



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Projektrapport

Behovsstyring af mindre køleanlæg ved hjælp af kompressorregulering

November 2004

Denne rapport er udarbejdet for Energistyrelsen i projektet "Behovsstyring af mindre køleanlæg ved hjælp af kompressorregulering" (j.nr.: 731327/01-0108)

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut, Center for Køle- og Varmepumpeteknik
Danfoss Drives A/S
Lodam Elektronik A/S
Silkeborg Varmepumpe- og Køleindustri
Salling Vaske- og Køleservice

Indholdsfortegnelse	Side
1 Forord	3
2 Indledning	4
3 Projektresultater og konklusion	7
4 Fordele og ulemper ved behovsstyring	9
5 Resultat af markedsundersøgelse	14
5.1 Delresultater fra markedsundersøgelse	14
6 Den udviklede styring	15
6.1 Beskrivelse af den udviklede styring	15
6.2 Flertrinsregulering.....	17
7 Gennemførte feltmålinger	19
7.1 Case 1: Mælkekøleanlæg med isvandstank.....	19
7.2 Case 2: Køleanlæg til kartoffellager	21
7.3 Case 3: Vandkøleanlæg til plastvirksomhed	23
7.4 Økonomi i testanlæg	25
7.5 Andre eksempler – økonomi	25
8 Beregningsprogram	27
8.1 Programmets opbygning	27
8.2 Programmets muligheder	28
8.3 Validering af model	29
9 Gode råd vedrørende behovsstyring af mindre køleanlæg	30
9.1 Kompressorvalg	30
9.2 Køletekniske erfaringer.....	34

9.3	Forhold omkring eltilslutning	35
10	Projektformidling.....	36
11	Perspektiver	37
12	Referencer.....	39
13	Bilag 1 – Specifikke måleresultater	40
13.1	Resultater Case 1 – Mælkekøleanlæg	40
13.2	Resultater Case 2 – Kartoffelkøleanlæg.....	41
13.3	Resultater Case 3 – Vandkøleanlæg til plastvirksomhed	42
14	Bilag 2 – Måleudstyr	43

1 Forord

Nærværende rapport er udarbejdet i projektet ”Behovsstyring af mindre køleanlæg ved hjælp af kompressorregulering” økonomisk støttet af Energistyrelsen (j.nr.: 731327/01-0108). Projektet har haft til formål at udvikle og eftervise effekten af anvendelse af behovsstyring i mindre køleanlæg.

Projektet er gennemført i perioden fra december 2001 til november 2004.

Ud over nærværende rapport er der ligeledes udarbejdet en vejledning i anvendelse af behovsstyring i mindre køleanlæg samt et beregningsprogram til bestemmelse af gevinsten ved anvendelse af teknologien. Vejledning og beregningsprogram supplerer denne rapport, og derfor vil nogle dele af projektets resultater hovedsageligt være beskrevet i vejledningen, ligesom der vil være forhold og detaljer, som er beskrevet både i rapport og vejledning.

Projektgruppen har set ud som følger:

Projektgruppe

Projektgruppen har bestået af følgende personer:

Salling Vaske- og Køleservice v. Vagn Tanderup
Silkeborg Varmepumpe- og Køleindustri v. Leif Graversgaard
AB Cool v. Axel Bonderup
Lodam Elektronik A/S v. Jens Andersen og Frede Schmidt
Danfoss Drives A/S v. Jakob Fredsted
Danfoss Salg A/S v. Jens Anton Iversen
Teknologisk Institut v. Lars Rasmussen, Kenneth B. Madsen, Niels From og Claus S. Poulsen

Tak til alle ovennævnte, samt de personer, der uden for den egentlige projektgruppe har sikret at dette projekt kunne gennemføres med det opnåede resultat. Herudover tak til Energistyrelsen, ved Dorte Maimann, for økonomisk støtte og opbakning til projektet, samt til de tre anlægsværter, som alle aktivt har bidraget til projektets gennemførelse.

På projektgruppens vegne.

Claus S. Poulsen
Civilingeniør, projektleder

Teknologisk Institut, Center for Køle- og Varmepumpeteknik

November 2004

2 Indledning

De seneste års fokusering på energiforbrug i køleanlæg har afstedkommet en række tiltag inden for branchen. De fleste af disse tiltag har medført en relativt begrænset reduktion af energiforbruget i køleanlæg. Med den udvikling, der i øjeblikket sker inden for elektronikområdet, har mange nye muligheder set dagens lys, og en af disse er anvendelse af behovsstyring inden for køleteknikken.

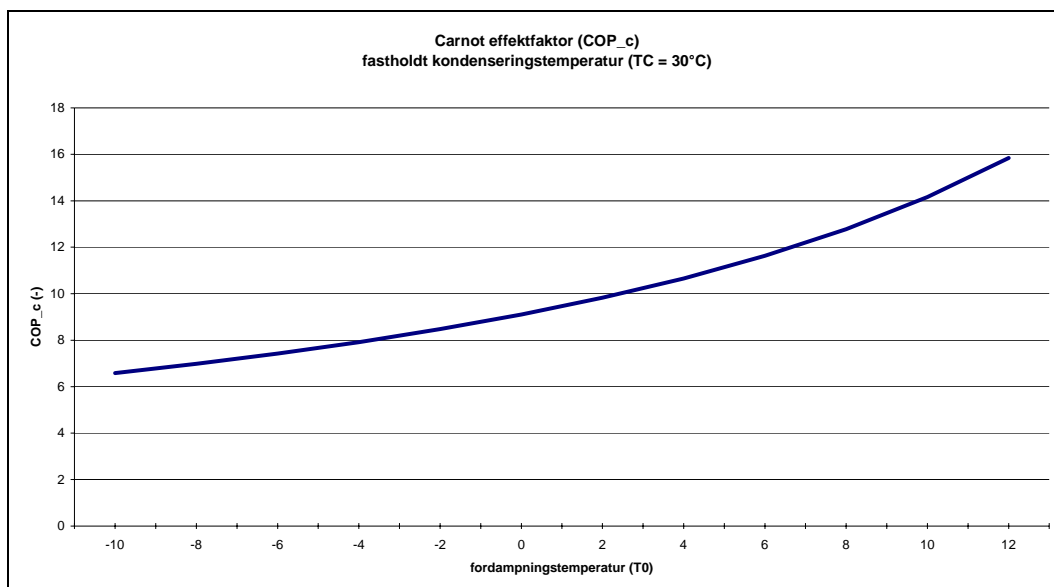
Når køleanlæg skal reguleres, er det vigtigt at foretage en total analyse af det samlede system. Dette betyder, at alle energiforbrugende komponenter skal medtages i analysen (kompressor, ventilatorer og pumper). Hovedformålet med denne analyse er naturligvis at minimere anlæggets samlede energiforbrug – altså minimere summen af de indgående komponenters energiforbrug. Flere tidligere gennemførte projekter (se bl.a. ref. /4/) har berørt dette emne i mere komplicerede anlægskonstellationer. Resultaterne herfra viser med al tydelighed, at regulering af køleanlæg er en kompliceret opgave, som kræver nærmere kendskab til komponenternes præstationer (ydelse, effektivitet etc.). Et eksempel på denne kompleksitet er optimal regulering af kondensatorventilatoren. Sænkes ventilatorhastigheden (og dermed luftmængden over kondensatoren) hæves kondenseringstrykket og dermed øges effektoptaget på kompressoren. Hvis ventilatorhastigheden hæves, så sænkes kondenseringstrykket og dermed reduceres effektoptaget på kompressoren. Analysen (ref. /4/) konkluderer eksempelvis, at fordampningskondensators optimale kondenseringstryk afhænger af omgivelsernes våde temperatur – altså en relativ simpel sammenhæng trods en ellers kompleks problemstilling.

Grundlæggende er teorien simpel – lav kondenseringstemperatur og høj fordampningstemperatur giver høj effektivitet. Køleanlæggets COP_{carnot} er defineret som:

$$COP_{\text{carnot}} = (T_0 + 273.15) / (T_C - T_0)$$

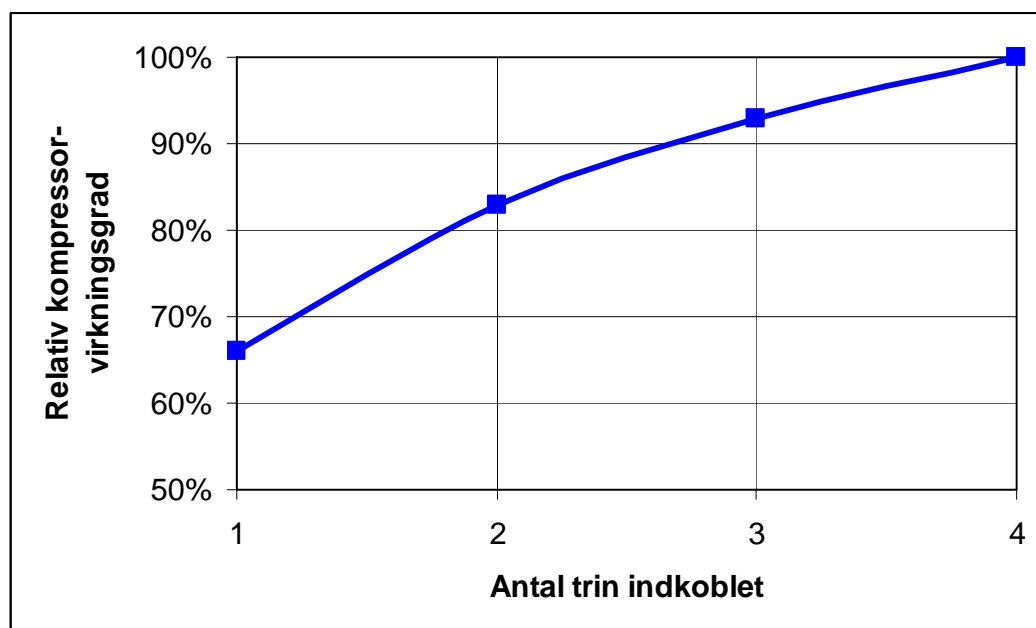
hvor T_0 er anlæggets fordampningstemperatur, og T_C er anlæggets kondenseringstemperatur.

Dette betyder, at kølesystemets effektivitet i høj grad afhænger af disse to temperaturer – se figur 1, som viser sammenhængen mellem COP_{carnot} og fordampningstemperaturen (ved fastholdt kondenseringstemperatur).



Figur 1: COP_{carnot} som funktion af fordampningstemperatur.

I nærværende rapport er der alene fokuseret på mindre køleanlæg (under 30 kW), som hovedsagelig består af én kompressor, ét kølested og én kondensator. Kompressorer i denne anlægsstørrelse vil typisk enten reguleres on/off eller i nogle tilfælde være udstyret med eksempelvis cylinderudkobling. Men denne form for trinkobling er ikke særlig effektiv – jf. figur 2.



Figur 2: Relativ kompressorvirkningsgrad som funktion af antal indkoblede trin for en 4-trins kompressor. Virkningsgraden reduceres, fordi kompressorens mekaniske tab ikke reduceres ved cylinderudkobling, samt fordi cylinderudkobling medfører strømningstab i de udkoblede cylindre.

Behovsstyringsbegrebet som beskrives i nærværende rapport er defineret som tilpasning af køleanlæggets ydelse til det aktuelle kølebehov. Dette er i princippet alle reguleringsformers hovedformål,

men her løses opgaven med udgangspunkt i, at anlæggets kompressorydelse reguleres efter det aktuelle kølebehov. Det er omdrejningstalsregulering og dermed frekvensregulering af kompressoren (samt ventilatorer og pumper), som er grundelementet i behovsstyringen.

Gennem de seneste år er der gennemført en række udviklings- og demonstrationsprojekter inden for varmepumpeområdet, som alle har vist, at behovsstyring i denne type anlæg er en både energieffektiv og økonomisk attraktiv løsning.

Rent økonomisk er teknologien attraktiv, da det er muligt at designe/dimensionere anlæggene, således at anlæggets nominelle ydelse svarer til ”grundbehovet”, hvilket vil sige, at det ikke længere er nødvendigt at overdimensionere anlægget, da det er muligt at forcere anlæggets ydelse i spidslastsituationer. Hermed vil omkostningerne ved etablering af selve kølesystemet (specielt kompressoren) kunne reduceres, og det er derfor muligt at anvende disse frigjorte midler til behovsstyringen. Der gives senere i nærværende rapport et eksempel på, hvorledes et mere simpelt anlægsdesign kan medvirke til, at de samlede anlægsomkostninger kan reduceres i en sådan grad, at frekvensomformerer kan anskaffes uden meromkostninger til følge. Og da der samtidig opnås en betragtelig reduktion i energiforbruget, er argumenter mod denne teknologi ikke længere relevante.

Flere faktorer har indflydelse på økonomien i anvendelsen af behovsstyring, deriblandt belastningen af anlægget (f.eks. køretider og temperaturniveau). Ved anlæg, der i forvejen er dimensioneret til høje relative køretider, er den økonomiske gevinst ved behovsstyring yderst begrænset. Men ved anlæg, hvor de relative køretider ligger på f.eks. 50%, vil de ekstra omkostninger ved anvendelsen af behovsstyring være relativt hurtigt tilbagebetalt.

Denne rapport beskriver nogle redskaber til bestemmelse af nøgletal - bl.a. hvorvidt det overhovedet kan betale sig at anvende behovsstyring og dermed frekvensomformere i de enkelte køleanlæg. En række cases gennemgås, og desuden introduceres et beregningsværktøj til vurdering af gevinsten ved implementering af teknologien. Der henvises i øvrigt til den udarbejdede vejledning samt til beregningsprogrammet, som er offentliggjort på www.teknologisk.dk/behovsstyring.

3 Projektresultater og konklusion

Nærværende rapport beskriver gennemførelsen af projektet ”Behovsstyring af mindre køleanlæg ved hjælp af kompressorregulering” økonomisk støttet af Energistyrelsen (j.nr.: 731327/01-0108).

Projektets primære mål har været at udvikle og eftervise gevinsten ved anvendelse af behovsstyring i mindre køleanlæg under 30 kW kuldeydelse. Desuden har projektet haft til formål at udarbejde en vejledning i anvendelse af teknologien og udarbejde konsekvensberegningssoftware til kølebranchen – et beregningsprogram, der kan estimere gevinsten ved anvendelse af behovsstyring.

Projektet har vist, at det er muligt at regulere mindre køleanlæg ved hjælp af omdrejningstalsregulering, som foretages ved hjælp af en frekvensomformer. Feltnmålinger viser, at teknologien kan give en energibesparelse på op mod 30% sammenlignet med traditionel on/off-drift. Beregninger gennemført i projektet viser, at hvis kompressoren omdrejningstalsreguleres, bør pumper og ventilatorer i anlægget ligeledes reguleres. Der er i forbindelse med feltnmålingerne draget en række konklusioner, som er forsøgt gengivet i rapporten. Af disse kan følgende fremhæves:

- Korrekt systemdesign (specielt kompressorstørrelse) er vigtig, hvis den fulde gevinst ved implementering af teknologien skal opnås.
- En række vigtige forhold omkring elsikkerhed skal tages med allerede under design af systemet.
- Nøje kendskab til belastning og driftsprofil er en vigtig parameter.
- Hvis teknologien skal blive en succes i fremtiden, skal kunderne gøres opmærksomme på alle fordelene ved teknologien – herunder energibesparelse, mindre slitage, bedre regulering etc.

Der er i rapporten opstillet en række ”gode råd” til branchen, som kan lede aktørerne på det rigtige spor. Med rapport, vejledning og simuleringsprogram er der skabt et grundlag - også for mindre kølefirmaer - til at kaste sig over disse spændende udfordringer.

Der er i forbindelse med projektet offentliggjort følgende dokumentation og program:

- Markedsundersøgelse
- Projekt rapport – ”Behovsstyring af mindre køleanlæg ved hjælp af kompressorregulering”
- Beregningsprogram
- Vejledning i anvendelse af behovsstyring i mindre køleanlæg.

Ovennævnte materiale er offentliggjort på www.teknologisk.dk/behovsstyring. Der er herudover gennemført en målrettet informationsindsats undervejs i projektet, se kapitel 10 for yderligere information om dette.

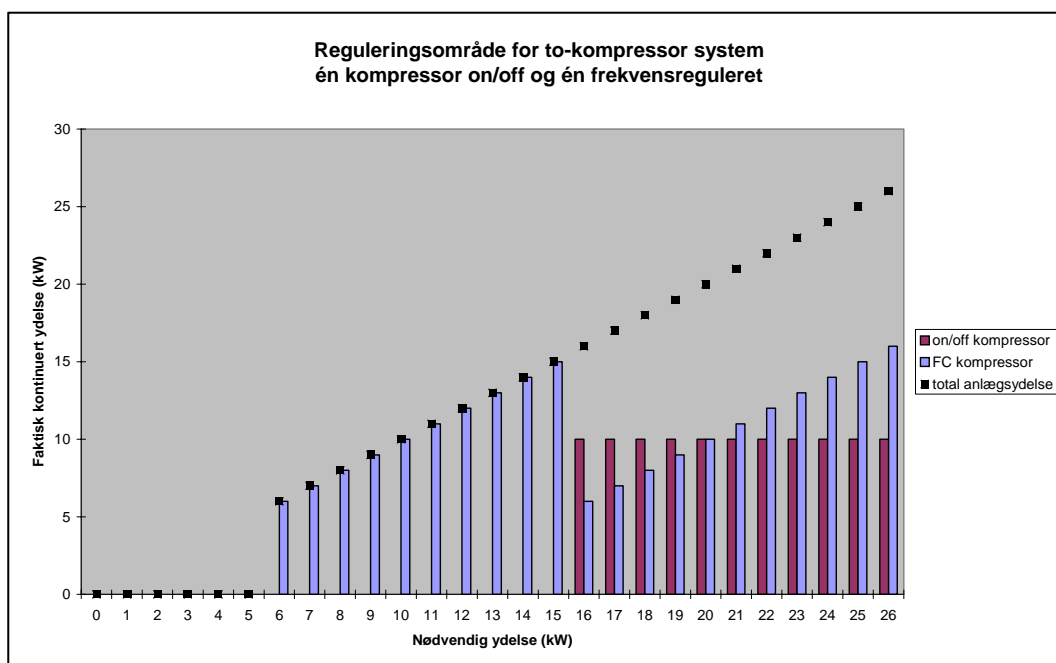
Det udviklede beregningsprogram har været anvendt til at give en række eksempler på, hvorledes forskellige parametre kan varieres, og hvilken betydning dette får for køleanlæggets energiforbrug. Der er desuden gennemført en række beregninger på de tre testanlæg. Disse beregninger og parametervariationer er gengivet i den udarbejdede vejledning, og er kort beskrevet i kapitel 8 i denne rapport.

Projektrapporten afsluttes med en oversigt over teknologiens perspektiver, og herfra kan bl.a. nævnes, at fremtiden ser ganske lys ud for behovsstyring og energibesparelser. Dette kræver blot en aktiv indsats fra aktørerne i branchen, samt at komponentproducenterne fortsætter deres aktive indsats inden for området. Rent lovgivningsmæssigt bør myndighederne ligeledes deltage aktivt i udviklingen af effektive systemer, eksempelvis gennem skærpede krav til energieffektivitet f.eks. via iværksættelse af nationale og internationale energimærkningsordninger.

4 Fordele og ulemper ved behovsstyring

Traditionelt reguleres køleydelsen i mindre køleanlæg ved at lade kompressoren køre on/off, eller ved at forsyne anlægget med eksempelvis sugetryksregulering. Begge løsninger er energikrævende sammenlignet med behovsstyring. Desuden vil traditionelle løsninger typisk give ekstra rørføring, øget kompleksitet i anlægget samt forøge installationsomkostningerne.

At behovsstyring og dermed frekvensregulering af kompressorer giver en ekstra frihedsgrad viser følgende figur med al tydelighed. På figuren er indtegnet reguleringsområdet for et kølesystem indeholdende to kompressorer - hvor den ene er on/off-reguleret, mens den anden er forsynet med en frekvensomformer. Begge kompressorer har en nominel ydelse på 10 kW, og den frekvensregulerede kompressor kan reguleres i området 30-80 Hz.



Figur 3: Eksempel på én af behovsstyringens fordele - det udvidede reguleringsområde.

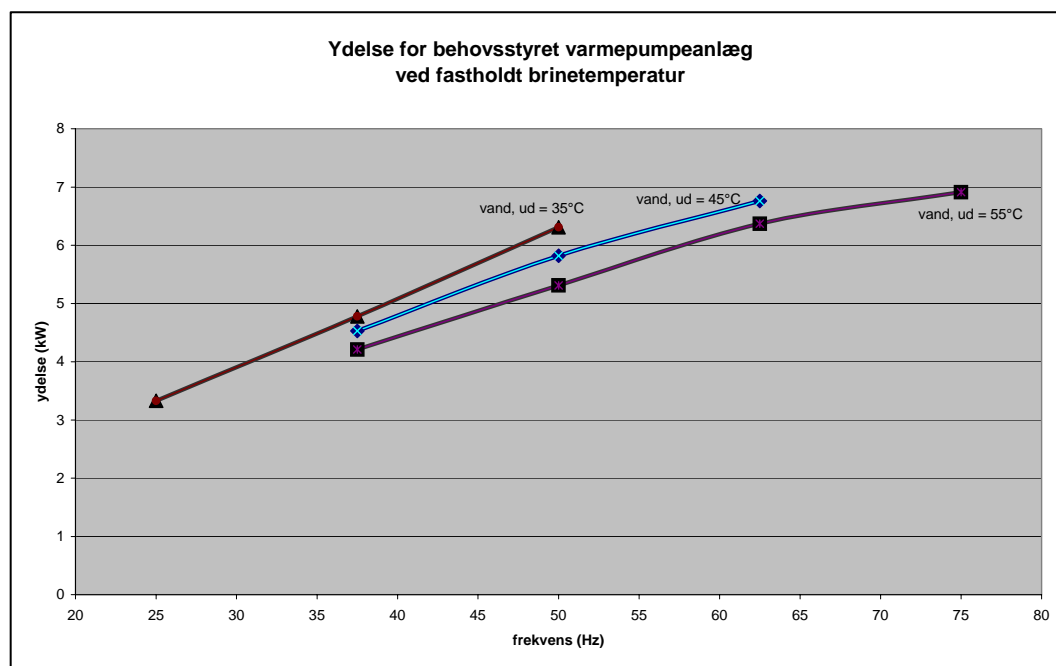
Det ses af figur 3, at kompressor nr. 2 (den frekvensregulerede) klarer hele jobbet i området fra 6-15 kW, og ved højere behov end 16 kW nedreguleres kompressor 2, og kompressor 1 (den on/off-regulerede) startes. Det ses endvidere, at de to kompressorer, der nominelt yder 20 kW, nu kan klare et job svarende til 26 kW - altså en væsentlig forøgelse af arbejdsområdet. Kommer det aktuelle behov under 6 kW, køres der on/off på en af kompressorerne, og det vil naturligvis være oplagt at gøre dette på den frekvensregulerede, da on/off-drift ved eksempelvis 30 Hz er væsentlig mere energieffektivt end on/off-drift ved 50 Hz.

En af de store fordele ved behovsstyring er, at der ved delast fås en højere fordampningstemperatur og en lavere kondenseringstemperatur, hvilket forøger systemets effektivitet (hvilket naturligvis leder til energibesparelser). Den forhøjede fordampningstemperatur ved delast betyder desuden at udtørring af varer i kølerum kan reduceres væsentligt, da overfladetemperaturen stiger, og fugt-

udfældelsen på fladen dermed falder. Dette medfører ud over den reducerede udtørring endvidere, at behovet for afrimning af kølefladerne falder, og dermed falder energiforbruget. Også anlæggets levetid vil være påvirket positivt af den reducerede anlægsbelastning, og specielt kompressoren vil være mindre belastet med deraf følgende øget levetid, og reducerede vedligeholdelsesomkostninger.

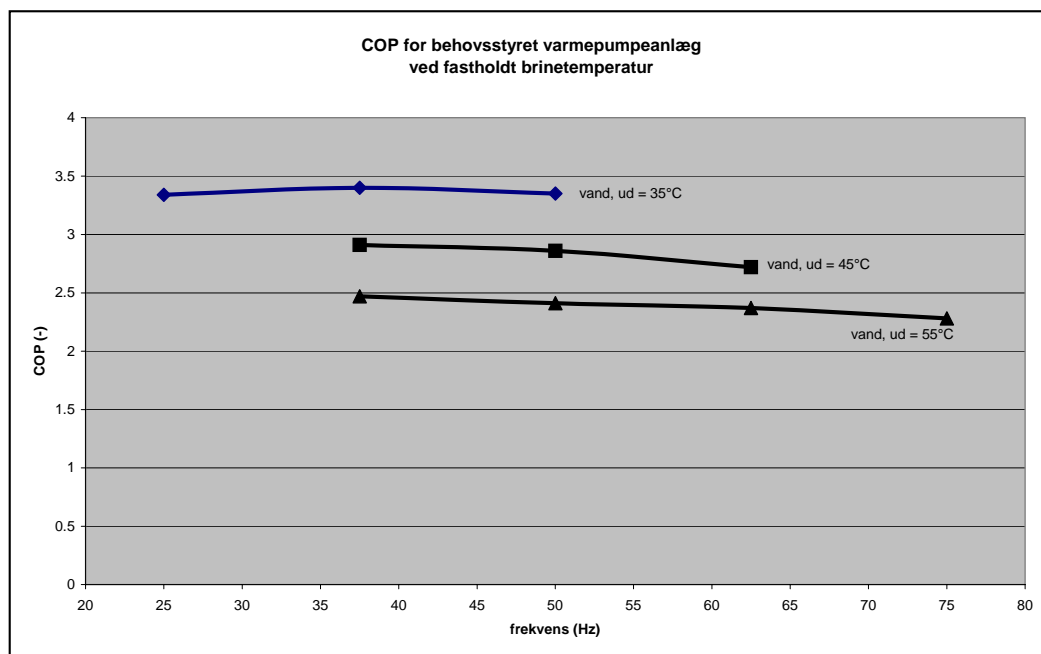
En anden umiddelbar fordel ved reguleringen er, at det er muligt at stabilisere temperaturen på kølestedet, da kompressoren sjældent står stille, og det er desuden muligt i spidslastsituationer at forcere ydelsen ved at hæve omdrejningstallet ud over det nominelle (normalt svarende til 50 Hz). Dette betyder, at det i mange tilfælde vil være muligt at vælge en mindre kompressor til opgaven, end hvis anlægget kørte on/off. Eksempelvis vil en optimal dimensionering kunne foretages således, at kompressorens maksimale ydelse (ved højeste omdrejningstal) svarer til det maksimale behov. Dette betyder at f.eks. at en kompressor, der er godkendt til 75 Hz vil kunne erstatte en 50 Hz kompressor, der er 50% større, hvilket naturligvis giver en væsentlig reduktion i anskaffelsesomkostningerne.

På figur 4 og 5 ses resultaterne af nogle laboratoriemålinger lavet på en varmepumpe (se ref. /2/) - det er altså anlæggets varmeydelse og varme-COP, der er vist på figurerne. På figur 4 ses, at ydelsen tilnærmelsesvis er lineær indtil et vist omdrejningstal - herefter flader ydelseskurven for anlægget ud.



Figur 4: Varmeydelse for behovsstyret varmepumpe.

En tilsvarende figur for samme anlægs COP vises på figur 5. Her ses, at COP'en for anlægget faktisk er rimelig konstant indtil et vist omdrejningstal - herefter falder den.



Figur 5: COP for behovsstyret varmepumpe.

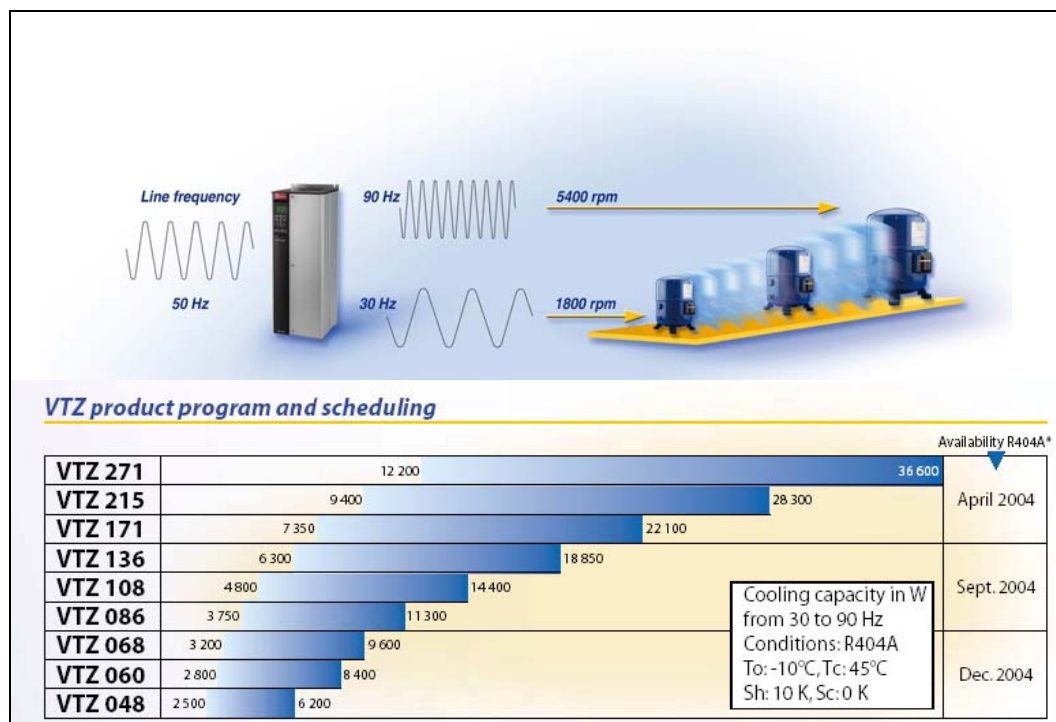
De her nævnte fordele har alle været af energimæssig karakter. Det er dog ikke alene reduktioner i køleanlæggenes energiforbrug, der er interessant. Øget sikkerhed (køling), reduktion i vedligeholdelsesomkostninger og øget levetid er parametre, som ligeledes bør fremhæves.

Af andre fordele kan nævnes at frekvensomformerer erstatter anden form for motorbeskyttelse og startudstyr.

Der er naturligvis også ulemper, om end deres omfang er relativt beskedent sammenlignet med fordelene. Men naturligvis er det ikke alle kompressorer, der er lige egnede til denne reguleringsform, og frekvensomformerer bidrager med et tab, der dog er af relativ beskedent størrelse (<5%). Der kan desuden opstå rystelser i kompressor/kølesystem som følge af resonanssvingninger - dette kan dog typisk undgås ved at lade frekvensomformerer "springe" de frekvenser over, der er årsag til disse svingninger.

På figur 6 ses et eksempel på regulerings- og indsatsområde for en ny Danfoss kompressor, som blev lanceret i 2004. Kompressoren kan reguleres i området 30 – 90 Hz. Mange andre kompressorproducenter lancerer i disse år ligeledes nye kompressorer, som er egnede til omdrejningstalsregulering, og det ses ligeledes, at "gamle" modeller får udvidet deres indsatsområde.

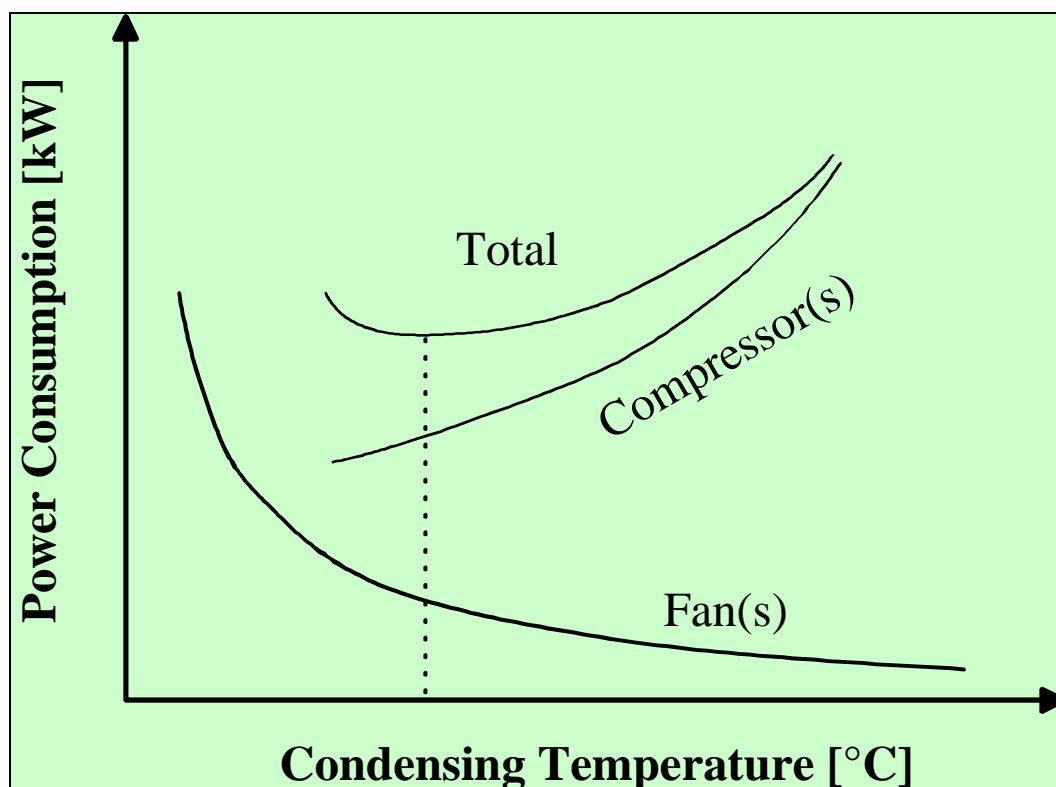
Det skal dog understreges, at der ikke kan opstilles generelle retningslinier for indsatsområdet – i hvert tilfælde bør dette undersøges hos leverandør/producent.



Figur 6: Danfoss' nye VTZ-kompressor med et bredt reguleringsområde.

Det bør understreges, at reguleringsformen ikke alene omfatter kompressoren, men i lige så vid udstrækning ventilatorer og pumper. Analyser viser faktisk, at kombinationen mellem frekvensregulering af henholdsvis kompressor og eksempelvis kondensatorblæser er yderst interessant. Omdrejningstalsreguleres kompressoren alene, og lader man kondensatorblæseren køre videre, er gevinsten relativ beskedent, men reguleres begge komponenter, er gevinsten typisk meget stor.

På figur 7 ses et eksempel på det optimum, der kan fastlægges for et kølesystem – fald i kondenseringsstemperatur medfører stigende effektforbrug i ventilatorblæser mens kompressorens effektforbrug falder og vice versa. En tilsvarende figur vil kunne udarbejdes for køleanlæggets kolde side.



Figur 7: Effekt af kondensatorblæserregulering på kølesystem – kilde: Danfoss A/S.

Det har med baggrund i de her omtalte vurderinger været et vigtigt mål i projektet at få alle disse parametre implementeret i den nye styring. Det har dog i praksis vist sig, at ydre forhold, herunder krav til luftbevægelse i kølerum etc., har vanskeliggjort en fuld systemoptimering. Derfor er det kun i det ene testanlæg (plastkøleanlægget) lykkedes at implementere alle ”goderne” – pumperegulering, regulering af kompressor samt kondensatortryksregulering.

5 Resultat af markedsundersøgelse

Projektet indledtes med en markedsundersøgelse, som bl.a. skulle afdække potentialet for den nye teknologi. Denne del af projektet afsluttedes i marts 2002 med udarbejdelse af en kort rapport, hvorfra nedenstående konklusioner er hentet. Hele rapporten kan ses på www.teknologisk.dk/behovsstyring

Anvendelse af behovsstyring i mindre køleanlæg er en af de mest oplagte muligheder til at reducere energiforbruget i denne anlægstype. Andre gennemførte projekter omkring anvendelse af teknologien i varmepumper og plug-in køleunits har vist, at der kan forventes en energibesparelse på mellem 15% og 40% ved implementering af teknologien.

Massen af køleanlæg under 30 kW inden for områderne mælkeproduktion, kartofler og grøntsager, gartnerier, proceskøling og engroslagre estimeres i analysen til i alt 17.925 anlæg. Det totale energiforbrug til køling for de nævnte områder (anlæg under 30 kW) anslås til at ligge på ca. 176 GWh/år.

Med en forventet energireduktion på 20% ved implementering af teknologien fås et besparelspotentiale på i alt 35,2 GWh/år. Det forventes, at der over en årrække vil kunne foregå en total udskiftning af alle anlæg i de nævnte brancher, såfremt de kritiske betingelser (nævnt i spørgeskemaundersøgelsen) overholdes.

Der er rettet kontakt til en række organisationer og firmaer inden for denne gruppe, og generelt er tilbagemeldingerne herfra, at produktkvaliteten er vigtigere end energiforbruget. Men netop dette gør denne teknologi endnu mere interessant, da den forener ønsket om uændret eller højere produktkvalitet med et lavere energiforbrug.

5.1 Delresultater fra markedsundersøgelse

Fra markedsundersøgelsen er følgende resultater hentet:

Ved opsummering af anlægsmasser og energiforbrug for de enkelte markedssegmenter kan følgende regnestykke opstilles:

Segment	Anlægsmasse / [stk.]	Energiforbrug / [GWh/år]
Mælkeproduktion	14.100	66
Kartofler og grøntsager	1.000	47
Gartneri mv.	500	20
Proceskøling (plastindustri)	100	12
Engroslagre	2.225	31
I alt	17.925	176

6 Den udviklede styring

For at opnå optimal udnyttelse af alle mulighederne i behovsstyringen er det i mange tilfælde nødvendigt at anvende andre former for reguleringsudstyr i samspil med frekvensomformereren. Frekvensomformereren skal ses som en black box, der ud fra et signal giver den ønskede frekvens til motoren. Dette betyder, at anlæggets reguleringsalgoritmer skal lægges andetsteds – eksempelvis i en PLC.

Anvendes frekvensomformereren til en simpel motorregulering (eksempelvis til regulering af omdrejningstallet i en ventilatormotor) vil dette umiddelbart kunne lade sig gøre f.eks. ved at regulere ud fra et tryksignal (f.eks. kondenseringstrykket). Men skal kompressoren i et køleanlæg omdrejningstalsreguleres, er det nødvendigt med en mere avanceret form for regulering, der tager højde for eksempelvis anlægsbelastning, optimering af sugetryk etc. Dette gør naturligvis reguleringen mere kompleks, men med elektronikkens indtog i kølebranchen anses dette ikke for noget nævneværdigt problem. Det er dog problematisk, at der i dag ikke findes noget større udbud af standard reguleringsudstyr på markedet, der kan løse denne opgave - der skal derfor i hvert enkelt tilfælde skræddersyes en løsning, hvilket naturligvis fordyrer konceptet.

Inden for supermarkedsområdet har Danfoss lanceret frekvensomformereren som en integreret del af ADAP-KOOL programmet, og det skønnes, at der på sigt ligeledes vil komme andre lignende tiltag inden for andre applikationsområder.

I projektet er der udviklet en helt ny styring til denne type anlæg (kaldet LMC250). Styringen markedsføres i dag af Lodam Elektronik, og indeholder alle nødvendige funktioner og algoritmer til systemregulering. Styring og overordnet funktion kan ses på figur 8. Denne styring er i projektet installeret på de tre testanlæg.

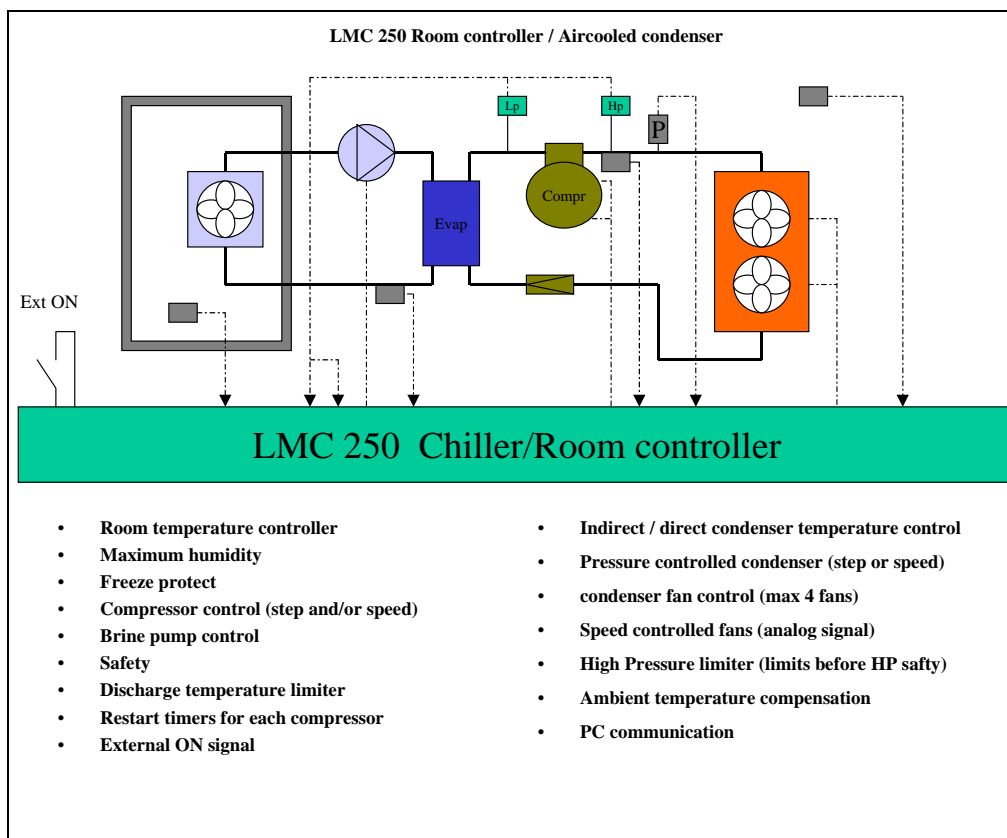
6.1 Beskrivelse af den udviklede styring

I det følgende er der givet en kort beskrivelse af styringen. Der henvises i øvrigt til vejledningen, hvor styringen er beskrevet mere detaljeret og desuden til Lodam Elektroniks hjemmeside www.lodam.dk

LMC 250 er en total styring til mindre vandkølere med op til 4 kompressor-trin og op til 4 kondensatorventilatorer.

LMC 250 kan anvendes til såvel trinkoblede kompressorer og kondensatorventilatorer som til hastighedsstyrede kompressorer/kondensatorventilatorer (frekvensomformerstyring).

LMC 250 kan anvendes i 3 forskellige hovedapplikationer. Inden for hver hovedapplikation kan LMC 250 konfigureres til mange forskellige kompressor/kondensator kombinationer. For alle 3 hovedapplikationer gælder, at der kan tilsluttes 3 uafhængige sikkerhedskæder (typisk Højtryk, Lavtryk og Frekvensomformer alarm).



LMC 250 Hardware configuration

- 240V Power supply
- 2 x 8 character LCD display
- 4 digital inputs (low voltage)
- 4 temperature input (NTC)
- 1 Analog input (0..5V, 0..10V, 0..20mA)
- 2 x Analog out (0..5V, 0..10V 4..20mA or 0..20mA)
- 7 x relay (250 10A)
- RS232 communication (PC)
- RS485
- Extension connector
- 128 KB Micro Processor (Atmel Mega 128)



Figur 8: Eksempel på controller fra Lodam Elektronik til behovsstyret køleanlæg.

6.1.1 Vandkølerstyring

Vandtemperaturen holdes på et indstillet setpunkt ved at regulere kompressorkapaciteten (trin og/eller omdrejningstals-styret). Kondensatortemperaturen styres ved at indkoble trin eller hastighedsregulere kondensatorventilatorer. Kondensatortemperaturen kan være fast indstillet eller gøres afhængig af omgivelsestemperaturen.

6.1.2 Rumtemperaturstyring efter fast temperatur

Styring af rumtemperatur i fx frugt-/grøntrum gennem indirekte køling. Kompressorkapaciteten tilpasses således, at rumtemperaturen holdes på et ønsket fast indstillet setpunkt. Begrænsning af temperaturforskel mellem rumtemperaturen og brinetemperaturen for minimal udtørring og maksimal varekvalitet.

Kondensatoren styres efter fast indstillet temperatur eller i forhold til omgivelsestemperaturen.

6.1.3 Rumtemperaturstyring med programmerbar temperaturforløb (processtyring)

Rumtemperaturen styres i et indprogrammeret forløb. Rumtemperaturen kan ændres et bestemt antal grader pr. time (døgn), indtil en bestemt temperatur er nået. Derefter holdes denne temperatur konstant. Denne funktion er eksempelvis anvendt i det senere beskrevne kartoffellager.

Begrænsning af temperaturforskel mellem rumtemperaturen og brinetemperaturen for minimal udtørring og maksimal varekvalitet. Kondensatoren styres efter fast indstillet temperatur eller i forhold til omgivelsestemperaturen.

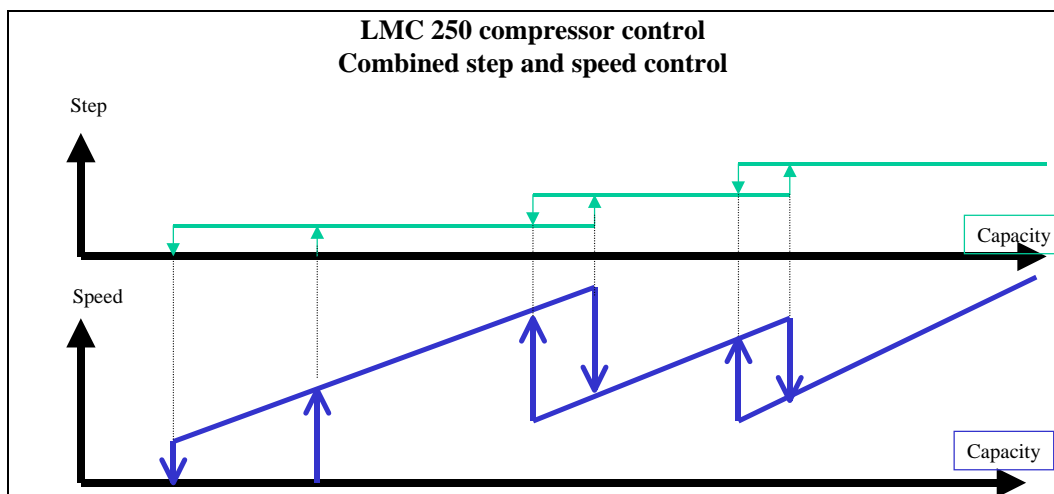
LMC 250 styrer kompressorkapaciteten således, at vandtemperaturen har det ønskede niveau (vandkølertilstand):

- Vandkølerstyring af fremløb eller returløb
- Rumstyring vha. indirekte køling
- Kapacitetsstyring af kompressor vha. trinregulering eller hastighedsregulering
- Op til 4 kompressortrin (*)
- Op til 4 kondensatortrin (*)
- Kondensatorstyring vha. trin eller hastighed
- Processtyring af temperatur
- Sikkerhedsautomatik.

(*) Det samlede antal trin for kondensator og kompressor er maks. 4.

6.2 Flertrinsregulering

Frekvensregulering kan med fordel kombineres med andre reguleringsstrategier, eksempelvis trinkobling vha. kompressor- eller cylinderudkobling. Dette er illustreret på figur 9.



Figur 9: Frekvensregulering i kombination med kapacitetsregulering vha. kompressor-/cylinderudkobling

7 Gennemførte feltmålinger

I forbindelse med gennemførelsen af projektet er der for at dokumentere den påståede besparelse, gennemført et omfattende måleprogram på tre køleanlæg. De to af disse anlæg er nye anlæg, mens det sidste er et ældre vandkøleanlæg, der er renoveret i projektførelsen.

De tre anlæg er valgt ud fra ønsket om at eftervise gevinsten ved anvendelse af teknologien i anlægstyper, der bredt dækker de områder, hvor denne menes at kunne implementeres i fremtiden. Desuden har projektets overordnede rammer været en vigtig parameter i udvælgelsen. Projektet er støttet under ordningen ”Statstilskud til energibesparelser m.v. i erhvervsvirksomheder”, hvilket umiddelbart har begrænset udvælgelsen til de områder, som er beskrevet i markedsundersøgelsen.

I det følgende gennemgås de tre anlæg, og hovedresultaterne fra målingerne beskrives.

7.1 Case 1: Mælkekøleanlæg med isvandstank

Projektets første case er et mælkekøleanlæg opbygget med isvandstank, som afgiver kondensatorvarmen til gårdens stuehus. Anlægget, der er opstillet i nærheden af Skals ved Viborg, er et kombineret anlæg, der både køler den malkede mælk og leverer varme til gårdens beboelse.

Anlægget er opbygget som et indirekte system, der via vandkreds på både kondensator- og fordamperside hhv. afgiver og optager varme. Anlæggets kolde side er forsynet med en isbank, som sikrer, at der altid er tilstrækkelig køleeffekt til rådighed. Isbanken er dog mindre end ellers, da den nye reguleringsform giver mulighed for forceret drift af køleanlægget. Anlægget er herudover forsynet med nødkøl, således at anlægget kan aflevere sin varme i perioder, hvor der ikke er varmebehov i gårdens beboelse. Anlægget er forsynet med en ekstra optager til varmepumpesystemet (denne ekstra optager er placeret i staldens gulv), der sikrer, at der i perioder med stort varmebehov i beboelsen kan hentes varme fra stalden.

Isopbygningen i isbanken styres via et signal fra en istermostat, og varmeafgivelsen til beboelsen styres via en fremløbsføler, og der anvendes her en såkaldt udetemperaturkompensering, der afhængig af udetemperaturen skruer op og ned for fremløbstemperaturen. Udgangspunktet for styringen af isopbygningen er, at køleanlægget i perioderne mellem malkningerne skal kunne nå at opbygge tilstrækkelig ismængde til, at hele den malkede mælkemængde kan nedkøles til det ønskede niveau.

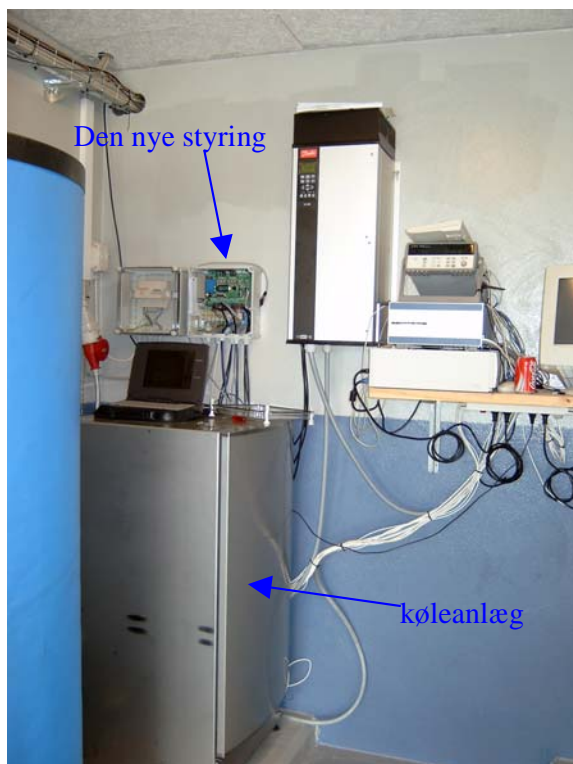
Dagligt køles ca. 2.500 liter mælk, som uden forkøling ledes direkte i tanken.

Relevante systemoplysninger:

Kompressor: Maneurop MT100, 2900 omdr/min, 35-65 Hz.

Vekslere: Traditionelle pladevarmevekslere

Øvrigt: -



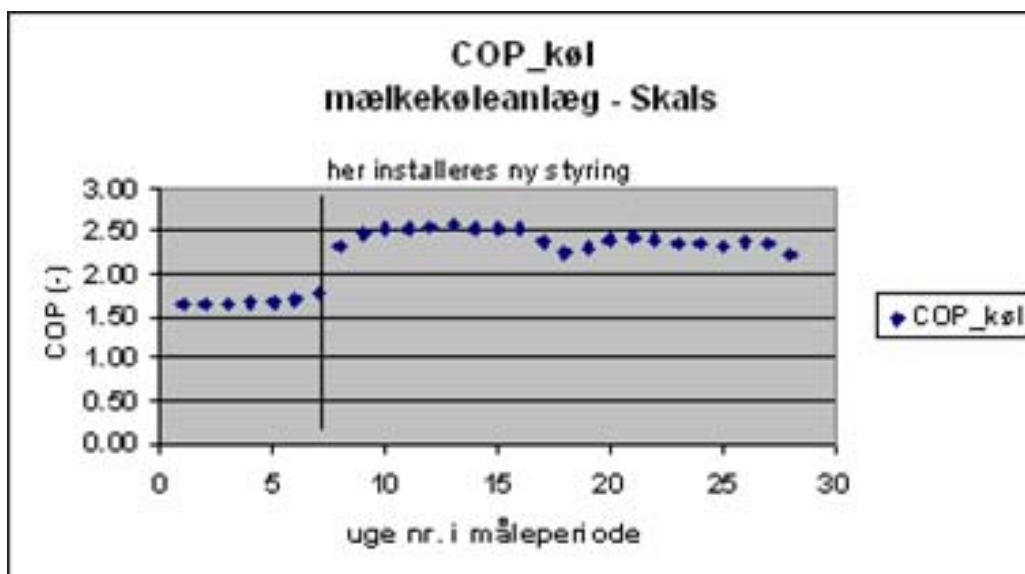
Figur 10: Billede af mælkekøleanlæg (case 1).

7.1.1 Resultater fra case 1 - mælkekøleanlæg

Referenceenergiforbrug (on/off-styring):	0,60 kWh el pr. kWh mælkekøling
Energiforbrug med ny styring:	0,42 kWh el pr. kWh mælkekøling

Dette svarer til en besparelse i energiforbruget på ca. 30% eller for den pågældende bedrift en årlig besparelse på omkring 10.000 kWh alene på energiforbruget til køling. Herudover er selve varmepumpen naturligvis også mere effektiv end on/off-modellen, og der vil derfor også her være en væsentlig reduktion i energiforbruget (specielt i vintermånederne).

Det skal dog understreges, at der samtidig med montering af den nye styring, ligeledes blev gennemført en optimering af de øvrige driftsparametre, herunder varmepumpens afgivertemperatur (fremløb til radiatorsystem), som før var indstillet til en fast værdi, men efterfølgende er ændret til at afhænge af udetemperaturen. Kompenseres der for denne ændring, fås en reel besparelse ved implementering af den nye styring på ca. 21%.



Figur 11: COP for mælkekøleanlæg i Skals - bemærk forbedring efter montering af ny styring.

Anlæggets relative gangtid (%-vis on-tid for kompressor) er med den nye styring hævet fra 63% til 66%, set over hele måleperioden. At den relative gangtid ikke er 100% med den nye styring skyldes krav til anlæggets maksimale ydelse – det har simpelthen ikke været muligt at vælge en mindre kompressor, da anlægget ved spidsbelastning skal kunne levere kuldeydelse svarende til maksimalt omdrejningstal på kompressoren.

Ses på anlæggets middel-fordampningstemperatur ved drift, er denne hævet fra -12°C til -10°C , og kondenseringstemperaturen er sænket fra ca. 45°C til ca. 34°C .

7.2 Case 2: Køleanlæg til kartoffellager

Case 2 er et køleanlæg opstillet hos en kartoffelavler i Karupområdet. Det virker som et indirekte anlæg (vandkreds på både kold og varm side). Anlægget køler et større lager med læggekartofler, og dette medfører, at køleanlægget alene er i drift fra efterår til tidlig forår, hvor kartoflerne lægges til forspiring. Kartoflerne nedkøles efter en nærmere fastsat procedure - langsom nedkøling efter høst og herefter opbevaring i vinterhalvåret ved ca. $+3^{\circ}\text{C}$. Ved forårets begyndelse hæves temperaturen langsomt i lageret, og kartoflerne starter deres spiring.

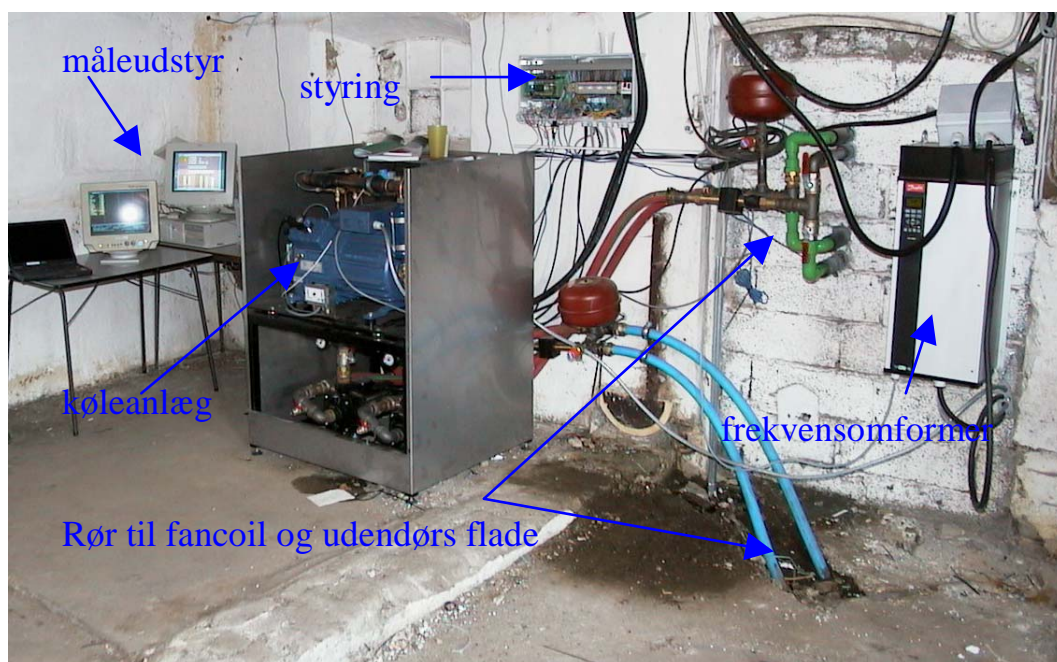
Denne anlægstype kan umiddelbart synes svær at håndtere med et behovsstyret køleanlæg, da forskellen mellem belastning ved spidslast og lavlast er enorm. Desuden vil krav til luftcirkulering i kølerummet være uafhængig af systemets belastning, og derfor vil eventuel kapacitetsregulering af ventilatorer i kølerum ikke være mulig. Sidstnævnte forhold har faktisk vist sig at være den begrænsende faktor på dette anlæg, hvilket igen har begrænset energibesparelsen ved anvendelse af behovsstyring for det pågældende anlæg (se mere herom senere).

Relevante systemoplysninger:

Kompressor: BOCK HGX4/650 4S, 1450 omdr/min, 35-65 Hz.

Vekslere: Traditionelle pladevarmevekslere

Øvrigt: -



Figur 12: Billede af indirekte køleanlæg til kartoffellager (case 2).

7.2.1 Resultater fra anlæg 2

Referenceenergiforbrug (on/off-styring):	0,285 kWh el pr. kWh køling
Energiforbrug med ny styring:	0,253 kWh el pr. kWh køling

Dette svarer til en besparelse i energiforbruget på ca. 12% eller for det pågældende kartoffellager til en årlig besparelse på 1.000-2.000 kWh på energiforbruget til køling, afhængig af den periode kartoflerne skal lagres (forskellig fra år til år). De gennemførte målinger er foretaget således, at det har været muligt at foretage sammenligninger på basis af anlægsbelastning - altså baseret på bl.a. varmeindfaldet i lageret (ud fra solkorrigerede graddage), samt på den i rummet afsatte modningsvarme fra kartoflerne.

Det vurderes, at besparelserne i denne anlægstype generelt er relativt beskedne. Dette skyldes bl.a., at f.eks. ventilatorerne i selve kølerummet er relativt store, og derfor vil deres effektforbrug have stor indflydelse på det samlede elforbrug i anlægget. Når der installeres behovsstyring i denne anlægstype, vil ventilatorernes driftstid normalt være højere, end når der reguleres traditionelt. Det er ikke muligt at kapacitetsregulere disse ventilatorer pga. krav til luftfordeling i rummet. Desuden er driftsprofilen helt anderledes end i de to andre tilfælde i projektet - anlægget har en stor overkapaci-

tet for at kunne klare nedkølingen, når de varme kartofler lægges på lager efter høst. Derfor er der i måleperioden registreret relative køretider på kun 20-30%, og her begrænser kompressorens reguleringsområde gevinsten ved behovsstyring.

Men der er altså trods alt registreret en rimelig forbedring på dette anlæg, en forbedring der bl.a. kan tilskrives en øget fordampningstemperatur (steget fra ca. -10°C til ca. -7°C) samt et beskedent fald i kondenseringstemperaturen (på ca. 1 K).

7.3 Case 3: Vandkøleanlæg til plastvirksomhed

Anlæg 3 er et vandkøleanlæg monteret i en plastvirksomhed på Randerseggen. Anlægget har en luftkølet kondensator. I forbindelse med renovering af anlægget blev der monteret en ny kompressor (Maneurop MTZ 100) til erstatning for den oprindelige Maneurop MT 125. Alle øvrige køletekniske komponenter er uændrede. Baggrunden for skiftet af kompressoren er alene ønsket om et pålideligt og fremtidssikret anlæg. Den nye chillerstyring, der er monteret på anlægget, indeholder ud over selve anlægsstyringen ligeledes en frekvensomformer til kondensatorblæseren, og der er hermed foretaget en omfattende optimering af anlægget, hvilket også klart afspejles i den målte reduktion i energiforbruget.

Relevante systemoplysninger:

Kompressor: Maneurop MTZ 100, 1450 omdr/min, 35-65 Hz.

Veksler: Luftkølet kondensator og shell and tube fordamper

Øvrigt: Ældre anlæg, der er renoveret ifm. projektet. Kondensatorventilator omdrejningstalsreguleres afhængigt af kondensatortrykket og kold pumpe reguleres synkront med kompressoromdrejningstallet.



Figur 13: Billede af vandkøleanlæg og den nye styring til højre (case 3).

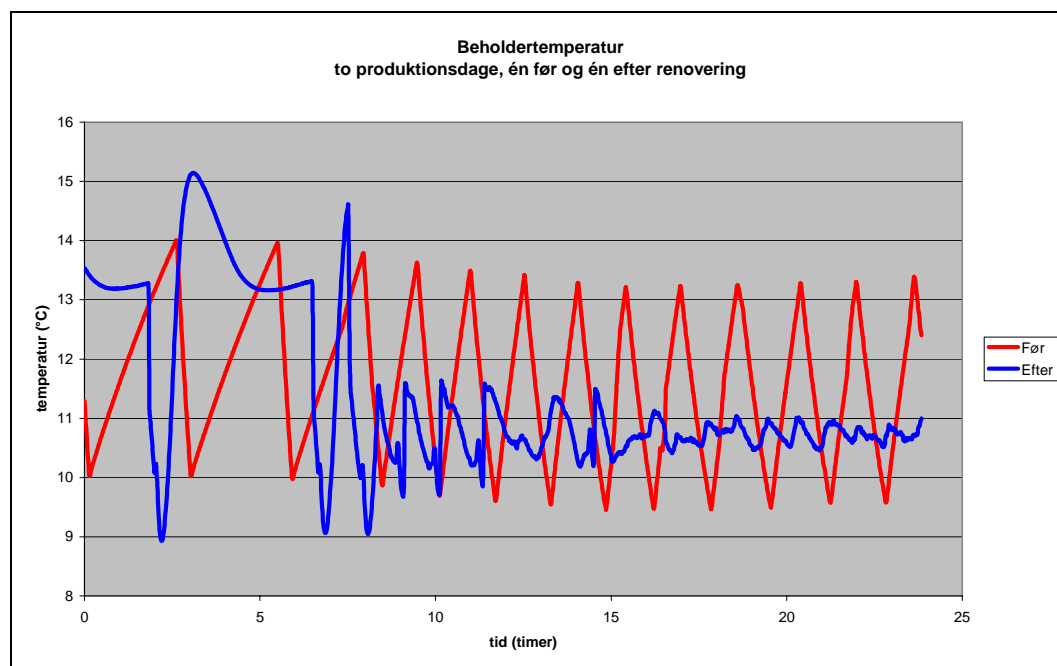
7.3.1 Resultater fra anlæg 3

Referenceenergiforbrug (on/off-styring):	0,710 kWh el pr. kWh køling
Energiforbrug med ny styring:	0,485 kWh el pr. kWh køling

Dette svarer til en besparelse i energiforbruget på ca. 32% eller for den pågældende virksomhed en årlig besparelse på ca. 12.000 kWh på energiforbruget til køling. Der er på anlægget opnået et markant fald i kondenseringstemperaturen (på ca. 9 K), mens anlæggets fordampningstemperatur faktisk er faldet med omkring 2 grader, hvilket formentlig skyldes, at pumpen til vandtanken ligeledes omdrejningstalsreguleres (i dette tilfælde synkront med kompressoren).

Anlæggets relative gangtid (%-vis on tid for kompressor) er med den nye styring hævet fra 39% til 49%, set over hele måleperioden. Ses alene på den relative gangtid i hverdage (mandag-fredag), fås en tilsvarende stigning fra 50% til 59%. At den relative gangtid ikke er 100% med den nye styring, skyldes krav til anlæggets ydelse – det har simpelthen ikke været muligt at vælge en mindre kompressor, da anlægget ved spidsbelastning skal kunne levere kuldeydelse svarende til maksimalt omdrejningstal på kompressoren.

Også rent driftsmæssigt har den nye styring store fordele. Ses på beholdertemperaturen før og efter installation af den nye styring, kan det ses, at denne er blevet væsentligt mere stabil. Dette er illustreret på figur 14.



Figur 14: Beholdertemperatur før og efter installation af ny styring.

På figur 14 ses det, at beholdertemperaturen - specielt i dagtimerne - har kunnet holdes væsentlig mere stabil med den nye styring. Netop i dagtimerne, hvor der er produktion i plastmaskinerne, er det meget vigtigt, at temperaturen holdes konstant.

7.4 Økonomi i testanlæg

Et af de vigtigste argumenter over for kunderne i forbindelse med implementering af teknologien er naturligvis økonomien. For det sidst beskrevne anlæg (vandkøleanlægget til plastvirksomheden) er der gennemført en økonomiberegning.

Følgende forudsætninger er gjort:

Frekvensomformer, ”merpris” styring, elarbejde etc.:	+	kr. 20.000,-
Besparelse - mindre kompressor:	-	kr. 3.000,-
Meromkostning ved etablering er optimeret anlæg:		kr. 17.000,-

Der kan derfor opstilles følgende regnestykke for den pågældende virksomhed:

Årlig besparelse (32%): 12.000 kWh á 0,60 kr./kWh	=	kr. 7.200,-
Simpel tilbagebetalingstid:	=	2,4 år

Alle de her nævnte priser er vurderede omkostninger. Det er naturligvis nødvendigt at indhente tilbud fra en eller flere virksomheder, der tilbyder disse systemløsninger.

7.5 Andre eksempler – økonomi

Der gives i det følgende et eksempel på, at der også på installationsomkostningerne kan spares penge ved at anvende teknologien. I det viste eksempel ønskes et anlæg på omkring 13 kW ved 0/27°C installeret i et ventilationssystem. Normalt vil dette anlæg skulle forsynes med reguleringsudstyr, der sikrer et relativt stort reguleringsområde, f.eks. en modulerende varmgasventil, der leder varm trykgas ind umiddelbart efter termoventilen. Hermed kan anlæggets ydelse typisk reguleres i området 30 – 100%, men systemeffektiviteten bliver meget ringe.

I eksemplet sammenlignes kun priserne på det udstyr, der ikke er ens i de to tilfælde (fordamper, skueglas, kølemiddel etc. ændres ikke), og regnestykket ser således ud:

On/off model, med varmgasventil:

Aggregat, Maneurop MGZ 64-4 R404A på 13,1 kW	kr. 19.800,-
Varmgasventil, M3BF 15LX-A	kr. 9.609,-
Adapter til ventil, ZM101A	kr. 1.396,-
Trafo til ovennævnte	kr. 240,-
I alt materialer:	kr. 31.045,-

Behovsstyret med frekvensomformer:

Aggregat, Maneurop MGZ 40-4 R404A på 8,3 kW v. 50 Hz (35-75 Hz)	kr. 14.200,-
Ydelse v. 35 Hz ca. 5,8 kW	
Ydelse v. 75 Hz ca. 12,5 kW	
Frekvensomformer, Danfoss FC 302, 5,5 kW	kr. 11.000,-
I alt materialer:	kr. 25.200,-

Der er i foregående beregning ikke medregnet den besparelse, som opnås som følge af et mere simpelt rørtræk, samt de øvrige installationsmæssige besparelser ved anvendelse af frekvensomformeren. Alligevel er der i det viste tilfælde opnået en besparelse for kunden alene på komponenterne på ca. 19%, og da der samtidig kan forventes en driftsbesparelse på anlægget på mere end 30%, kan det konkluderes at økonomien mere end hænger sammen!

Det ses dog at reguleringsområdet er indsnævret en anelse, hvilket primært skyldes at den mindre kompressor kun er egnet til drift ned til 35Hz. I nær fremtid lancerer Danfoss/Maneurop en ny model (VTZ), der kan reguleres i området 30-90 Hz, altså et meget større reguleringsområde, end for den valgte model.

8 Beregningsprogram

Der er i forbindelse med projektet udarbejdet et beregningsprogram, der kan simulere et kølerum med forskellige vareindbringningsmønstre, og give en indikation af energiforbruget og besparelsen ved at anvende behovsstyring på forskellige komponenter.

8.1 Programmets opbygning

Programmet er opbygget i EES, som bl.a. kendes fra CoolPack og KKO. Programmet er opbygget omkring et køle- eller frostrum, men kan også anvendes på andre systemer. Programmet kan sammenligne energiforbrug på to identiske systemer, men med forskellig styrestrategi.

Programmet er nærmere beskrevet i den udarbejdede vejledning, men her bringes en kort oversigt over de muligheder, som programmet giver brugeren.

Konsekvensberegning af BEHOVSTYRET ift. ON/OFF-STYRET køleanlæg 12-10-2004 15:40:08

tidsstep = 5

Fælles data for begge anlæg

Vare belastning:
En årlig opfyldning mellem d. 1/6 og 1/8 (f.eks. grøntsagslager)
 En månedlig opfyldning mellem d. 6. og 12. (f.eks. grossistlager)
 En daglig opfyldning mellem kl. 5 og 8 (f.eks. supermarked)

Batchstørrelse: [kg] Varer indbringningstemperatur: [°C]

Belastningsprofil (vareflow)
 Ind fra kl.1 den 6 / 1 til kl. 1 den 12 / 1
 Ud fra kl.1 den 12 / 1 til kl. 1 den 6 / 2
 12 gange årligt

Rum temperatur setpunkt: [°C] Transmissions tab: [kW/K]

Norminel kuldeydelse: [kW] svarende til øvre frekvens grænse. Maksimalt transmissionstab: 26,8 [kW]
Der henvises til "Resultat - Dimensionering" hvis den installerede køleydelse ikke kendes på forhånd.

Lys, maskiner etc. (fast bidrag): [kW]

Behovsstyring
Version 1.0

[Introduktion](#)

Luftkøler Δt (nom.) 10 [K]

Luftkøler ventilator (nom.) 1,2 [kW]

Kondensator Δt (nom.) 10 [K]

Kondensator ventilator (nom.) 1,2 [kW]

Kondensator følger udetemperatur:

	ON/OFF	Behovsstyret	Besparelse	
	kWh/år	kWh/år	kWh/år	%
Kompressor	22621	18879	3742	17
Kondensator	2858	4529	-1670	-58
Luftkøler	10512	1687	8825	84
Total	35991	25094	10897	30

Data for Behovsstyret anlæg **Data for ON/OFF-STYRET anlæg**

Luftkøler ventilator styring: Δ_{køler} = [K]

Kondensator ventilator styring:

Kompressor frekvens område fra [Hz] til [Hz] Kompressor kapacitets trin:

Ekstra investering: [kr]

Elpris: [kr/kWh]

Tilbagebetalingstid 3,1 [år]

Resultat - Dimensionering Maksimal kuldeydelse / nominal kuldeydelse: 87 [%]
 Længste sammenhængende periode med 100% belastning: 0 [timer]

Figur 15: Skærmbillede fra beregningsprogram.

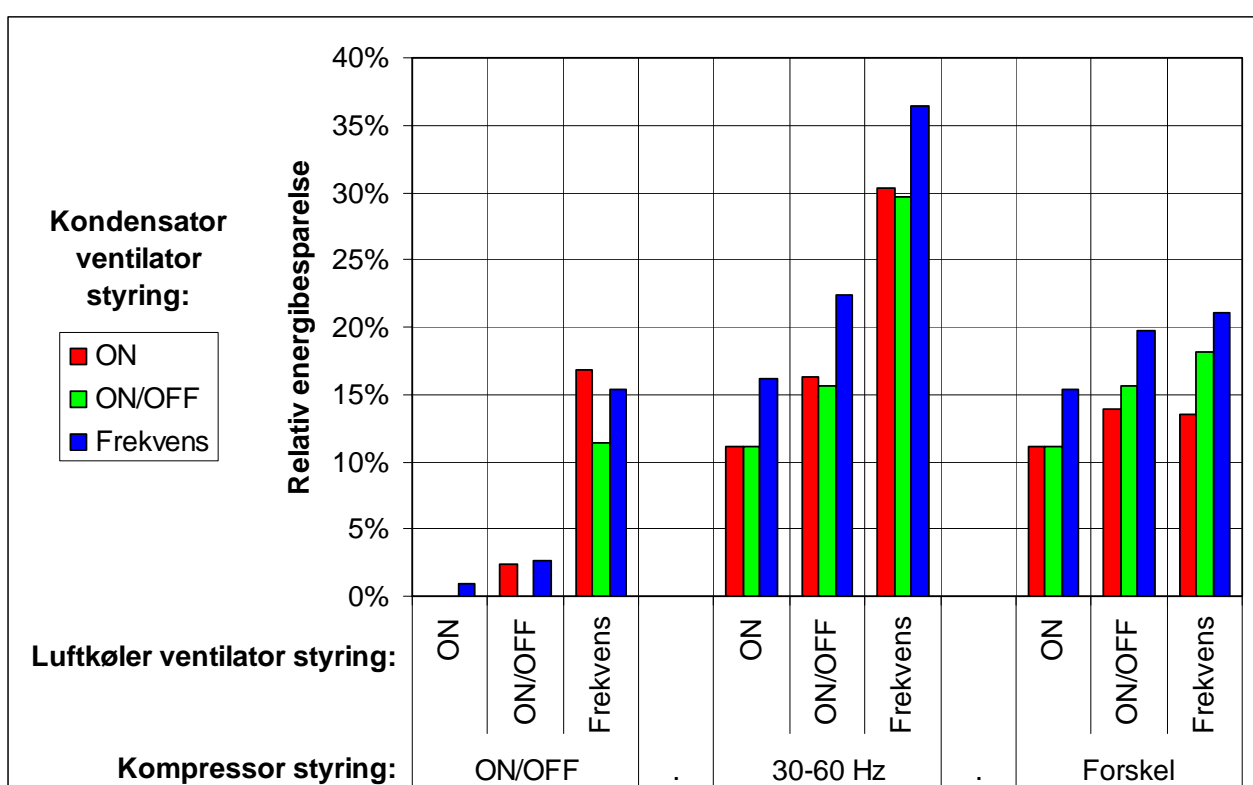
Programmet giver brugeren mulighed for at sammenligne forskellige styringsstrategier for køleanlæg, og for at se hvilke konsekvenser valget af styringsstrategi får for det årlige energiforbrug.

Ansvar

Projektgruppen fralægger sig ethvert ansvar for brugen af programmet, samt de følger anvendelsen måtte have. Programmet forudsætter grundlæggende kendskab til køletekniske forhold, og det forventes, at brugeren er i stand til at vurdere de beregnede størrelser.

8.2 Programmets muligheder

Der er i vejledningen gennemført en beregning på et køleanlæg, og resultaterne af disse beregninger er relativt entydige. Figur 16 viser hovedresultaterne fra disse beregninger.



Figur 16: Relative energibesparelser som funktion af forskellige styringsstrategier. I figurens venstre tredjedel kører kompressoren ON/OFF-drift (svarende til 50 Hz). I figurens midterste tredjedel frekvensstyres kompressoren mellem 30 Hz og 60 Hz. I figurens højre tredjedel er de 2 første tredjedele trukket fra hinanden for at vise den del af effekten, der direkte kan tilskrives frekvensstyringen af kompressoren.

Den første søjle svarer til referenceanlægget, og energibesparelsen er derfor 0%.

Det fremgår, at der for det pågældende anlæg kun er få procenter (0-3%) besparelse, hvis kompressoren kører ON/OFF, og luftkøler ventilatoren kører ON eller ON/OFF. Besparelspotentialet med kun at frekvensstyre kondensator ventilatoren er med andre ord ikke særligt stort.

Hvis luftkøler ventilatoren derimod frekvensstyres, er besparelspotentialt 11-17%, afhængig af den valgte styringsstrategi til kondensator ventilatoren.

Frekvensstyring af kompressoren alene (og dermed ON på begge ventilatorer) medfører en besparelse på 11%.

Den del af den samlede besparelse, som direkte kan tilskrives frekvensstyringen af kompressoren, ligger på mellem 11% og 21%, afhængig af den valgte styringsstrategi på ventilatorerne.

Det fremgår, at det er en god idé at frekvensstyre kondensator ventilatoren sammen med kompressoren. Her giver frekvensstyringen af kompressoren en besparelse på mellem 15% og 21% oven i besparelsen fra frekvensstyringen af kondensator ventilatoren.

Som i tilfældet med ON/OFF-drift på kompressoren, findes de største samlede besparelser på anlæg med frekvensstyring af luftkøler ventilatoren (30-36%).

Den største absolutte besparelse fås i dette tilfælde ved at frekvensstyre alle 3 komponenter samtidig (36%).

Det bemærkes specielt, at der kan opnås synergieffekter ved at behovsstyre flere komponenter samtidig ($1 + 1 = 3$)!

Et eksempel gives i det følgende:

Frekvensstyring af enten kompressoren eller kondensator ventilatoren giver en besparelse på 11%, men frekvensstyring af begge komponenter på samme tid giver en besparelse på hele 30%, hvilket er væsentligt mere end $11\% + 11\% = 22\%$.

8.3 Validering af model

Der er gennemført en validering af modellen ved at foretage en beregning af de tre testanlæg. Disse beregninger er gengivet i vejledningens bilag 2, og resultaterne viser, at beregningsmodellen med rimelig nøjagtighed kan anvendes til at beregne den mulige energibesparelse for disse tre anlæg, men de viser også, at modellen har sine begrænsninger. Disse begrænsninger vedrører primært systemopbygning og specielle styringsstrategier.

9 Gode råd vedrørende behovsstyring af mindre køleanlæg

Igennem projektførelsen er der gjort en række iagttagelser og erfaringer, som alle har haft større eller mindre betydning for resultaternes udfald. I det følgende er det forsøgt at give et overblik over disse erfaringer – de skal ikke vurderes som generelle anbefalinger, men derimod som hints til at undgå nogle af de ”fælder”, som teknologien indeholder.

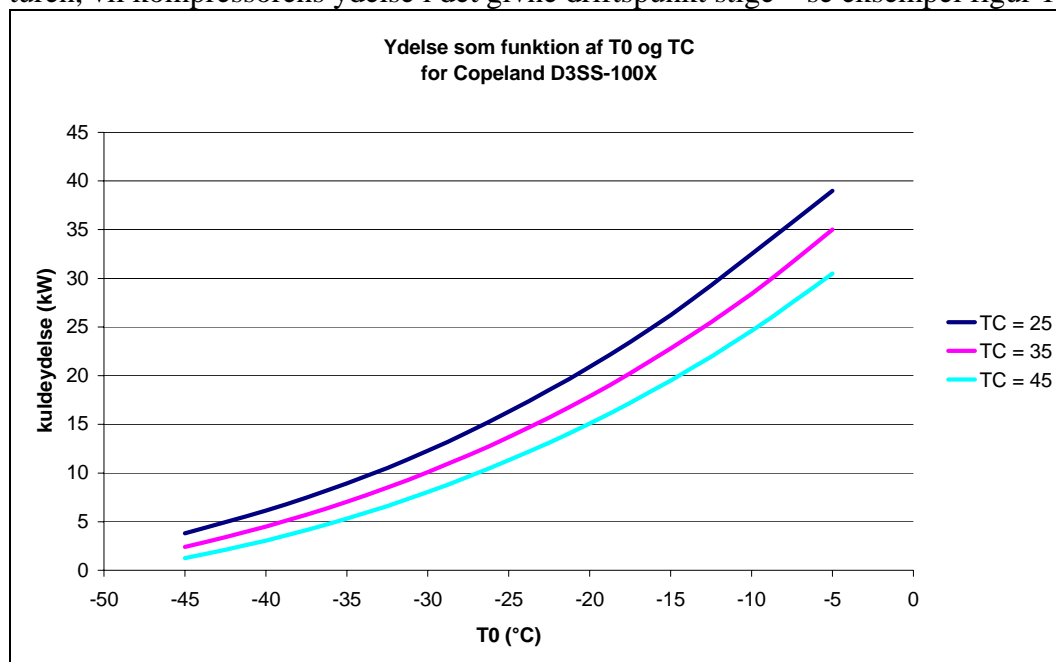
9.1 Kompressorvalg

Ved valg af egnet kompressor til omdrejningstalsregulering er der en række forhold omkring kompressoren, man skal have med i sine overvejelser. Af disse kan nævnes:

Kompressorstørrelse

Det gennemførte projekt (og de tidligere gennemførte aktiviteter på dette område) viser med al tydelighed, at valg af rigtig størrelse kompressor er essentiel for opnåelse af maksimal gevinst ved anvendelse af behovsstyring. I de gennemførte forsøg har det vist sig, at der faktisk er valgt for store kompressorer, hvilket primært skyldes krav til høj ydelse i perioder, men set i bakspejlet burde der faktisk have været valgt mindre kompressorer, end tilfældet var.

En af forudsætningerne for optimalt udbytte af teknologien er at kunne maksimere antallet af driftstimer på anlægget, og dette kan kun opnås ved at vælge den helt rigtige kompressorstørrelse. Her er det vigtigt at have kompressorens karakteristika med i overvejelserne. Når anlæggets styring optimeres, og der dermed sker et fald i kondenseringstemperatur og en stigning i fordampningstemperaturen, vil kompressorens ydelse i det givne driftspunkt stige – se eksempel figur 17.

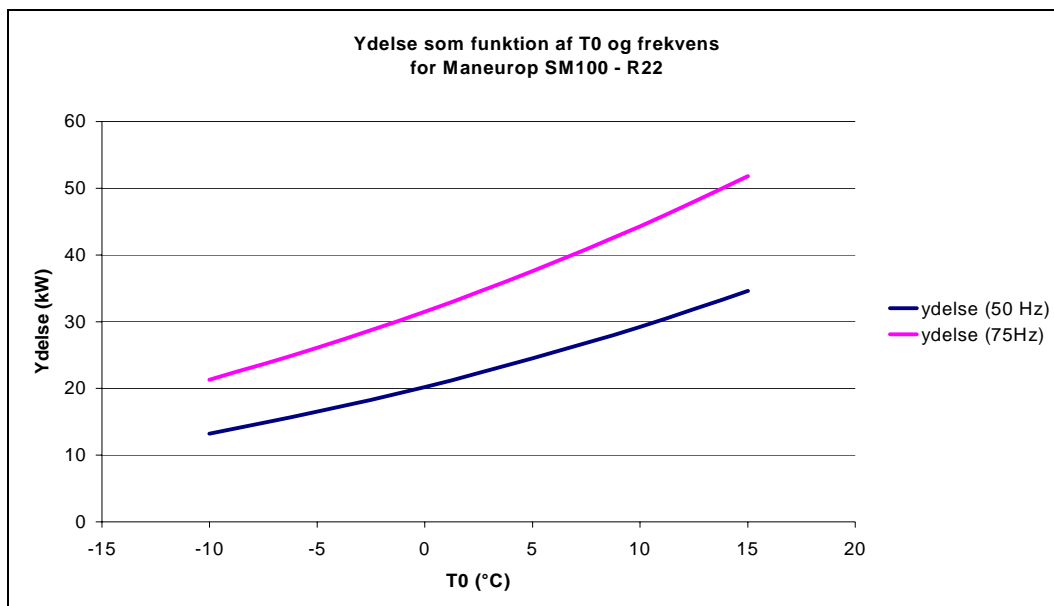


Figur 17: Ydelse som funktion af fordampnings- og kondenseringstemperatur for Copeland kompressor.

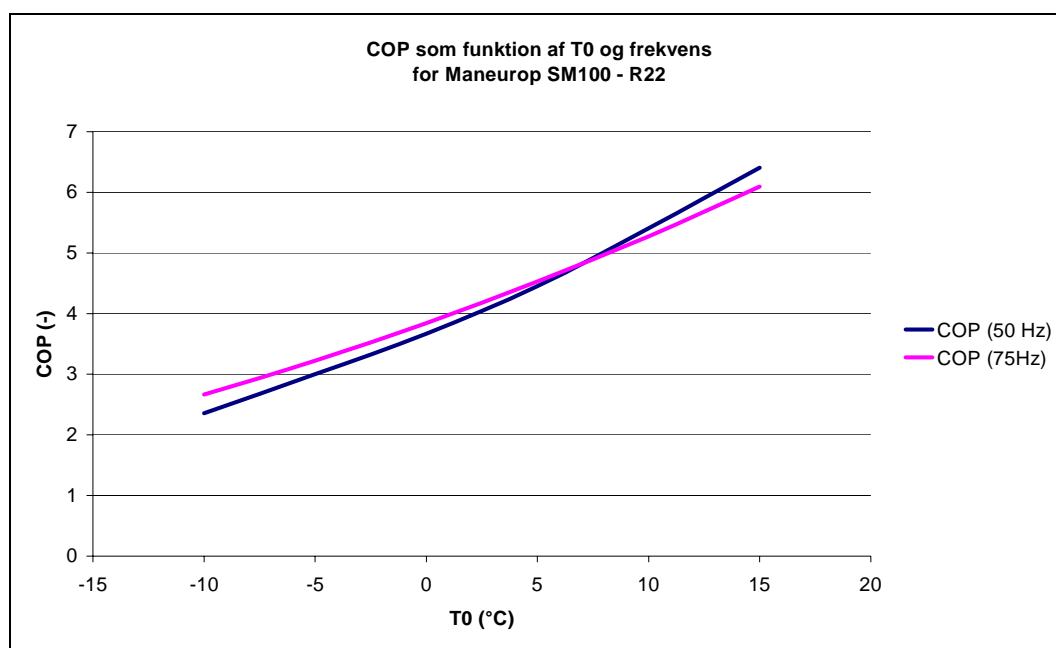
Den her valgte kompressor er en 3-cylindret semihermetisk stempelkompressor. Eksemplet viser, at der naturligvis sker en væsentlig kapacitetsforøgelse for kompressoren ved stigende fordampningstemperatur og faldende kondenseringstemperatur. For den givne kompressor kan der opstilles følgende regnestykke:

Udgangspunkt:	$T_0 = -10^{\circ}\text{C}$, $T_C = 45^{\circ}\text{C}$	Ydelse = 24,6 kW	COP = 2,22
Forbedring:	$T_0 = -5^{\circ}\text{C}$, $T_C = 40^{\circ}\text{C}$	Ydelse = 32,5 kW	COP = 2,75

Dette betyder, at man ved at hæve fordampningstemperaturen 5 K og sænke kondenseringstemperaturen 5 K, kan hæve kompressorens ydelse med ca. 32% og samtidig hæve COP med ca. 24%. Nu er denne situation lidt tænkt – det er naturligvis stadig anlæggets maksimale kapacitet, der skal lægges til grund for det endelige valg, men kan kompressoren reguleres op til eksempelvis 75 Hz fås en stigning i kompressorens ydelse på ca. 50% sammenlignet med 50 Hz-drift. På figur 18 er vist ydelse og COP for en Maneurop Scroll kompressor model SM100 med R22.



Figur 18.1: Sammenhæng mellem ydelse og fordampningstemperatur/kompressorfrekvens.



Figur 18.2: Sammenhæng mellem COP og fordampningstemperatur/kompressorfrekvens.

Det ses af figur 18.1 og 18.2, at ydelsen for den pågældende kompressor stiger omkring 50%, når omdrejningstallet hæves 50%, mens COP for kompressoren tilnærmelsesvis er uændret. Sammenhængen mellem COP ved forskellige omdrejningstal afhænger naturligvis af både kompressor- og motorvirkningsgrad.

2- eller 4-cylindret kompressor?

Valg af to-cylindret kompressor kan give vanskeligheder med vibrationer og store strømpulser ved lave omdrejningstal, samt opstartvanskeligheder ved stor belastning. Baggrunden er naturligvis, at hvert stempel i den 2-cylindret kompressor er belastet dobbelt så meget som i den 4-cylindret udgave.

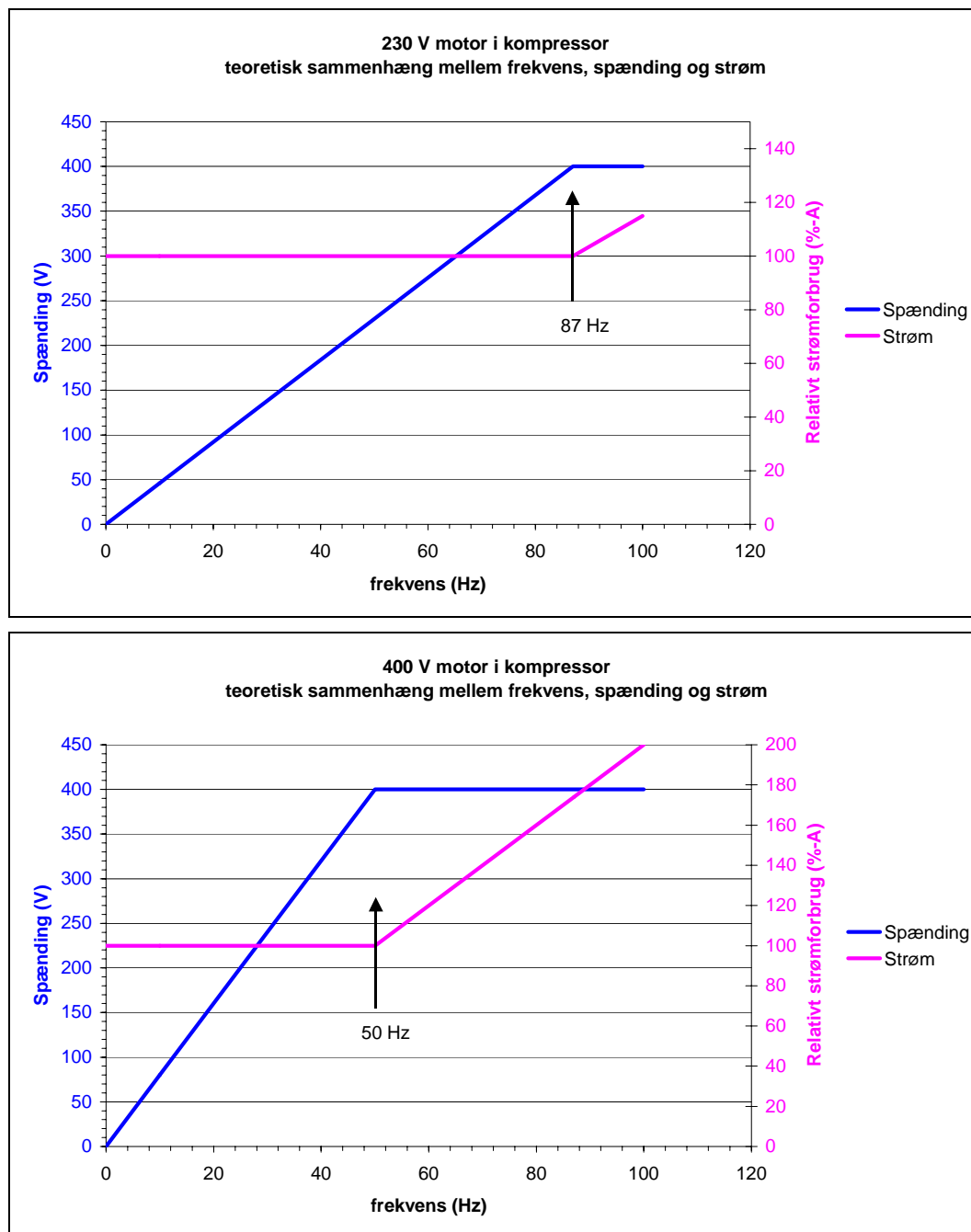
230 eller 400 volts motor?

Den trefasede asynkronmotor, som normalt anvendes i kompressorer, vil 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 typisk være høj selv ved lave omdrejningstal sammenlignet med andre anvendelser.

Valg af en 230 volts motor giver mulighed for at køre frekvenser op til 87 Hz, uden der vil ske en forøgelse af strømforbruget i motoren. Dette har stor betydning for afsætning af varme i motoren. Baggrunden er at udgangsspændingen fra frekvensomformereren ikke kan overstige netspændingen, hvilket betyder, at den maksimalt kan blive 400 volt. Det skal dog understreges, at strømmen vil

være kvadratrods 3 gange større, når der anvendes en 230 V motor, end når der vælges en 400 V udgave.

Princippet ses på figur 19:



Figur 19: Teoretisk sammenhæng mellem frekvens, spænding og strøm i 230 V og 400 V motor.

Som det ses, vil ampereforbruget teoretisk først stige, når frekvensen overstiger 87 Hz. I praksis er forholdene lidt anderledes, specielt ved faldende omdrejningstal. Men tendensen er klar – ønskes der mange driftstimer over 50 Hz, bør det overvejes at anvende en 230 V motor i kompressoren.

Omvendt bør det nævnes, at hvis kompressoren skal have mange driftstimer under 50 Hz, bør valget klart falde på en 400 V udgave, da der herved sikres højest mulige spænding og dermed lavest mulige strømforbrug.

Cylinderudkobling i kombination med behovsstyring?

Muligheden for at øge kapacitetsområdet for en frekvensreguleret kompressor ved ligeledes at anvende cylinderudkobling er nærliggende. Dette kan dog medføre samme problemer som nævnt under afsnittet vedr. 2- eller 4-cylindret kompressor.

Kompressortype – herunder reguleringsområde

Tidligere undersøgelser (ref. /2/) har vist, at ikke alle kompressortyper er lige egnede til omdrejningstalsregulering. Inden for de senere år er flere kompressortyper dog blevet godkendt til denne teknologi – eksempelvis ses nu flere Scrollkompressorer, der er både godkendt og egnede til omdrejningstalsregulering, dog er deres reguleringsområde væsentligt mere begrænset end for stempekompresorer.

Anlæg med flere kompressorer contra trinkobling

Generelt bør kompressorer med trinkobling ikke anvendes, da trinkoblingen giver anledning til høje tab ved lav last. I stedet for trinkobling bør der anvendes to eller flere kompressorer, der kan kobles ind efter behov, eller frekvensomformer (eller eventuelt en kombination af disse løsninger). Der er ikke væsentlig energimæssig forskel på, om der anvendes flere kompressorer eller frekvensomformer. Potentialt ved at anvende frekvensomformer eller kompressorindkobling er ca. 15% set i forhold til trinkobling. Reguleringsområdet for frekvensomformer skal dog vælges så bredt som muligt. Det er vigtigt at rådføre sig med leverandøren af kompressoren, da der som nævnt, både er en nedre og en øvre grænse for anvendelsen af kompressoren.

9.2 Køletekniske erfaringer

Der er gennem arbejdet med behovsstyrede køleanlæg gjort en række køletekniske erfaringer, herunder bl.a. erfaringer omkring valg af varmevekslere og termoventil. Valg af varmevekslere er simpelt og foretages på helt traditionel vis, ud fra højeste belastning og ønsket temperaturdifferens. Ligeledes kan termoventilen vælges på traditionel vis, og der har gennem forsøgsrækken ikke vist sig problemer med pendling eller manglende kapacitet.

9.3 Forhold omkring eltilslutning

Nogle vigtige forhold ved elinstallation i forbindelse med frekvensomformere

Det er brugerens eller installatørens ansvar at sørge for korrekt jording og beskyttelse efter gældende lokale og nationale normer.

Der er gennem projektforslaget fokuseret en del på elsikkerhed, som vurderes som ekstrem vigtig. Der er derfor i den udarbejdede vejledning givet en række forskrifter til, hvorledes elinstallation i forbindelse med frekvensomformere kan foretages korrekt. Her tænkes bl.a. på følgende forhold:

Jording

Følgende grundlæggende punkter skal overvejes ved installation for at opnå elektromagnetisk kompatibilitet:

- Sikkerhedsjording: Bemærk, at frekvensomformeren har høj lækstrøm og skal jordes forskriftsmæssigt af sikkerhedshensyn. Følg lokale sikkerhedsforskrifter.
- Højfrekvensjording: Hold jordledningsforbindelser så korte som muligt.

Kabler

Styrekabel og det filtrerede netkabel bør installeres adskilt fra motorkabler for at hindre støjoverkobling. Normalt vil en afstand på 20 cm være tilstrækkelig, men det anbefales at holde størst mulig afstand, hvor det er muligt, specielt hvor kabler installeres parallelt over større afstande.

Ekstra beskyttelse mod indirekte berøring

Fejlspejningsrelæer, nulling eller jording kan anvendes som ekstra beskyttelse, forudsat at lokale sikkerhedsmæssige normer overholdes. Ved jordfejl kan der opstå jævnstrømsindhold (DC) i afledningsstrømmen.

Brug aldrig et FI-relæ af typen A, da de ikke er egnede til DC-fejlstrømme. Anvendes FI-relæer skal det ske i henhold til lokale bestemmelser. Anvendes der FI-relæer, skal de være:

- Velegnet til beskyttelse af udstyr med et jævnstrømsindhold (DC) i fejlstrømmen (3-faset broensretter)
- Velegnet til indkobling med impulsformet, kortvarig afledning
- Velegnet til høj lækstrøm.

Der henvises i øvrigt til den udarbejdede vejledning, som giver en række yderligere anbefalinger omkring elinstallationen.

10 Projektformidling

Projektet og dets resultater er gennem projektførløbet blevet formidlet til kølebranchen ved flere lejligheder.

I det følgende er de vigtigste af disse formidlingsaktiviteter præsenteret:

- Workshop på DTU med titlen ”Energioptimal regulering af køleanlæg” 10. september 2002.
- Foredrag med titlen ”Behovsstyring” ved arrangement i Selskabet for Køleteknik hos Skare Meat Packers 19. februar 2004 af Claus S. Poulsen og Kenneth B. Madsen.
- Artikel med titlen ”Behovsstyring af mindre køleanlæg” af Claus S. Poulsen i HVAC Magasinet, nr. 6 / maj 2004.
- Artikel med titlen ”Behovsstyring kan spare energi” af Claus S. Poulsen i ScanRef, nr. 3 / juni 2004.
- Artikel med titlen ”Behovsstyring af plastkøleanlæg kan reducere energiforbruget med 30%” af Claus S. Poulsen i Plast Panorama Scandinavia (bringes senere).
- Workshop på Teknologisk Institut med titlen ”Styring og regulering af køleanlæg” 26. august 2004, med fire præsentationer af projektet gennemført af Jakob Fredsted fra Danfoss Drives, Frede Schmidt fra Lodam Elektronik, Niels From og Claus S. Poulsen, Teknologisk Institut.

Gennem projektførløbet har der desuden været rettet kontakt til relevante rådgivere på området, heriblandt eksempelvis rådgivere inden for de forskellige markedssegmenter. Projektet har endvidere ledt til en opfølgende aktivitet i form af nedsættelsen af en ”erfa-gruppe” bestående af interesserede aktører på området, et samarbejde, der er forsøgt formaliseret gennem ansøgning af et PSO-projekt om etablering af en netværksgruppe inden for styring, regulering og overvågning med titlen ”SRO-netværksgruppe for kølesystemer” (PSO-projekt nr.: 337-090).

Der er undervejs i projektførløbet blevet offentliggjort en række produktbeskrivelser for de udviklede produkter, herunder den nye styring fra Lodam Elektronik og en række produktblade fra Danfoss.

11 Perspektiver

Regulering af køleanlæg efter det aktuelle kølebehov og derigennem anvendelsen af frekvensregulering på kompressorer, ventilatorer og pumper er uden tvivl fremtidens reguleringsform.

Med en reduktion i energiforbruget på op mod 30% vil denne teknologi overskygge hovedparten af de andre energibesparende tiltag, der i øjeblikket ses. Men teknologien kan ikke stå alene. Den stiller krav til de køletekniske komponenter såvel som til det udstyr, der skal foretage selve reguleringen. Med dette menes, at hvor det tidligere var anerkendt f.eks. at forsyne anlæg med indtil flere termostater som supplement til den egentlige anlægsstyring, vil vi i fremtiden se en overgang til én central styring, der kan håndtere hele anlægget og de enkelte komponenter. Dette vil stille store krav til den enkelte producent/leverandør af komponenter – komponenterne skal kunne kommunikere med hinanden.

Med udviklingen inden for elektronikindustrien og tendenserne omkring intelligente komponenter, som også er ved at slå igennem på køleområdet, vil fremtiden med stor sandsynlighed bringe flere nye produkter på markedet, som allerede fra producentens side er forberedt til denne nye teknologi.

Inden for kompressortechnologien ses ligeledes flere meget positive tiltag, som alle giver forhåbning om teknologiens fremtid. For kun ganske få år siden var det nærmest utænkeligt, at forsøge at omdrejningstalsregulere en Scrollkompressor, hvor der i dag er et bredt udsnit af denne kompressortype, der er godkendt og egnet til reguleringsformen.

Men der hviler et stort ansvar både på kølebranchen og på deres kunder i denne udvikling. Stilles der ikke fremover skrappe krav til energieffektivitet fra kundernes side, og tilbyder kølebranchen ikke energieffektive løsninger, vil alle gode kræfter omkring effektiv regulering være spildt. Det må dog formodes, at komponentproducenterne og deres påvirkning af branchen kan få stor indflydelse på denne udvikling. Og netop på dette område ser udviklingen positiv ud. Næsten alle kompressorproducenter har i dag aktiviteter på området, og med eksempelvis Danfoss' meget aktive indsats inden for områderne kompressorer, frekvensomformere og totalløsninger inden for styringsautomatik vil branchen fremover blive guidet ind på det rigtige spor.

En anden parameter, der ser ud til at kunne påvirke udviklingen, er overgangen til indirekte kølesystemer (bl.a. som følge af HFC-udfasningen). Netop i denne type anlæg bør der stilles krav til "totalregulering" af hele kølesystemet, da individuel regulering i så komplekse anlæg vil medføre øget energiforbrug og problematisk drift.

HFC-udfasningen vil også kunne få andre positive konsekvenser og medvirke til, at udviklingen forceres. F.eks. vil det være nærliggende at kombinere højtryksregulering af transkritisk CO₂ med omdrejningstalsregulering af kompressoren. Og dette ses som endnu en oplagt mulighed for eks-presudvikling, da netop kølemiddelområdet er inde i en rivende udvikling i disse år, primært som følge af den planlagte HFC-udfasning.

Rent lovgivningsmæssigt bør myndighederne ligeledes deltage aktivt i udviklingen af effektive systemer eksempelvis gennem skærpede krav til energieffektivitet f.eks. via iværksættelse af nationale og internationale energimærkningsordninger. Sådanne initiativer ses allerede iværksat, og det må forventes, at der specielt for fabriksfremstillede køleanlæg (eksempelvis chillere) i nær fremtid vil

ses energimærkning, som med stor sandsynlighed vil medføre meget skærpede krav til de enkelte anlægsproducenter.

Ses på projektgruppen er udviklingen omkring anvendelse af den nye teknologi allerede i gang hos flere af de implicerede parter. Og det må formodes, at dette vil kunne påvirke kolleger i branchen til også at kaste sig ud i projekter, der har lignende karakter.

Projektets resultater vil også kunne påvirke udviklingen – især hvis beregningsprogram, vejledning og denne rapport bliver anvendt som redskaber i kølebranchen. Fremtiden vil dog stadig kræve udviklingsarbejde i takt med at udviklingen inden for de enkelte segmenter tager fart – specielt omkring emnet systemregulering formodes der at ligge en række nødvendige aktiviteter for at kunne drage fuld nytte af de enkeltes komponenters nye reguleringselektronik.

12 Referencer

- Reference /1/: Markedsundersøgelse, udført i projektet ”Behovsstyring af mindre køleanlæg ved hjælp af kompressorregulering”, Teknologisk Institut, marts 2002
- Reference /2/: Individuelle Eldrevne varmepumper, implementering af ny teknologi. – se www.teknologisk.dk/varmepumpeinfo
- Reference /3/: Værd at vide om frekvensomformere, Danfoss
- Reference /4/: ESO - Energoptimal Styring og Overvågning af Køleanlæg, EFP Projekt j.nr.: 1273/00-0023, www.et.dtu.dk/ESO

Andre nyttige links:

- Teknologisk Institut: www.teknologisk.dk
Danfoss: www.danfoss.com
Lodam Elektronik: www.lodam.com
Silkeborg Varmepumpe og Køleindustri: www.svk-industri.dk
Salling Vaske og Køleservice www.vagntanderup.dk

- Projektet: www.teknologisk.dk/behovsstyring

13 Bilag 1 – Specifikke måleresultater

13.1 Resultater Case 1 – Mælkekøleanlæg

	Uge nr.	Energi fjernet fra mælk (kWh)	Energi fjernet fra mælk (kWh)	Nytevirkning-Køleanlæg (-)	EI tilført til kompressor under køledrift (kWh)	Relativ gangtid kompressor (%)	Fremløbstemperatur vand ved kompressordrift (°C)	Brine returtemperatur til fordampere under køledrift (°C)	Middelt fordampningstemperatur under køledrift (°C)	Middelt kondenseringstemperatur under køledrift (°C)	Antal dage i drift (dage)	Energi fjernet fra mælk (kWh/dg)	EI tilført til kompressor under køledrift (kWh/dg)	EI tilført til kompressor under køledrift (kWh_ei/kWh_køling)
Førmåling	uge 26-2003	647	396	1.63	61.0	45.9	-6.4	-12.2	45.8	7	92.5	56.6	0.61	
	uge 27-2003	615	373	1.65	57.6	45.8	-6.4	-12.2	45.7	7	87.8	53.3	0.61	
	uge 28-2003	648	393	1.65	60.2	45.9	-6.2	-12.2	45.8	7	92.6	56.1	0.61	
	uge 29-2003	716	430	1.66	65.9	45.4	-5.7	-12.1	45.4	7	102.3	61.5	0.60	
	uge 30-2003	705	422	1.67	64.9	45.6	-5.7	-12.0	45.6	7	100.7	60.2	0.60	
	uge 31-2003	706	416	1.70	64.4	45.4	-5.6	-11.8	45.4	7	100.8	59.5	0.59	
	uge 32-2003	760	430	1.76	66.2	45.3	-5.4	-11.8	45.3	7	108.5	61.5	0.57	
Eftermåling	uge 33-2003	619	267	2.32	61.3	32.4	-4.5	-10.2	31.5	7	88.4	38.1	0.43	
	uge 34-2003	655	264	2.48	65.0	31.1	-4.2	-9.6	30.4	7	93.6	37.8	0.40	
	uge 35-2003	658	262	2.51	64.3	31.3	-4.2	-9.7	30.7	7	94.0	37.4	0.40	
	uge 36-2003	623	247	2.52	60.7	31.6	-4.4	-9.9	30.9	7	89.0	35.2	0.40	
	uge 37-2003	649	254	2.55	62.5	31.5	-4.4	-9.8	30.7	7	92.8	36.3	0.39	
	uge 38-2003	663	259	2.56	63.7	31.4	-4.3	-9.8	30.7	7	94.7	37.0	0.39	
	uge 39-2003	623	246	2.53	60.3	31.8	-4.4	-9.9	31.1	7	89.0	35.1	0.39	
	uge 40-2003	508	202	2.51	60.6	32.2	-4.3	-9.8	31.5	5,8	88.0	35.1	0.40	
	uge 41-2003	597	236	2.53	58.2	32.3	-4.5	-9.9	31.7	7	85.3	33.8	0.40	
	uge 42-2003	619	262	2.36	64.4	37.4	-4.1	-9.5	36.6	7	88.4	37.5	0.42	
	uge 43-2003	574	257	2.23	63.0	38.7	-4.2	-9.4	38.1	7	82.0	36.7	0.45	
	uge 44-2003	585	254	2.30	63.5	37.5	-4.4	-9.6	36.9	7	83.6	36.3	0.43	
	uge 45-2003	620	260	2.39	69.5	37.4	-4.4	-9.7	36.4	7	88.6	37.1	0.42	
	uge 46-2003	625	259	2.41	71.7	37.7	-4.5	-10.0	36.6	7	89.2	37.0	0.41	
	uge 47-2003	276	116	2.39	66.4	37.8	-4.3	-9.6	37.0	3,2	86.9	36.4	0.42	
	uge 48-2003	442	187	2.36	68.2	37.9	-4.7	-9.9	36.9	5,4	82.4	35.0	0.42	
	uge 49-2003	546	233	2.35	68.6	37.9	-4.9	-10.2	36.6	7	78.0	33.2	0.43	
	uge 50-2003	545	234	2.33	69.1	38.3	-5.4	-11.0	37.1	7	77.9	33.5	0.43	
	uge 51-2003	530	224	2.36	72.0	38.1	-5.6	-11.3	36.7	7	75.6	32.0	0.42	
	uge 52-2003	525	225	2.34	74.5	38.5	-5.8	-11.5	36.8	7	75.0	32.1	0.43	
	uge 01-2004	505	228	2.21	79.5	39.8	-6.5	-12.5	37.6	7	72.1	32.6	0.45	

Bemærkninger

Fra og med uge 42 er der foretaget indstilling af udetemperaturkompenseringen, således at der køres med forhøjet fremløbstemperatur til rumvarme.

I ugerne 40, 47 og 48 har målesystemet periodisk været ude af drift.

Figur 20: Måleresultater – case 1

13.2 Resultater Case 2 – Kartoffelkøleanlæg

	Uge nr.	Energi fjernet med køleanlæg (kWh)	El tilført til kompressor (kWh)	Nytevirkning-Køleanlæg (-)	Relativ gangtid kompressor (%)	Fremløbstemperatur vand ved kompressordrift (°C)	Brine returtemperatur til fordampere ved kompressordrift (°C)	Middel fordampningstemperatur ved drift - dew point (°C)	Middel kondenseringstemperatur ved drift - bubble point (°C)	Afgivet varmeenergi fra kondensatorbatter (kWh)	Solkorrigerede graddage/dag (GD)	Middel energiforbrug pr. kWh køling (kWh/kWh)
Førmåling	20-31/3 2004	3551	1011	3.51	44.2	21.0	3.4	-10.0	19.0	2983	10.6	0.285
Eftermåling	Uge 07 - 2004	1531	453	3.38	36.4	20.1	2.2	-7.4	18.5	1402	14.9	0.296
	Uge 08 - 2004	1673	424	3.94	35.5	19.9	2.5	-5.7	18.6	1344	11.4	0.254
	Uge 09 - 2004	1520	375	4.06	30.3	19.0	2.5	-7.7	17.4	1150	13.9	0.246
	Uge 10 - 2004	1630	415	3.93	32.7	19.9	2.6	-7.7	18.3	1263	11.7	0.254
	Uge 11 - 2004	1096	237	4.63	19.2	19.5	3.6	-3.1	18.4	694	11.3	0.216
Bemærkninger												
"Førmålingerne" - altså målinger med traditionel styring er foretaget umiddelbart efter måleperioden hvor den nye styring har været aktiv.												

Figur 21: Måleresultater – case 2

13.3 Resultater Case 3 – Vandkøleanlæg til plastvirksomhed

Uge nr.	Energi fjernet med køleanlæg (kWh)	El tilført til køleanlæg (kWh)	Nyttevirkning - køleanlæg (-)	Relativ gangtid kompressor - hele perioden (%)	Relativ gangtid kompressor i hverdage man-fre (%)	Vand returtemperatur fra tank ved kompressor drift (°C)	Middel fordampningstemperatur ved drift (°C)	Middel kondenseringstemperatur ved drift (°C)
Oprindeligt anlæg								
Uge 8 - 2004	1119	828	1.35	42.8	55.8	9.0	2.3	44.4
Uge 9 - 2004	1057	800	1.32	41.4	49.3	9.0	4.7	40.0
Uge 10 - 2004	1350	960	1.41	53.3	61.8	8.9	4.1	41.6
Uge 11 - 2004	954	719	1.33	44.7	48.3	9.1	4.0	40.1
Uge 12 - 2004	1012	713	1.42	38.2	52.5	8.8	0.1	46.4
Uge 13 - 2004	1073	725	1.48	42.4	59.7	8.9	1.7	42.8
Uge 14 - 2004	1221	786	1.55	44.6	58.9	8.9	1.6	41.5
Uge 15 - 2004	242	169	1.43	8.7	12.1	9.7	3.3	39.1
Ny styring og kompressor								
Uge 17-2004	1078	520	2.07	40.0	55.3	8.4	0.9	32.6
Uge 18-2004	1278	606	2.11	49.6	56.6	8.4	0.9	31.1
Uge 19-2004	1124	563	2.00	47.6	51.7	8.6	0.9	30.7
Uge 24-2004	1442	712	2.02	58.3	80.1	9.0	1.5	36.1
Uge 25-2004	1556	749	2.08	60.7	63.9	8.2	0.9	34.3
Uge 26-2004	1284	651	1.97	49.4	53.1	8.3	0.9	34.0
Uge 27-2004	952	526	1.81	37.0	50.6	8.3	0.9	33.9

Figur 22: Måleresultater – case 3

14 Bilag 2 – Måleudstyr

De gennemførte feltmålinger, der primært har haft til formål at demonstrere, at teknologien også i praksis kan implementeres, har været en central del af projektet. Der er på alle tre anlæg installeret et omfattende målesystem, som har bestået af en række hovedkomponenter, som kort er beskrevet i det følgende.

Elmålinger

Elmålingerne på de tre anlæg er foretaget vha. en effektransducer fra DEIF model multitransducer MTR-1, som løbende har registreret effektforbruget, og derigennem har anlæggenes samlede elforbrug kunnet fastlægges.

Temperaturmålinger

Registrering af temperaturer er gennemført vha. pt-100 elementer placeret på såvel kølesystem som på afgiver-/optagersystem.

Flowmåling

På sekundærsider er der monteret magnetiske flowmålere af typen Brunata HG volumenmålere.

Trykmåling

For at kunne registrere fordampnings- og kondenseringstryk på de tre anlæg er der monteret LP og HP Johnson transmittere på disse.

Dataopsamling

Selve dataopsamlingen er gennemført vha. en Agilent Datalogger type 34970A og en PC med et specielt udviklet LabView program. Alle tre PC'ere er monteret med modemopkobling og NetOp, der sikrer at disse kan fjernovervåges.

Figur 23 viser et skærmdump fra dette program.

Koel.vi

File Edit Operate Windows Help

Spændingsmåling:
 CH2: Flowmåler1 0-10[V]
 CH3: Flowmåler2 0-10[V]
 CH4: LP 0-10[V]
 CH5: HP 0-10[V]
 CH6: Deif 0-10[V]
 CH7: Fugtfele1 0-10[V]
 CH8: Fugtfele2 0-10[V]
 CH21: Strøm 4-20 [mA]

Instr. Com1 (ASRL1)
 ASRL1
 Scan Volt (101:107) 102:108
 Scan Strøm (121) 121
 Scan Modstand PT100 (201,210) 201:210

Samplingtid [sek.] 5
 Middelverdi [sek.] 50
 Stop

Strøm - CH21: 0,00
 Effekt [kW] : 500 * [mA] 0,00

Kort 1:
 Spændingsmåling efter korr
 Spændingsmåling uden korr

	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8
Efter korr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Uden korr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Kort 2:
 Modstandsmåling efter korr
 Modstandsmåling uden korr

	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10
Efter korr	-259,83	-259,83	-259,83	-259,83	-259,83	-259,83	-259,83	-259,83	-259,83	-259,83
Uden korr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Spænding korrektion:
 CH1 : Alfa1 1,00 Konst1 0,00
 CH2 : Alfa2 1,00 Konst2 0,00
 CH3 : Alfa3 1,00 Konst3 0,00
 CH4 : Alfa4 1,00 Konst4 0,00
 CH5 : Alfa5 1,00 Konst5 0,00
 CH6 : Alfa6 1,00 Konst6 0,00
 CH7 : Alfa7 1,00 Konst7 0,00

Modstand korrektion:
 CH1 : Alfa1 2,59740 Konst1 -259,831
 CH2 : Alfa2 2,59740 Konst2 -259,83
 CH3 : Alfa3 2,59740 Konst3 -259,83
 CH4 : Alfa4 2,59740 Konst4 -259,83
 CH5 : Alfa5 2,59740 Konst5 -259,83
 CH6 : Alfa6 2,59740 Konst6 -259,83
 CH7 : Alfa7 2,59740 Konst7 -259,83
 CH8 : Alfa8 2,59740 Konst8 -259,83
 CH9 : Alfa9 2,59740 Konst9 -259,83
 CH10: Alfa10 2,59740 Konst10 -259,83

Strøm korrektion:
 CH21 : Alfa8 1,00 Konst8 0,00

Middelverdier:
 Spænding PT100
 strøm
 Effekt
 4,16
 2,32
 0,00
 0,00
 0,00
 0,00
 0,00
 0,00
 0,00

Figur 23: Skærbillede – dataopsamlingsprogram