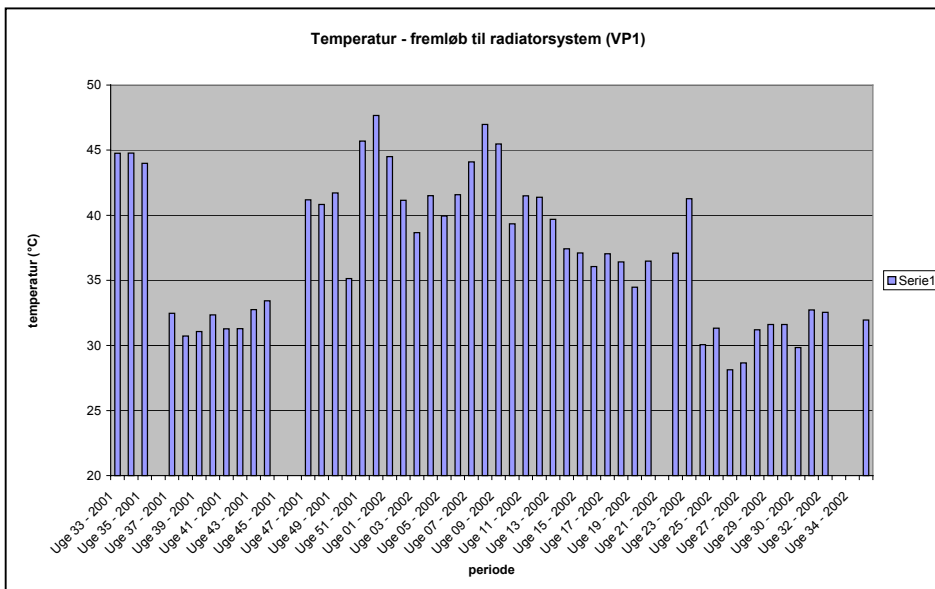
Bilag 2.1: Specifikke måleresultater fra varmepumpe 1

På efterfølgende figurer ses et udpluk af de måleresultater, der er fremkommet i projektførløbet.

De to første figurer viser temperaturforløbet for fremløb til radiatorsystemet samt for jordslange/energifangersystemet på VP1. Det skal bemærkes at data for enkelte uger mangler.



Figur 2.1.1: Optagertemperatur VP1

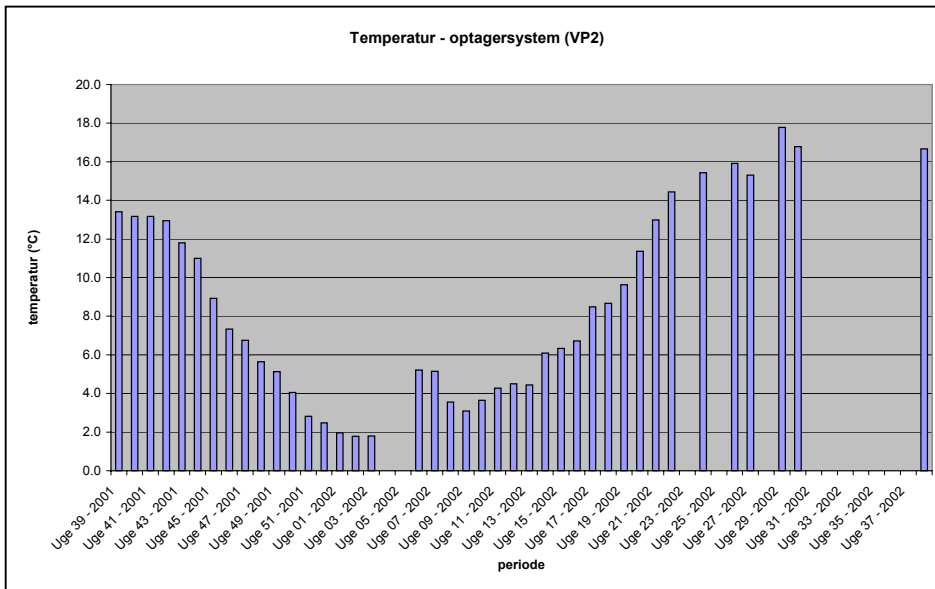


Figur 2.1.2: Fremløbstemperatur radiatorsystem VP1

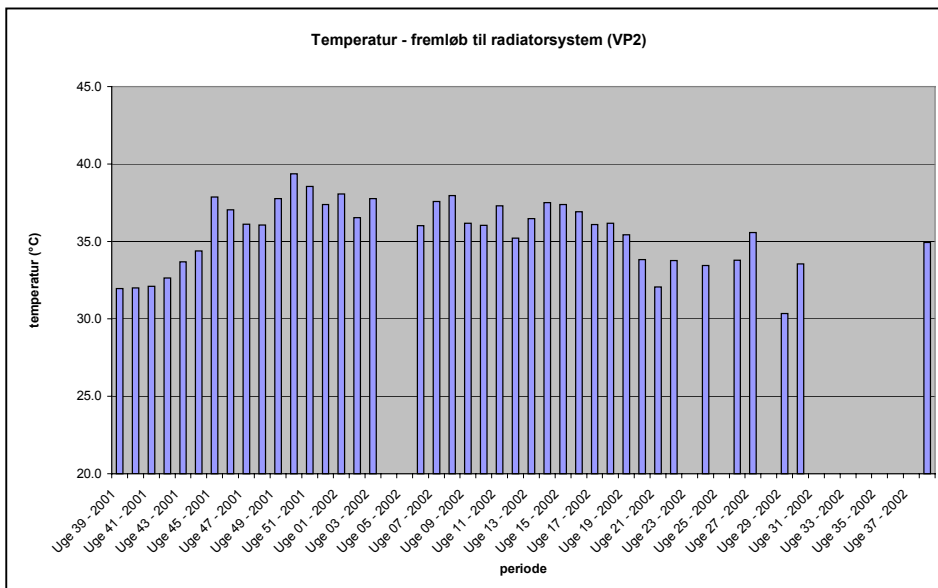
Bilag 2.2: Specifikke måleresultater fra varmepumpe 2

På efterfølgende figurer ses et udpluk af de måleresultater, der er fremkommet i projektførløbet.

De to første figurer viser temperaturførløbet for fremløb til radiatorsystemet samt for jordslangesystemet på VP2. Det skal bemærkes at data for enkelte uger mangler.



Figur 2.2.1: Optagertemperatur VP2



Figur 2.2.2: Fremløbstemperatur radiatorsystem VP2

Bilag 3.1: Dimensionering, VP1

Laboratorietests Ind. VP fase 2

Jordslangetemperatur korrigeret p.g.a. energifanger

Forudsætninger

Hus 8.70 kW excl brugsvand

Data, hus

areal 131 m²
dim. varmetab 66 W/m²

indetemperatur 17 °C

Data, jordslange og udeluft

		jordslange	energifang	udeluft
Jan		-1.5	1.5	-0.1 °C
feb		-2	1	-0.4 °C
mar		-1	2	1.7 °C
apr		2	5	6.2 °C
maj	01-15	5	8	10.3 °C
juni				
juli				
aug				
sep	15-30	8	11	11.3 °C
okt		5	8	8.7 °C
nov		2	5	4.9 °C
dec		-0.5	2.5	2.2 °C

Effektbehov, hus

		Energibehov
jan	4649 W	3459 kWh
feb	4731 W	3179 kWh
mar	4160 W	3095 kWh
apr	2936 W	2114 kWh
maj	1822 W	1355 kWh
jun	0 W	
jul	0 W	
aug	0 W	
sep	1550 W	1116 kWh
okt	2257 W	1679 kWh
nov	3290 W	2369 kWh
dec	4024 W	2994 kWh
	totalt	21359 kWh

Bilag 3.2: Dimensionering, VP2

Laboratorietests Ind. VP fase 2

VP2- brinetemperatur hævet 3K, grundet stort jordslangeareal

Forudsætninger

Hus 10.00 kW excl brugsvand

Data, hus

areal 150 m²
dim. varmetab 67 W/m²

indetemperatur 20 °C

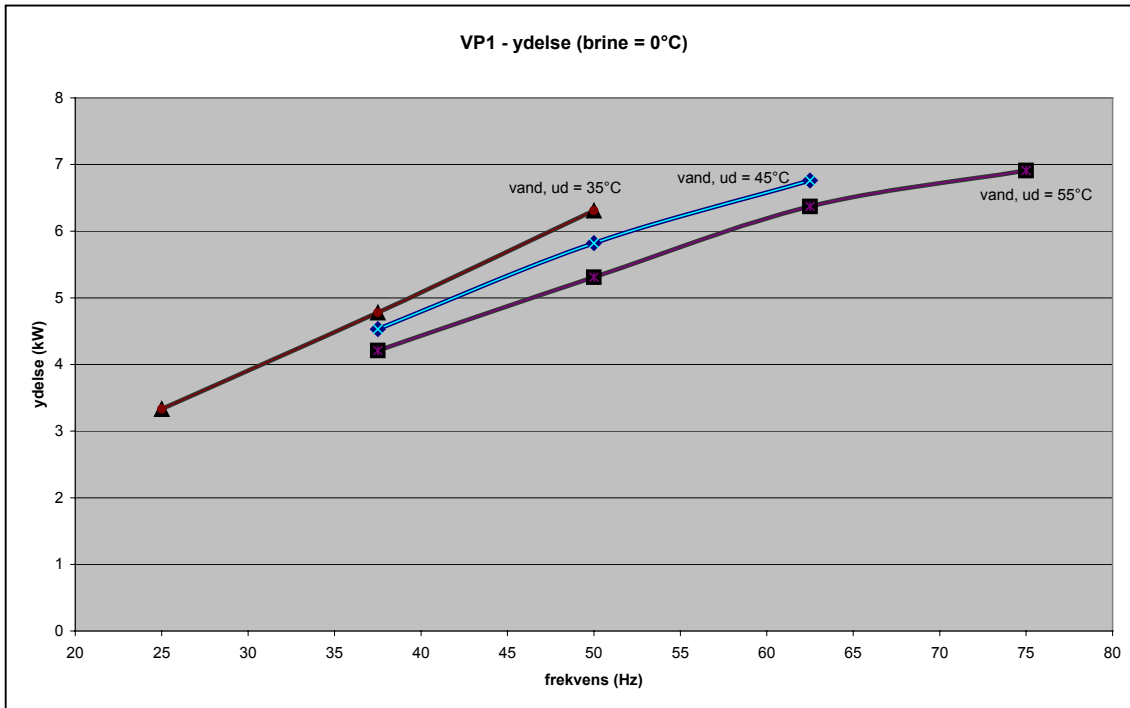
Data, jordslange og udeluft

		jordslange	korrigeret	udeluft	brugsvand
				°C	jordslange
Jan		-1.5	1.5	-0.1 °C	-1.5
feb		-2	1	-0.4 °C	-2
mar		-1	2	1.7 °C	-1
apr		2	5	6.2 °C	2
maj	01-15	5	8	10.3 °C	5
juni					
juli					
aug					
sep	15-30	8	11	11.3 °C	8
okt		5	8	8.7 °C	5
nov		2	5	4.9 °C	2
dec		-0.5	2.5	2.2 °C	-0.5

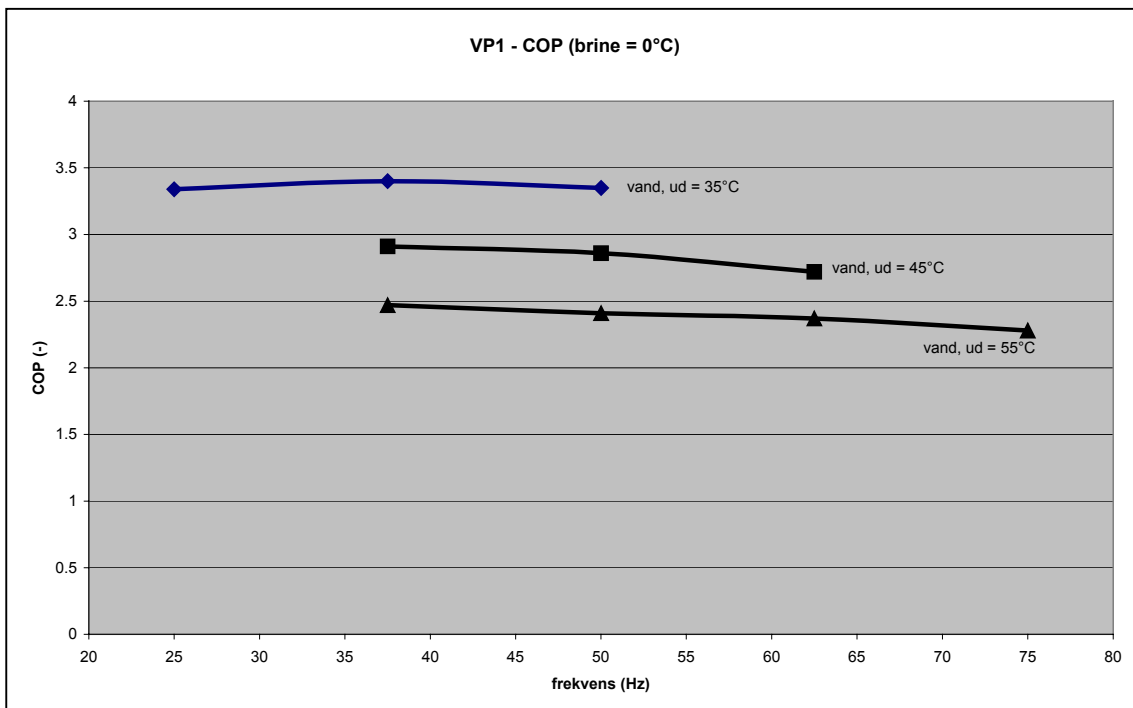
Middeleffektbehov, hus

	Energibehov	
jan	6281 W	4673 kWh
feb	6375 W	4284 kWh
mar	5719 W	4255 kWh
apr	4313 W	3105 kWh
maj	3031 W	2255 kWh
jun	0 W	
jul	0 W	
aug	0 W	
sep	2719 W	1958 kWh
okt	3531 W	2627 kWh
nov	4719 W	3398 kWh
dec	5563 W	4139 kWh
	totalt	30693 kWh

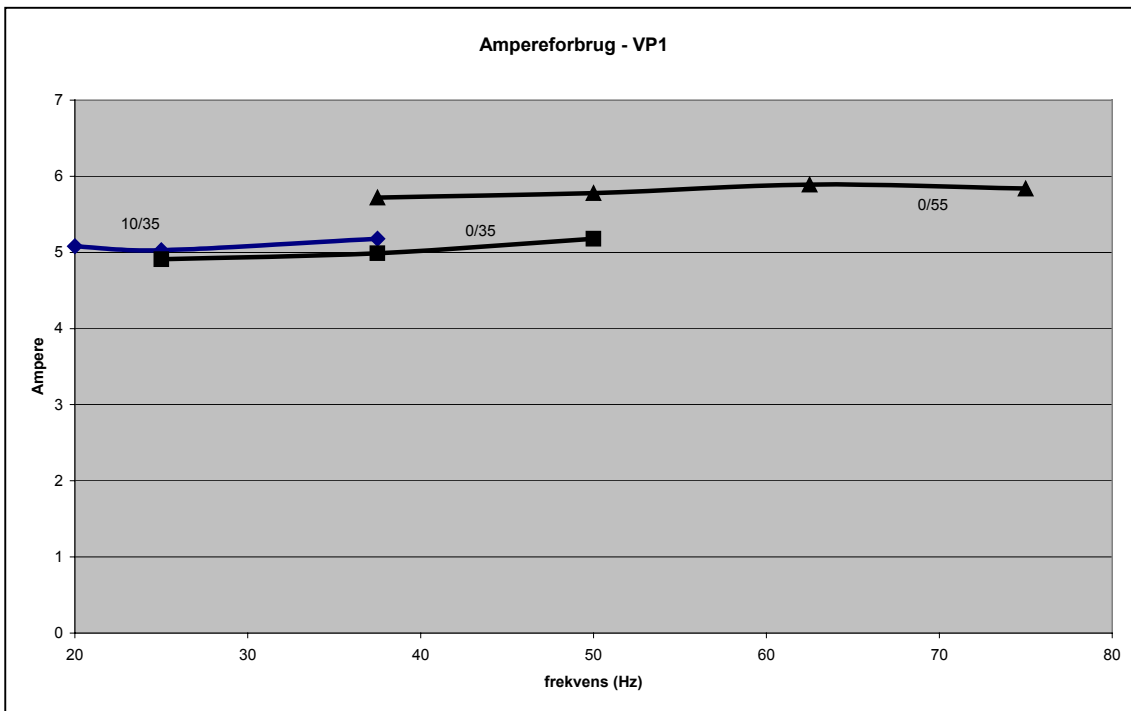
Bilag 4.1: Resultater – laboratoriemålinger VP1



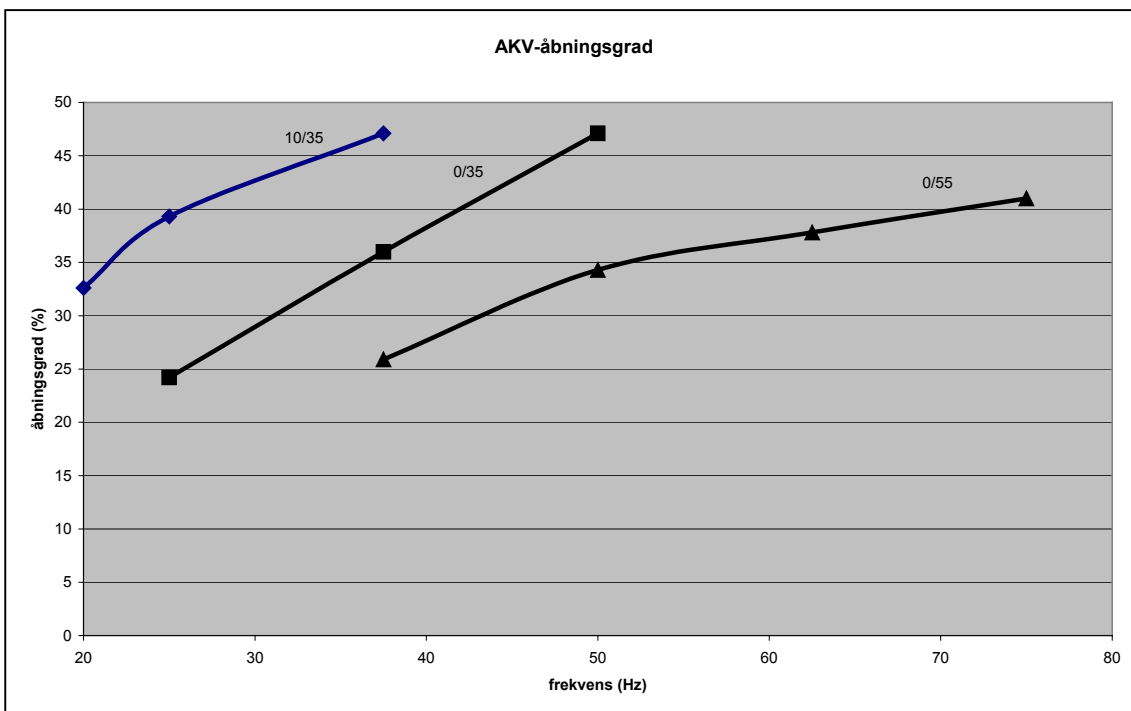
Figur 4.1.1: Varmepumpens ydelse ved forskellige omdrejningstal og driftsbetingelser – VP1



Figur 4.1.2: Varmepumpens COP ved forskellige omdrejningstal og driftsbetingelser – VP1

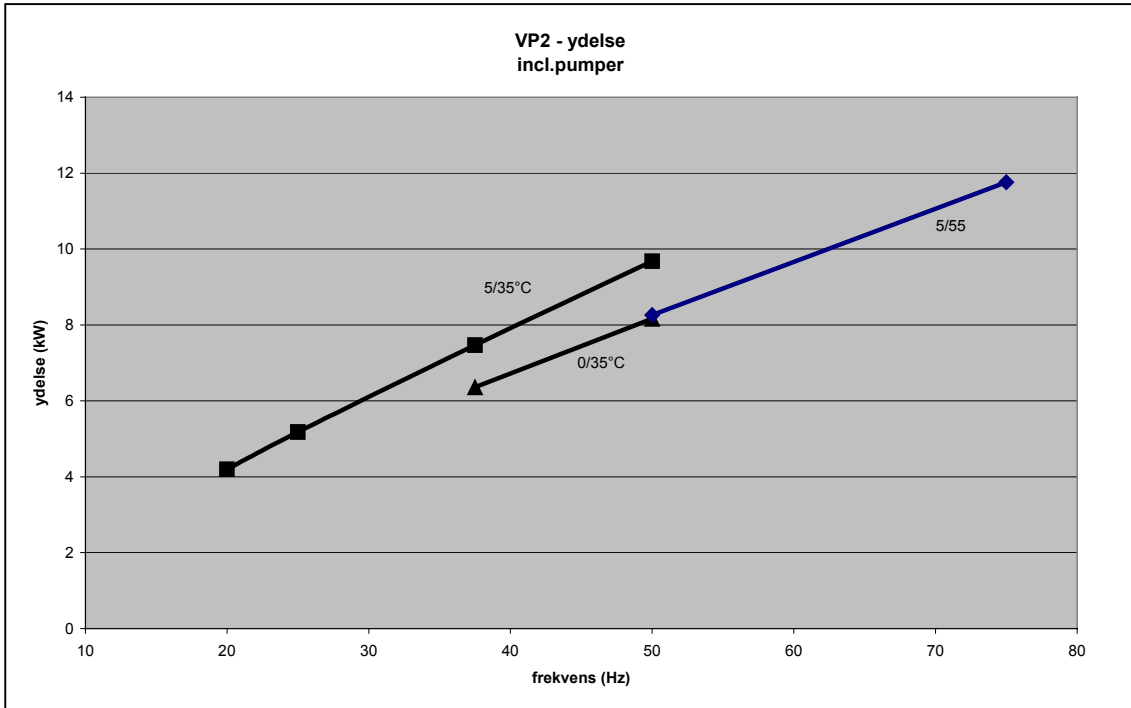


Figur 4.1.3: Ampereforbrug kompressor VP1 ved forskellige driftstilstande – VP1

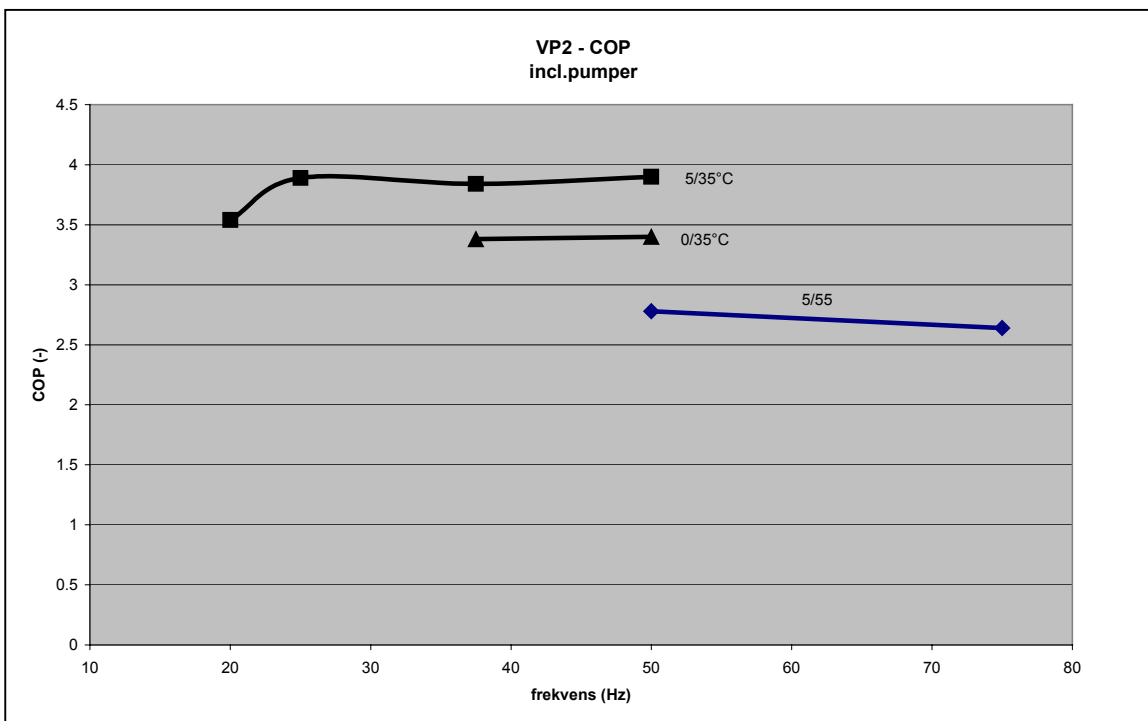


Figur 4.1.4: AKV'ens åbningsgrad ved forskellige driftstilstande – VP1

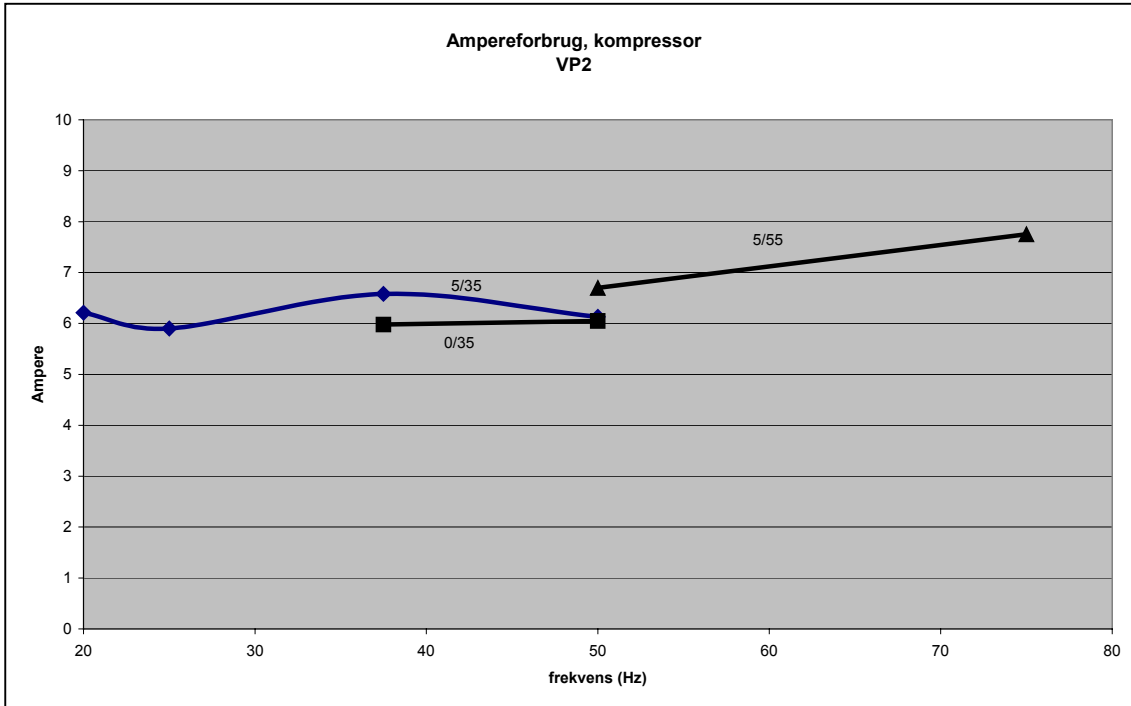
Bilag 4.2: Resultater – laboratoriemålinger VP2



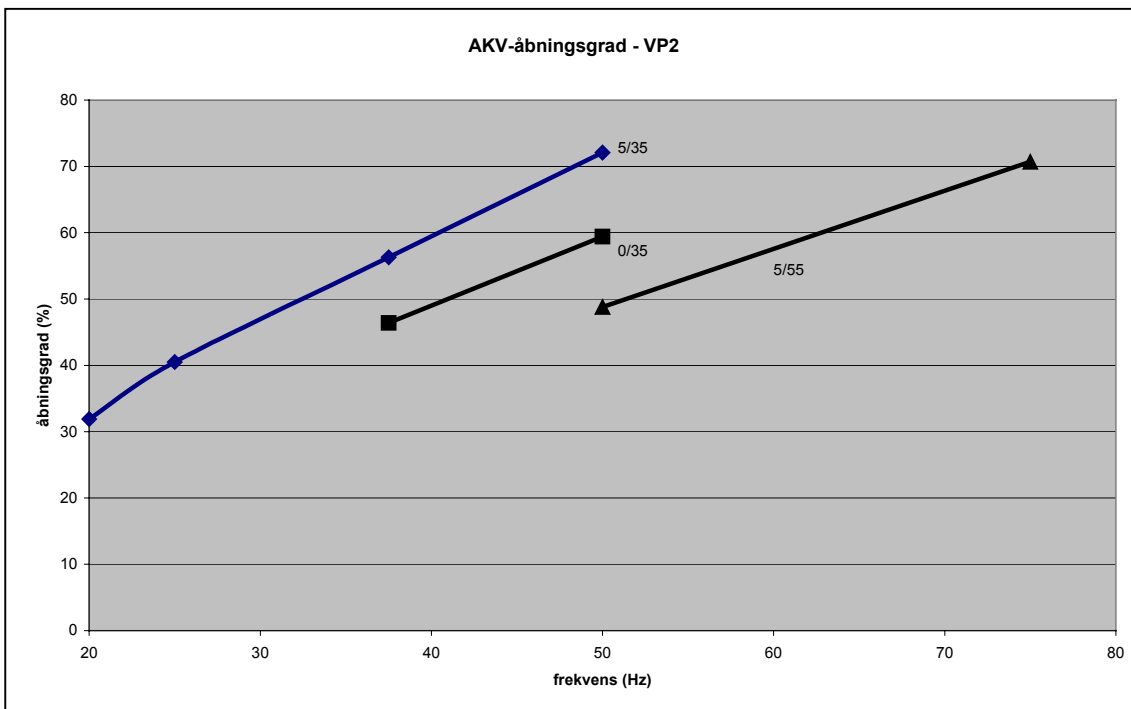
Figur 4.2.1: Varmepumpens ydelse ved forskellige omdrejningstal og driftsbetingelser – VP2



Figur 4.2.2: Varmepumpens COP ved forskellige omdrejningstal og driftsbetingelser – VP2



Figur 4.2.3: Ampereforbrug kompressor VP1 ved forskellige driftstilstande – VP2



Figur 4.2.4: AKV'ens åbningsgrad ved forskellige driftstilstande – VP2

Bilag 5: Komponentliste - varmepumper

I det følgende er vist hvilke køletekniske hovedkomponenter, der er anvendt i de to varmepumper.

Komponent	Producent	Type
Kompressor	Bitzer	2EC-2.2Y i VP1 2CC-3.2Y i VP2
Kondensator	Alfa Laval	CB 51-60
Fordamper	Alfa Laval	CB 26-50
Ekspansionsventil	Danfoss	AKV 10-5
Intern varmeveksler	FrigaBohn	H200
Varm cirkulationspumpe	Grundfos	UPE25-40
Kold cirkulationspumpe	Grundfos	CRE2-20

Bilag 6: Anvendt måleudstyr og målesystemer, laboratorie- og feltmålinger

Følgende udstyr er anvendt til laboratoriemålingerne:

Datalogger:	270-T-3010 Hewlett Packard Data acquisition/control unit 34970A
Software:	DAQ Programversion 3.0
Flowmålere:	270-T-3006 ISS Clorius Combimeter 270-T-3007 ISS Clorius Combimeter
Temperaturmålere:	270-T-3004 Degussa termoelementer
Eleffektmålere:	270-T-3005 Norma AC Power Analyzer
Tryktransducere:	270-T-3000 H.F.Jensen PA 10M 270-T-3000 H.F.Jensen PA 20M

Følgende udstyr er anvendt til feltmålingerne:

Datalogger:	Hewlett Packard Data acquisition/control unit 34970A
Software:	LabView 6.0
Flowmålere:	Hydrometer, Scylar
Temperaturmålere:	Termoelementer type T (CuCuNi)
Eleffektmålere:	DEIF Multi Tranducer type MTR-1
Tryktransducere:	Danfoss AKS 32