

# Reduktion af den interne el-belastning i kølemøbler til supermarkeder

PSO projektnr.: 338-012

Klaus Frederiksen, Christian Heerup  
Teknologisk Institut  
Juni 2010

# Indhold

<b>FORORD</b>	<b>3</b>
<b>SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER</b>	<b>4</b>
<b>1 BAGGRUND</b>	<b>5</b>
1.1 ENERGIFORBRUG	5
1.2 AFRIMNING	6
1.3 RUDE- OG KANTVARME	6
<b>2 FORSØGSOPSTILLINGER</b>	<b>8</b>
2.1 VALG AF MØBLER	8
2.2 FORSØGSOPSTILLING	8
2.3 BEREGNING AF KØLEYDELSE	11
<b>3 ETABLERING AF BASELINE</b>	<b>13</b>
3.1 KØLEMØBEL	13
3.1.1 <i>Opsummering</i>	15
3.2 FRYSESKAB	16
3.2.1 <i>Opsummering</i>	18
<b>4 EKSTRA BASELINETEST I FRYSESKAB</b>	<b>19</b>
4.1 OPSÆTNING	19
4.2 ENERGIFORBRUG MED STANDARDINDSTILLINGER VED FORSKELLIGE DRIFTSPUNKTER	20
4.2.1 <i>Kondens</i>	20
4.3 RESULTATER MED ÆNDREDE INDSTILLINGER	21
4.3.1 <i>Energiforbrug</i>	21
4.3.2 <i>Kondens</i>	22
4.4 OPSUMMERING	23
<b>5 OPTIMERING</b>	<b>25</b>
5.1 KØLEMØBEL	25
5.2 FRYSESKAB	25
5.2.1 <i>Kantvarme</i>	25
5.2.2 <i>Afrimning</i>	28
<b>6 VALIDERING</b>	<b>30</b>
6.1 KØLEMØBEL	30
6.2 FRYSESKAB	33
6.2.1 <i>Test</i>	34
6.2.2 <i>Opsummering</i>	36
<b>7 DISKUSSION</b>	<b>37</b>
7.1 KØLEREOL	37
7.2 FRYSESKAB	37

---

# Forord

Formålet med projektet var at reducere el-forbruget til kant- og rudevarme samt til afrimning i kommercielle køle- og frysemøbler i supermarkeder. Resultaterne i projektet har vist, at en reduktion af den interne el-belastning også vil betyde en el-besparelse på kompressor anlægget, da varmebelastningen i køle- og frysemøblerne reduceres. Samtidig medfører det forbedrede temperaturforhold i møblet med forbedret fødevarekvalitet til følge.

Projektgruppen har udelukkende set på optimal styring af de el-forbrugende komponenter med det formål at minimere el-forbruget. Der er således ikke fokuseret på møblernes fysiske design eller geometri.

I dag anvendes løsningerne, som er dokumenterede i projektet, i en række danske supermarkeder.

Projektets organisation bestod af følgende:

Teknologisk Institut, Center for Køle- og Varmepumpeteknik

- Klaus Frederiksen
- Christian Heerup

Danfoss A/S

- Christian Bendtsen

Superkøl A/S

- Tom Gøtttsch

Der skal fra projektlederens side rettes en tak til projektgruppen og naturligvis til ELFORSK-programmet.

Juni 2010

Klaus Frederiksen, Projektleder

Teknologisk Institut, Center for Køle- og Varmepumpeteknik

# Sammenfatning og konklusioner

## *Formål med projektet*

Der er i dette projekt fokuseret på de besparelser, der ligger i en mere optimal styring af de el-forbrugende komponenter i køle- og frysemøbler i supermarkeder. I dette projekt er der fokuseret på styring af afrimning og pulsdrift på kant- og rudevarme.

I projektet har fokus især været rettet mod de barrierer, der findes for at indføre mere intelligente styringsmetoder. For drift af køle- og frysemøbler har det således primært været hensynet til driftsikkerheden, der har betydet, at mere intelligente styringsmetoder ikke har vundet indpas. I projektet skal der derfor udvikles metoder og strategier, der valideres gennem test, således at implementering er mulig uden store risici.

## *Resultat af projektet*

Som et resultat af projektet er det dokumenteret, at det ved en mere intelligent styring af el-forbrugende komponenter i køle- og frysemøbler er muligt at opnå væsentlige direkte og indirekte besparelser. Mere specifikt har resultaterne medvirket til, at der i dag findes styringer til køle- og frysemøbler på markedet, der indeholder en mere intelligent styring af internt elforbrug.

I projektet er forskellige baselines udført med henblik på præcist at dokumentere elforbruget for et traditionelt møbel under drift. Herefter er gennemført en række nye test, hvor nye strategier for styring af afrimning og pulsdrift på kant- og rudevarme er implementeret. Det har været en væsentlig del af projektet at kunne dokumentere, at nye strategier ikke medfører en risiko for, at møblet ikke afrimmes tilstrækkeligt, eller at møblet fremstår med dug løbende ned af ruder mv.

## *Konklusion*

Igennem projektet er det dokumenteret, at det er muligt at bruge afrimning, kant- og rudevarme mere intelligent vha. nyudviklede elektroniske styringer. Det er også dokumenteret, at dette kan lade sig gøre uden at risikere en uheldig drift af køle- eller frysemøblet.

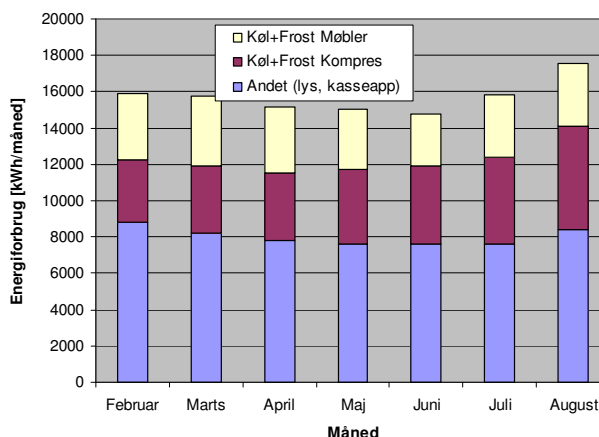
Konklusionen på projektet er, at det er muligt at spare op til ca. 15% af det totale energiforbrug på kølemøbler ved anvendelse af adaptiv kantvarmestyring og afrimning. Projektet har endvidere vist, at der ved anvendelse af disse værktøjer kan opnås en bedre temperaturkvalitet i møblerne, samt at der ikke umiddelbart kan konstateres problemer med kondensdannelse.

# 1 Baggrund

## 1.1 Energiforbrug

Energiforbruget til køl og frys i supermarkeder ligger på omkring 600 GWh/år. Dette energiforbrug ligger rimeligt konstant på trods af, at den installerede kapacitet faktisk er stigende. Dette skyldes primært, at køleanlæggene er blevet mere effektive. Elforbruget til køle- og fryseanlæggene udgør i større supermarkeder 40-50% af supermarkedets totale el-forbrug, mens det i mindre supermarkeder udgør helt op til 60 - 70% (resten går til butiksllys, kasseapparater, papkassepresse osv.). Denne andel er imidlertid faldende primært pga. af et faldende el-forbrug til kompressor anlægget (mere optimal design og bedre komponenter). Det er således primært el-forbruget til kompressor anlægget, der gennem de seneste år er blevet reduceret. Fra at udgøre 60-65% af køle- og fryseanlæggets totale energiforbrug er dette nu nede på ca. 50%.

Det skyldes, at el-forbruget til køle- og frysemøblernes el-forbrugende komponenter (lys, kant- og rudevarme, ventilatorer og afrimning) ikke er blevet reduceret mærkbart. SuperKøl måler løbende på deres FAKTA-butikker, som de servicerer. Målinger på en referencebutik i Bellinge viser følgende:



Figur 1: El-forbrug i FAKTA-butik.

Det kan ses af figuren, at el-forbruget til køl og frys udgør ca. halvdelen af det totale el-forbrug i et supermarked (mest om sommeren og mindre om vinteren). Køle- og frysemøblernes elforbrug ligger på 50% af køle- og frostanlæggets elforbrug om vinteren og omkring 40% om sommeren. Der ligger således et potentiale for energibesparelser gemt her, og nærværende projekt vil derfor forsøge at reducere energiforbruget.

Umiddelbart er det ved dette projekts igangsættelse vurderet, at det interne elforbrug kan reduceres med op til 15 - 20%. Dette giver et besparelspotentiale på 45 GWh/år. Med en besparelse på den interne el-belastning i køle- og frysemøblerne vil der også opnås en besparelse på kompressor anlægget, da den nedsatte el-belastning vil nedsætte kølebehovet. Da ca. halvdelen af møblernes varmebelastning kommer fra de interne el-forbrugende komponenter (den anden halvdel kommer fra infiltration af varm og fugtig luft), giver det en besparelse på yderligere 37 GWh/år. Samlet betyder det et besparelspotentiale på 82 GWh/år.

Samtidig med at de interne varmebelastninger i køle- og frysemøbler reduceres, forbedres temperaturkvaliteten i møblerne med forbedret fødevarer kvalitet til følge. Dette ligger i rød tråd med landets strategier på fødevarer siden (bl.a. Smiley-ordningen).

Projektet sigtede i første omgang efter at undersøge en række forskellige elforbrugende komponenter i kølemøbler herunder også ventilatorer og belysning. Hvad angår sidstnævnte, har det i projektet ikke været relevant at kigge på disse, da der allerede i dag er ventilatorer og belysning på markedet, der bruger meget lidt el. Ofte kan det faktisk betale sig at udskifte ventilatorer i eksisterende møbler.

## 1.2 Afrimning

Frysemøbler er udstyret med elvarmelegemer integreret i fordamperen, og deres funktion er med mellemrum at smelte eventuel is dannet på fordamperen. Typisk vil der på fordamperen, hvis overfladetemperaturen er under frysepunktet for vand, ske en opbygning af is. Det skyldes, at luften, der suges ind i frysemøblet, indeholder fugt, og at luften ved afkøling i fordamperen vil afsætte denne fugt som is. Det vil være nødvendigt at lave en afrimning, når islaget får en vis tykkelse. Et ganske tyndt lag is på fordamperen forbedrer faktisk fordamperens ydelse kortvarigt, men efterhånden som der sker en opbygning af is, daler fordamperens ydeevne pga. isens isolerende virkning.

Hvor hurtigt denne tilrimning finder sted afhænger af en række faktorer, herunder luftfugtigheden i butikken, hvordan fordamperen fyldes med kølemiddel og antal døråbninger i et skab (luftindtrængning). Der er således typisk betragtelige forskelle i forhold til, hvor i en given butik møblet er placeret. Er møblet fx placeret tæt på en grønsagsafdeling, hvor luften måske befugtes, vil dette resultere i en øget tilrimning. Et frysemøbel vil traditionelt udføre denne afrimning 2-3 gange i døgnet. Hvorledes denne afrimning sættes i gang, afhænger af, hvilken fordamperstyring, der anvendes. Anvendes en elektronisk regulator til styring af en elektronisk ekspansionsventil, vil denne typisk indeholde muligheden for at indlægge afrimninger i en kalender, som regulatoren så igangsætter. På simple installationer kan der være tale om et timerur, der tænder elvarmelegemet.

Ovenstående gælder primært for frysemøbler, hvor temperaturen i møblet er under frysepunktet. For kølemøbler, hvor temperaturen i møblet er over frysepunktet, anvendes i stigende grad stille afrimning. Stille afrimning betyder, at isen på fordamperen smeltes ved at cirkulere luften i møblet over fordamperen. Der anvendes altså ingen el til en stille afrimning.

I begge tilfælde gælder, at en manglende afrimning vil føre til et højere energiforbrug for køleanlægget, men mere væsentligt vil temperaturen i møblet kunne stige, da luften ikke kan cirkuleres effektivt gennem fordamperen og videre ud til varerne i møblet.

I nærværende projekt er det blevet undersøgt, hvorledes elafrimning i frysemøbler kan minimeres, og for kølemøbler er det undersøgt, hvorledes stille afrimning kan anvendes.

## 1.3 Rude- og kantvarme

Køle- og frysemøbler er udstyrede med varmelegemer i kanter og i ruder for at sikre, at der ikke dannes kondens. Dette sker ved at sørge for, at temperaturen på flader og ruder altid er over luftens dugpunkt. En dugget rude i et køle- eller frysemøbel giver ikke kunden en særlig god købeoplevelse, ligesom kondens kan resultere i rustne hængsler mv. Kantvarmen anvendes typisk rundt i karmen på lukkede møbler med døre og på kantflader af åbne møbler, hvor udsivning af kold luft ellers ville køle overfladen ned under luftens dugpunkt. Hvor meget varme, der kræves i kanten eller ruden, afhænger i høj grad af den omgivende lufttemperatur, ligesom temperaturen i møblet også spiller en rolle.

Typisk vælges derfor at indstille kant- og rudevarmen, så man altid er på den sikre side. Det betyder, at der anvendes mere el på kant- og rudevarme, end hvad der er nødvendigt, da indstillingen tager højde for de værste tilfælde. På nedenstående figur ses en rude, hvorpå der tydeligt er dannet kondens.



*Figur 2: Kondens på fryseskabets ramme.*

Tilførsel af varme til kant og rude finder typisk sted ved at pulse på varmelegemerne, da elektroniske styringer allerede i dag tilbyder denne funktion. Som nævnt tidligere, finder denne pulsning dog sted med det værste tilfælde for øje.

I projektet fokuseres på at styre kantvarmen mere hensigtsmæssigt, således at denne tilpasser sig efter luftfugtigheden i butikken.

## 2 Forsøgsopstillinger

### 2.1 Valg af møbler

Det blev i starten af projektet besluttet, at forsøgene i projektet skulle finde sted på 2 forskellige typer af møbler. Dels på et fryseskab og dels på en åben kølereol. Begge er repræsentative for de typer møbler, der findes i supermarkederne i dag. Det skal dog nævnes, at der i nogle nyere butikker anvendes indbyggede køle- og fryserum, hvor kunderne åbner en glasdør ind til et relativt større rum, der også fungerer som butikens lager.

Det valgte fryseskab er af typen Brema fra den italienske producent Arneg. Der er tale om et fryseskab med to døre, hvori der typisk opbevares is eller andre frosne produkter.

Det valgte kølemøbel er af typen Manila, som også kommer fra den italienske producent Arneg. Der er tale om et åbent kølemøbel, også kaldet en kølereol, hvori der typisk opbevares forskellige typer pålæg og lignende.

### 2.2 Forsøgsopstilling

For møblerne gælder, at de skiftevis installeres i klimakammer, hvor de pakkes med vanddunke og prøvepakker. I en del af prøvepakkerne installeres en temperatursensor inde i pakken, således at pakkens kerntemperatur kan følges. For kølemøblet ser opstillingen således ud:



*Figur 3: Forsøgsopstilling i kølemøbel.*

I forsøgsopstillingen ses, hvorledes kølemøblet er pakket med dunke, som er fyldt med vand. Imellem dunkene er der prøvepakker for dels at få en jævn pakning af møblet og for at måle kerntemperaturer i udvalgte pakker.



I bunden af kølemøblet installeres en transparent plade, så fordampere kan overvåges visuelt for tilrimning.



*Figur 4: Fordamper i kølemøbel.*

For fryseskabet er opstilling og pakning af møbel tilsvarende, som det fremgår på nedenstående billede:



*Figur 5: Fryseskabet pakket med dunke og prøvepakker.*

For køling af hhv. fryseskab og kølemøbel installeres et kondenseringsaggregat fra Copeland, der tilkøbes det enkelte møbel i forbindelse med test af dette.

Aggregatet er leveret med en LP/HP-pressostat serviceventil på suge- og tryksiden af kompressoren samt på afgang fra receiveren. Det betyder, at al kølevæske har kunnet samles i receiveren ved servicering af opstillingen.

På aggregatet findes en væskeledning til kompressoren, der gør det muligt at køle gasen i kompressoren under kompressionen. Ledningen er tilsluttet kompressoren via en DTC-ventil, hvis åbning styres via et kapillarrør med temperatursensor, monteret i trykgassen. På denne måde opnås en højere ydelse samtidig med, at trykrørstemperaturen begrænses og kompressorens arbejdsområde udvides.

Det er ikke muligt at regulere kapaciteten af kompressoren, så derfor monteres en hotgas bypass, hvor en del af hotgassen ledes direkte tilbage til kompressoren. I bypasset monteres en Danfoss KVC-ventil, der ved at måle på sugetrykket styrer mængden af hotgas tilbage til kompressoren. Faldende sugetryk kompenseres altså gennem KVC-ventilen med øget tilbageføring af hotgas. Ventilen er justeret til at opretholde et min. sugetryk, der er lavere end møblerne kræver men inden for kompressorens arbejdsområde.

Grunden til installering af hotgas bypass er, at testen af møblet ikke skal påvirkes af start/stop på kondenseringsuniten.

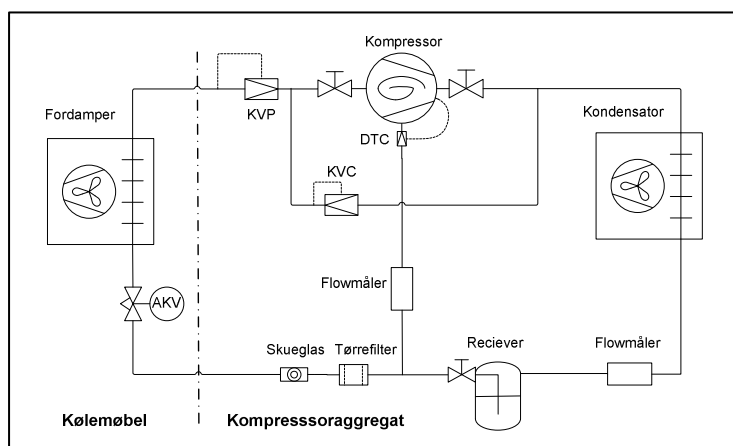
Der ønskes et konstant fordampningstryk for test af kølemøblerne. Dette sikres med en fordampningstrykregulator (Danfoss KVP). Denne ventil er monteret efter fordamperen, og ved at regulere efter fordampningstrykket bestemmer den mængden af gas, der sendes til kompressoren.

Ved et hotgas bypass stiger temperaturbelastningen på kompressoren, og derfor er væskeindsprøjtningen med DTC-ventilen nødvendig for at sikre, at der ikke opstår utilladeligt høje temperaturer i kompressoren.

Fordamperen i systemet er monteret direkte i møblet, så derfor kobles møblet direkte på aggregatet. I væskeledningen umiddelbart før fordamperen monteres skueglas og en AKV-ekspansionsventil.

Der monteres 2 flowmålere på systemet. En umiddelbart efter kondensatoren og en på den væskeledning, der fører kølemiddel frem til DTC-ventilen. Flowet til fordamperen beregnes ved, at det totale flow fra kondensatoren fratrækkes flowet til væskeindsprøjtningen.

Måling af flow sker med Siemens flowmålere. Begge målinger sker efter kondensatoren og før DTC-ventilen, så der er tale om målinger på væske. Derfor skal det sikres, at der ikke er gasbobler i væskeledningerne, da dette vil give anledning til fejlmålinger i flowmålerne. Det vurderes, at væsken umiddelbart efter den luftkølede kondensator vil være tilstrækkeligt underkølet, så flowmåling ikke vil være et problem. Det giver følgende tegning af det samlede system:



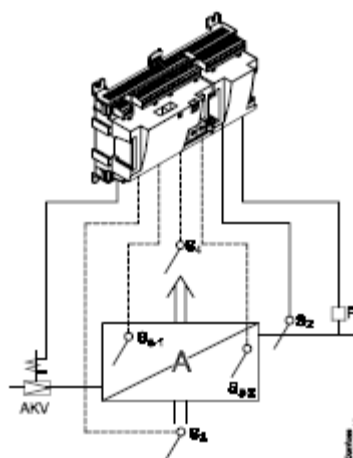
Figur 6: Tegning af køleanlægget.

Til styring af fordamperen i møblet installeres en elektronisk styring fra Danfoss, der dels styrer den elektroniske ekspansionsventil, men også giver mulighed for at styre kant- og rudevarme samt afrimning. Der er tale om modellen AK2-CC 303A, der er en del af en større serie AK, hvor forskellige modeller kan styre et mindre/større antal fryse- og kølemøbler.



Figur 7: Billede af regulator.

På nedenstående ses, hvorledes regulatoren kobles op med tryk- og temperatur-sensorer.



Figur 8: Installering af Danfoss-regulator.

### 2.3 Beregning af køleydelse

Den optagne energi på kølemiddelsiden bestemmes ved hjælp af nedenstående formel. Køleydelsen er lig med masseflow af kølemiddel ganget med entalpiforskellen mellem ind- og udløb på fordamperen. Masseflowet måles som tidligere beskrevet. Tryk og temperatur før ventilen og efter fordamperen anvendes til at beregne forskellen i entalpi. Værdierne for masseflow samt tryk og temperatur opsamles under målingerne ved hjælp af en datalogger. Ved beregningerne anvendes EES (Engineering Equation Solver).

$$Q_{køl} = m_{køl} \cdot \Delta h_{køl} = (m_{kondensator} - m_{væskeindsp.}) \cdot \Delta h_{køl}$$

Den optagne effekt fra elnettet beregnes for et virtuelt driftspunkt, der afspejler de gennemsnitlige driftsforhold over et år. Der anvendes følgende formel:

$$P_{net} = Q_{køl} / COP_{\text{årsmiddel}}$$

Den beregnede optagne effekt midles over måledøgnet og multipliceres med antallet af driftstimer:

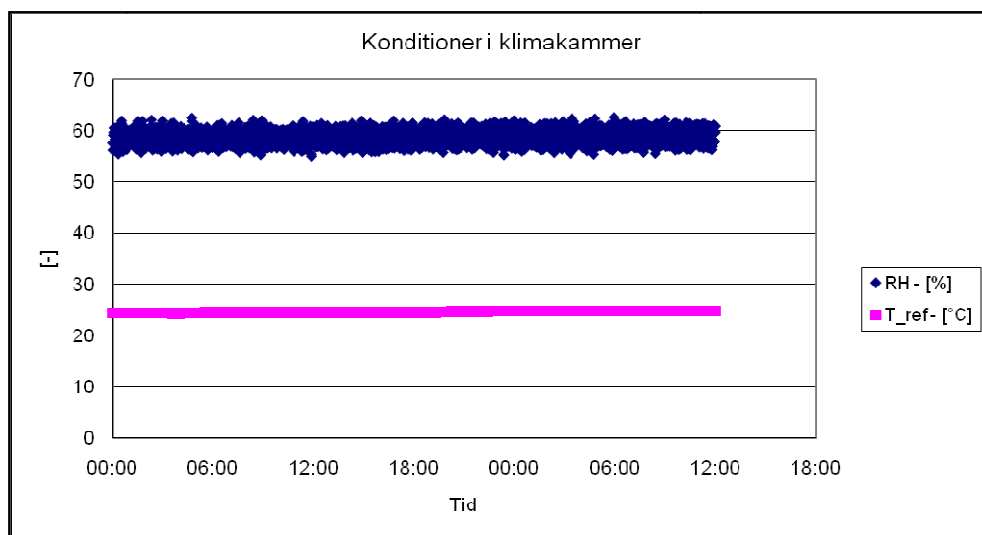
$$Forbrug = P_{net} \cdot driftstimer [kWh]$$

Dette forbrug fremgår af tabellerne for de respektive målinger.

# 3 Etablering af baseline

## 3.1 Kølemøbel

Klimakammeret konditioneres til 25°C, og der fastholdes en luftfugtighed på 60%. Dette svarer til klimaklasse 3, jf. den europæiske standard EN ISO 23953. Det er valgt at teste efter denne condition, da en baseline ved dette punkt er sammenlignelig med de oplysninger, leverandøren angiver for møblet.



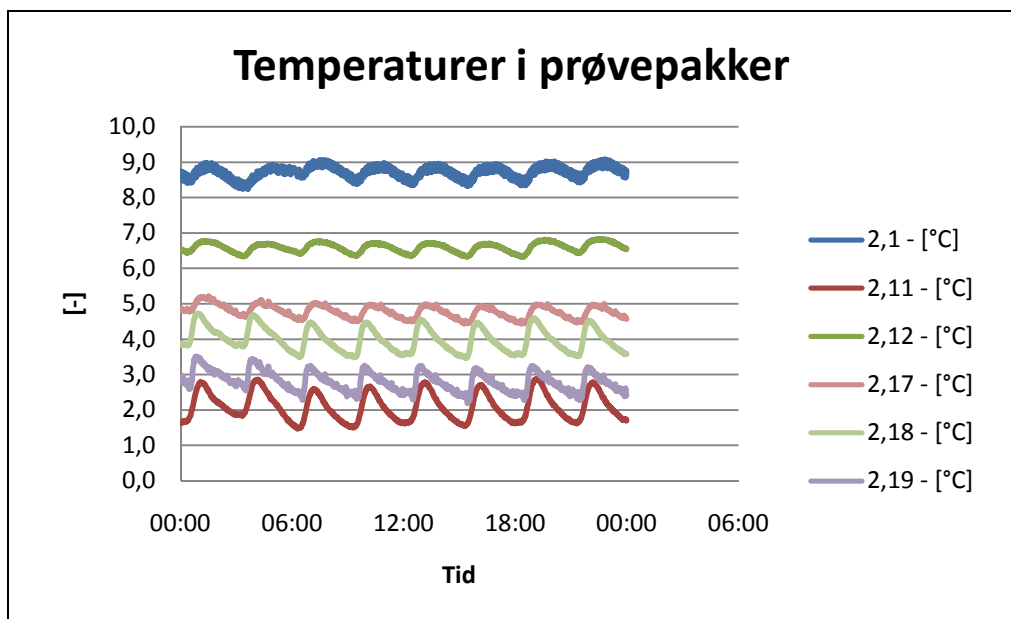
Figur 9: Konditioner i klimakammer.

Ved test af kølemøbler anvendes prøvepakker, hvori der er installeret temperatursensorer til at dokumentere temperaturen i møblet. Dette gøres også i dette forsøg, men i forhold til den europæiske standard EN ISO 23953, som er nævnt øverst i dette afsnit, modereres testen. Ifølge standarden ville der skulle installeres 81 prøvepakker med temperatursensorer for at leve op til kravene. Det vurderes at være unødvendigt med 81 prøvepakker i dette forsøg, da det først og fremmest gælder om at få etableret en baseline med traditionel udført afrimning, så den kan sammenlignes med test, hvor andre strategier for afrimning anvendes. Da alle test foretages på samme møbel, vurderes det at være en troværdig løsning. Der installeres således 6 prøvepakker, hvorpå der måles kermetemperatur, ligesom lufttemperaturen måles i 13 punkter i møblet.



Figur 10: Placering af prøvepakker.

Således udføres testen, hvori møblet reguleres og drives, som det normalt ville være blevet i et supermarked. I første omgang indreguleres opstillingen, og når stabile konditioner er opnået og fastholdt i minimum 24 timer, startes en 24 timers test. Nedenstående viser temperaturen i prøvepakkerne under testen:

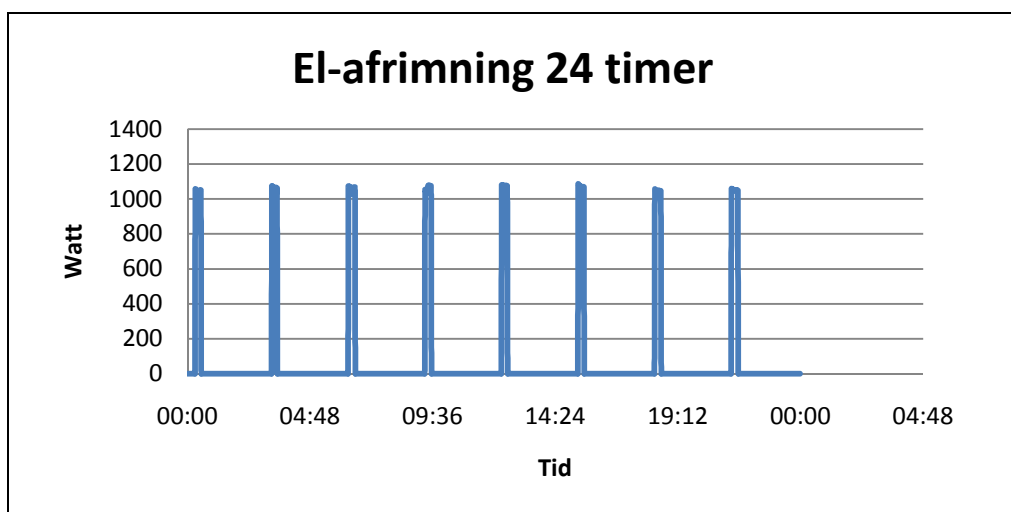


Figur 11: Temperatur i prøvepakker.

På grafen ses, at 2 af pakkerne er varmere end 5°C, og de overholder således ikke kriteriet for en bestået test. De 2 pakker, der er varmere end tilladt, er pakke 2.1 og 2.12. Disse er placeret nederst i møblet i hvert sit hjørne. Hvorfor netop disse pakker ikke overholder kravene til et sådant møbel, kan der være mange årsager til. En af årsagerne er formentlig, at lufttæppet der er svagest, og derfor infiltreres af varm luft fra klimakammeret.

I forhold til dette projekt vil der ikke blive gjort mere ved det, da det først og fremmest er sammenligningen mellem forskellige driftsmetoder for el-forbrugende komponenter, der er interessant og ikke design og performance af kølemøbler.

Nedenstående graf viser el-afrimning i testens forløb:



Figur 12: El-afrimning i kølemøbel.

Varmelegemet er på ca. 1000 W, og der afrimes 8 gange af ca. 15 minutters varighed pr. 24 timer. Dette giver et samlet forbrug til afrimning på 2 kWh pr. døgn i denne baseline. Andre vigtige data fra baseline, der anvendes i det videre forløb, er listet i nedenstående.

	Effekter		Forbrug	
Kølebehov kølemøbel	3500	W	34	kWh
Kantvarme/lys/ventilator	385	W	9	kWh
Afrimning	1050	W	2	kWh
Samlet forbrug			45	kWh

Figur 13: El-forbrug i kølemøbel.

Det ses, at kølebehovet for møblet udgør den største del af det optagne forbrug. Det ses også, at kantvarme, ventilatorer og lys optager væsentlig mere el end varmelegemet for afrimning.

Gennemsnit prøvepakker		4,8	°C
Gennemsnit lufttemperaturer		5,8	°C

Figur 14: Temperaturer på prøvepakker og luft i kølemøbel.

Af ovenstående ses, at gennemsnittet af prøvepakkerne netop holder sig inden for kravet for en standard test af et sådant kølemøbel. For lufttemperaturen ses, at denne er en grad højere end den gennemsnitlige pakketemperatur. Dette tilskrives, at de 13 målepunkter alle er monteret yderst på hylder, og at de derfor er meget modtagelige for varmeindfald.

### 3.1.1 Opsummering

Testen for etablering af baseline viste, at møblet lige knapt kan leve op til kravene jf. en standardiseret test af møblet. Dette vedkommer ikke dette projekt, da der er fokus på optimering af el-forbrugende komponenter. Derfor er det først og fremmest sammenligningen mellem forskellige metoder, hvorpå afrimning og kantvarme kan styres, der er relevant.

For elforbruget for møblet kan konstateres, at køleanlægget forventeligt optager størstedelen. Den næststørste del optages af kantvarme, lys og ventilatorer. Med hensyn til optimering af disse, skønnes det ikke relevant for dette projekt. For lys og ventilatorer findes i dag komponenter, der bruger væsentligt mindre el end på dette møbel. Fx anvender dette møbel 4 ventilatorer på hver 33 W. I dag anvendes typisk ventilatorer på hver 8 W. For kantvarmen gælder, at denne optager ca. 100 W. På trods af at dette akkumulerer til ca. 2,4 kWh/døgn, som er mere end det, der anvendes på afrimning, fokuseres i det videre testforløb på at optimere mht. afrimning, således at denne kan foretages mere hensigtsmæssigt. Det forventes, at erfaringerne med reduktion af elforbruget til kantvarme på frostskalet kan overføres til kølemøblet, men at implementeringen i praksis vil afhænge af omkostninger til eventuel udskiftning af regulatorer.



## 3.2 Fryseskab

For at udføre testen så tæt på den europæiske standard EN ISO 29953 som muligt installeres 54 prøvepakker i fryseskabet med temperatursensorer. Forsøgsopstillingen ser således ud, og opfylder i grove træk kravene i EN ISO 29953 bl.a. mht. døråbninger<sup>1</sup>:



Figur 15: Fryseskabet er pakket.

For fryseskabet udføres først en test med traditionelle indstillinger, så der opnås en baseline, som eventuelle ændringer kan holdes op imod. Således anvendes følgende parametre for en baselinetest:

- Temperaturer
  - Cut out -21,0° C
  - Diff. 2 K
  - Natsenkning 1 K
  
- Afrimning
  - Min. tid mellem afrimninger 120 min.
  - Ventilator drift ved afrimning "No"
  - Pump down forsinkelse 0 min.
  - Drypforsinkelse 0 min.
  - Ventilatorforsinkelse 0 min.
  - Ventilatorforsinkelse -5°C
  - Max. holdetid 20 min.

### Afrimning udføres 2 gange dagligt

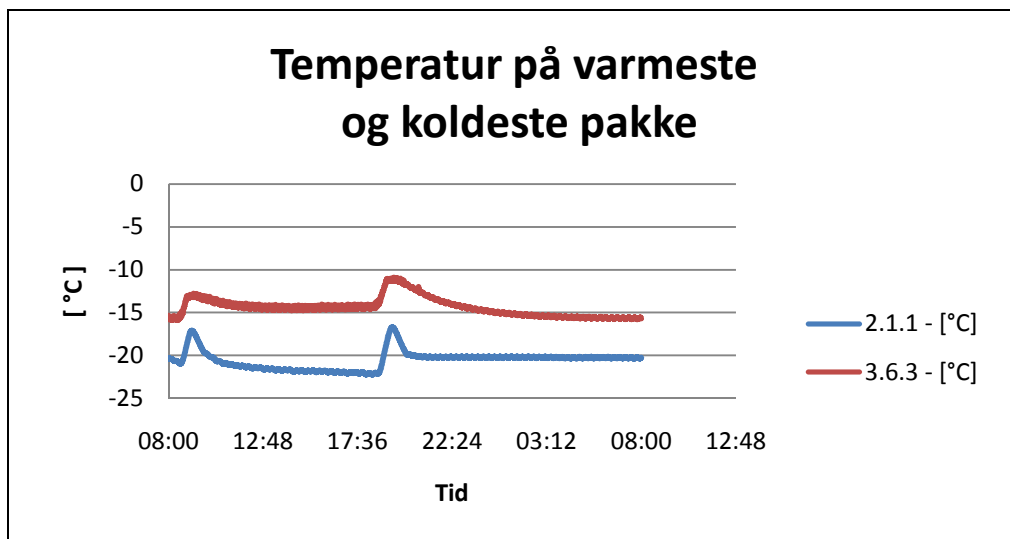
- Kantvarme
  - Kantvarme ON dag 80%
  - Kantvarme ON nat 30%
  - Kantvarme cykletid 6 min.
  - Kantvarme under afrimning Ja

---

<sup>1</sup> Dørene åbnes hvert 10. minut.

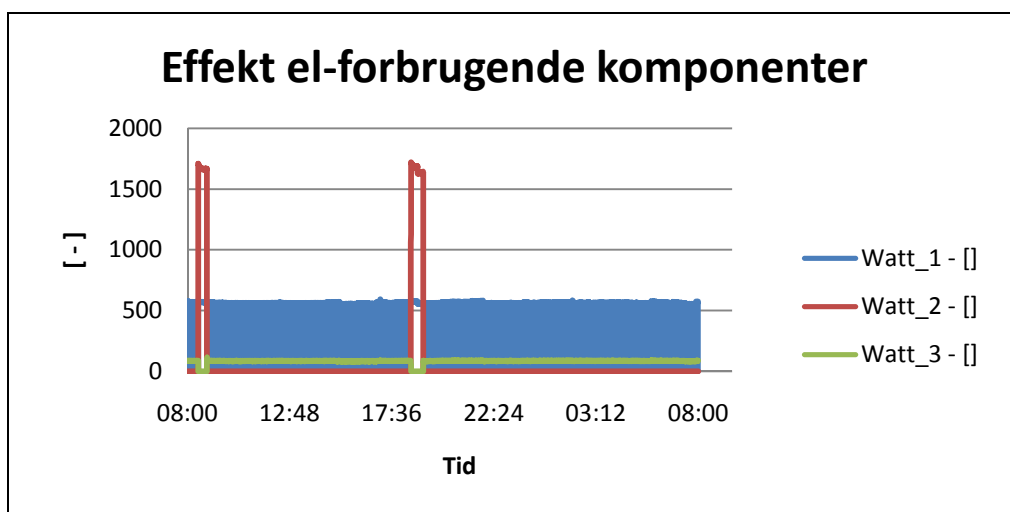


Der er her tale om typiske indstillinger, der anvendes for et sådant møbel. I klimakammeret fastholdes en konstant temperatur på 20°C og en luftfugtighed på ca. 50%. Grunden til, at denne temperatur og luftfugtighed er valgt, skyldes et ønske om at ligge tættere på realistiske betingelser i et supermarked. For forsøgene med frysekabet gælder, at lyset holdes slukket i møblet. Dette skyldes, at lyset optager 200 W, men i langt de fleste møbler i dag er der skiftet til lysarmaturer, der bruger væsentligt mindre el. På nedenstående graf ses temperaturforløbet for hhv. den varmeste og koldeste af prøvepakkerne.



Figur 16: Temperatur i hhv. varmeste/koldeste prøvepakke i fryseskab.

Som det ses på grafen, er der ca. 5°C forskel mellem den varmeste og koldeste prøvepakke. Dette må tilskrives mangelfuldt design/installering af møblet, da det med 54 prøvepakker ikke bør tilskrives en målefejl. Alternativt kan fordampere være blokeret, men der har ikke været indikationer på, at det er tilfældet. I nedenstående graf ses forbruget af el til kantvarme, ventilatorer, lys samt afrimning.



Figur 17: Effektoptag internt el-forbrug i fryseskab.

I ovenstående markerer den blå linje (Watt\_1) forbruget til kantvarme, og det kan af grafen læses, at der det meste af tiden trækkes ca. 600 W til at opvarme kanterne, således at kondens kan undgås. Det passer med indstillingen, hvor on-tiden for kantvarmen er indstillet til 80% i dagtimerne og 30% i nattetimerne.

Den mørkerøde linje (Watt\_3) markerer forbruget til el-afrimning. Det ses, at der afrimes 2 gange dagligt med en effekt på ca. 1700 W. Afrimningen tager ca. 20 min., før den stoppes af temperaturføleren på fordamperen.

Den grønne linje markerer forbruget til ventilatorer. Det ses, at ventilatorerne ikke kører under afrimning, hvilket er normal praksis i frysemøbler. For baselinen ser resultaterne derfor således ud:

	Effekter		Forbrug	
Kølebehov fryseskab	800 W		19 kWh	
Ventilator	86		2 kWh	
Kantvarme	570 W		7,6 kWh	
Afrimning	1700 W		1,1 kWh	
Samlet forbrug			29,7 kWh	

Figur 18: Baselineresultat i fryseskab.

På ovenstående figur ses det samlede effektoptag for møblet over 24 timer. Det skal bemærkes, at temperaturen i klimakammeret var holdt på 20°C, mens fugtigheden var holdt på 50%. Derfor er kølebehovet mindre end angivet fra leverandøren. Ud fra data ses, at det primært er kantvarmen, der bruger meget el.

For prøvepakkerne gælder, at gennemsnittet af disse er tæt på -18°, hvilket er den værdi, der skal overholdes i forbindelse med test af frysekabinetter.

Gennemsnit prøvepakker	-17,1 °C
------------------------	----------

Figur 19: Gennemsnitlig temperatur på prøvepakker i fryseskab.

### 3.2.1 Opsummering

Baselinetest har vist, at det primært er kantvarme, der bruger el i fryseskabet. Således er det tæt på, at kantvarmen bruger halvdelen af, hvad køleanlægget forbruger. Der vil derfor i det videre forløb blive fokuseret på intelligente måder, hvorpå kantvarmen i frysemøbler kan anvendes mere effektivt.

Samtidig vil der mht. afrimning blive udviklet en metode, hvorpå regulatoren beregner, når der er behov for en afrimning.

For at kunne opnå dette er det dog nødvendigt med en yderligere testrække for at undersøge, hvorledes kondens dannes i rammen, hvis kantvarmen pulser mindre.

## 4 Ekstra baselinetest i fryseskab

Der er lavet en yderligere række energimålinger på fryseskabet for at fastslå, om det er muligt at reducere det samlede elforbrug ved regulering af kantvarmefunktionen. I første omgang er der lavet målinger med standardindstillingerne, som ved første baseline, for kantvarmefunktionen. Der er lavet målinger ved forskellige temperaturer og fugtigheder for at fastslå disse parametres indflydelse på energiforbruget. Samtidig synliggøres standardindstillingens brugbarhed ved forskellige omgivelsestemperaturer og luftfugtighed.

Herefter er der foretaget målinger med ændringer i kantvarmefunktionen. Kantvarmens indstillinger ændres, så funktionen er optimeret efter de aktuelle forhold, og det samlede energiforbrug sammenlignes med forbruget ved standardindstillingen.

### 4.1 Opsætning

I standardindstillingen er kantvarmen tændt 80% af tiden fra kl. 8.00 til kl. 19.00 og 30% af tiden i de øvrige timer. Kantvarmen tændes i cykler af maks. 6 min. I dagtimerne vil kantvarmen således være tændt ca. 5 min. ad gangen, hvorefter der slukkes i 1 minut. I tidsrummet fra kl. 9.00 til kl. 19.00 åbnes begge døre i frysemøblet hvert 10. minut. Dørene holdes åbne 10 sekunder hver gang.

Frysemøblet er udstyret med en række prøvepakker, der simulerer indfrosne madvarer. Da fryseskabet i forhold til den tidligere baseline har været tomt for prøvepakker, vælges kun at pakke 15 pakker med temperaturtransmittere i dette forsøg, da dette ikke skal tjene som en baseline, men snarere som et oplæg til det videre arbejde.

15 af disse prøvepakker forsynes med temperaturtransmittere i dette forsøg, så kantvarmens indflydelse på produkterne kan overvåges. De 15 prøvepakker er fordelt i kølemøblet både vertikalt og horisontalt, og giver derfor et godt billede af temperaturfordelingen i møblet.

Målinger med standardindstillinger er foretaget ved temperaturer på henholdsvis 23, 25 og 27°C. Ved hver temperatur er der lavet en måling med 50, 55 og 60% relativ luftfugtighed. Dette giver i alt 9 målinger.

Alle målinger er foretaget over et døgn fra kl. 9.00 til kl. 9.00. Temperatur og fugtighed har været konstant i klimakammeret det foregående døgn. Der logges data for energiforbrug og temperaturer hvert 10. sekund.

## 4.2 Energiforbrug med standardindstillinger ved forskellige driftspunkter

De vigtigste resultater fra målingerne med standardindstillingen ses i nedenstående. Optaget køleeffekt er beregnet ud fra en COP på 1 for køleanlægget.

Nr	Rumtemp	RH	Afrimningstider (min.)			Energiforbrug (kWh)		
			14:00	19:00	06:00	El til møbel	El til køl	El total
1	22,9° C	50,1%	20	19	16	11,2	19,4	30,6
2	23,1° C	55,5%	21	19	16	11,3	19,5	30,8
3	23,1° C	61,0%	24	19	15	11,5	20,0	23,0
4	24,4° C	50,1%	24	19	18	11,4	20,8	23,1
5	24,8° C	55,5%	23	23	19	11,7	23,1	24,2
6	24,8° C	61,0%	25	25	28	11,4	25,9	24,8
7	26,6° C	50,1%	22	22	19	11,7	29,2	26,2
8	26,5° C	55,5%	24	24	20	11,7	24,8	24,8
9	26,7° C	61,0%	24	20	22	11,7	24,7	24,7

Figur 20: Resultater fra standardtest på fryseskab.

Generelt ses, at energiforbruget stiger, når fugtighed og lufttemperatur øges. Samtidig har kølemøblet også sværere ved at holde en lav temperatur i prøvepakkerne. Prøvepakkernes gennemsnitlige temperatur differentierer således 2,8 K i de 9 målinger, hvor de er koldest i test 1.

Som det ses, er der ikke en klar gennemgående sammenhæng mellem resultaterne i tabellen. Det kan fx undre, at test 7 optager væsentligt mere el end de øvrige test. Det ses også, at måling nr. 6 falder lidt uden for de øvrige resultater. Denne måling har den højeste gennemsnitstemperatur for prøvepakkerne. Det viser sig, at varmelegemerne til afrimning ikke har varmet med fuld effekt under de tre afrimninger i perioden. Ved de øvrige målinger er varmelegemernes effekt omkring 1650 W, men ved måling nr. 6 er den optagne effekt kun omkring 1100 W.

Der er derfor noget, der tyder på, at varmelegemerne kun har fungeret med 2/3 af den normale effekt. Dette forklarer samtidig de lange afrimningstider under denne måling. Det er tydeligt, at lange afrimninger er med til at øge temperaturen i prøvepakkerne. Funktionsfejlen med varmelegemerne er derfor med stor sikkerhed årsag til den store temperaturforøgelse i prøvepakkerne.

### 4.2.1 Kondens

Under de ni målinger har der ikke været problemer med kondens i dagtimerne. Til gengæld har der ved samtlige målinger været kondens nederst i møblets låger om morgenen, når møblet har kørt med natindstillingerne i mange timer.

Dannelsen af kondens starter under lågerne midt i skabet (lige ved venstre låges hængsel). Afhængig af temperatur og luftfugtighed spreder kondensatet sig til hele listen under lågerne, samt lågernes nederste del. Ved høj luftfugtighed dannes også kondens på de vertikale lister i siderne af skabet.



*Figur 21: Dannelsen af kondens starter i midten af skabet under de to låger.*



*Figur 22: Ved 23 °C og 50% relativ fugtighed er der efter nattens løb kondensat på hele listen under lågerne.*

Der har i alle målinger kun været kondens på listerne omkring lågerne i møblet. Der dannes kortvarigt kondens på indersiden af ruden, når døren åbnes, men kondensatet forsvinder hurtigt igen pga. luftstrømmen fra ventilatorerne. Der har ikke været kondens udvendigt på ruderne under nogen af målingerne.

### 4.3 Resultater med ændrede indstillinger

#### 4.3.1 Energiforbrug

I anden omgang er der lavet 6 målinger, hvor indstillingerne for kantvarmen ændres, så effekten kan vises. De seks målinger er alle foretaget uden lys i møblet. El-forbruget til køling er igen beregnet ud fra køleeffekten med en COP på 1.

Det er konstateret, at temperaturen sjældent ligger over 23°C i praksis, ligesom luftfugtigheden sjældent vil overstige 50%. Måling 1 og 2 er foretaget ved 23°C og 50% RH. Under de øvrige målinger er temperatur og fugtighed ikke styret, og målingerne er altså foretaget i det klima, der naturligt forekommer i lokalet på det pågældende tidspunkt.

Måling 1 er foretaget med standardindstillingen for kantvarmen på 80/30, og måling 2 er foretaget ved samme temperatur, men med reduceret kantvarmeeffekt.

Måling 3 er igen foretaget med standardindstillingen, og i målingerne 4-6 reduceres kantvarmen. Under måling 3-6 ligger temperaturen omkring de 20° C, men fugtigheden varierer mellem 20 og 40%.

Nr	Rumtemp	RH	Afrimningstider (min.)			Energiforbrug (kWh)			
			14:00	19:00	06:00	El til møbel	Køleeffekt	El total	KV
1	22,9° C	50,1%	21	19	19	11,0	20,3	31,3	80/30
2	22,8° C	50,1%	24	21	18	8,2	17,2	25,4	30/30
3	19,4° C	19,6%	15	13	14	10,3	16,1	26,4	80/30
4	19,6° C	39,6%	21	21	22	6,9	15,6	22,5	20/20
5	20,4° C	25,4%	21	20	24	5,7	15,3	21,0	10/10
6	20,6° C	30,3%	19	20	21	4,1	14,3	18,4	0/0

*Figur 23: Det ses, at der er en tydelig sammenhæng mellem styrken af kantvarmen og det samlede energiforbrug.*

Når måling 1 og 2 sammenlignes, ses det, at der er en besparelse i det samlede energiforbrug på 3,9 kWh i døgnet svarende til 22%. Samtidig har den gennemsnitlige temperatur i pakkerne også været en halv grad lavere. En reduktion af kantvarmefunktionen har således også positiv virkning på produkterne i møblet. Det ses, at afrimningstiderne er en smule længere ved reduktion af kantvarmen. Det kan dog ikke ud fra denne ene måling fastlægges, om det skyldes ændring i kantvarmen eller tilfældigheder.

Sammenlignes de øvrige fire målinger, ses at det samlede energiforbrug kan reduceres med 6,8 kWh i døgnet, eller 43% når kantvarmen kan afbrydes helt i forhold til standardindstillingen. Den gennemsnitlige temperatur i prøvepakkerne falder igen en halv grad. Da både temperatur og fugtighed er lavest under måling 3, har møblet haft det "lettest" under denne måling. Der vil formentlig kunne opnås endnu større besparelser, hvis der foretages yderligere målinger med styret temperatur og fugtighed.

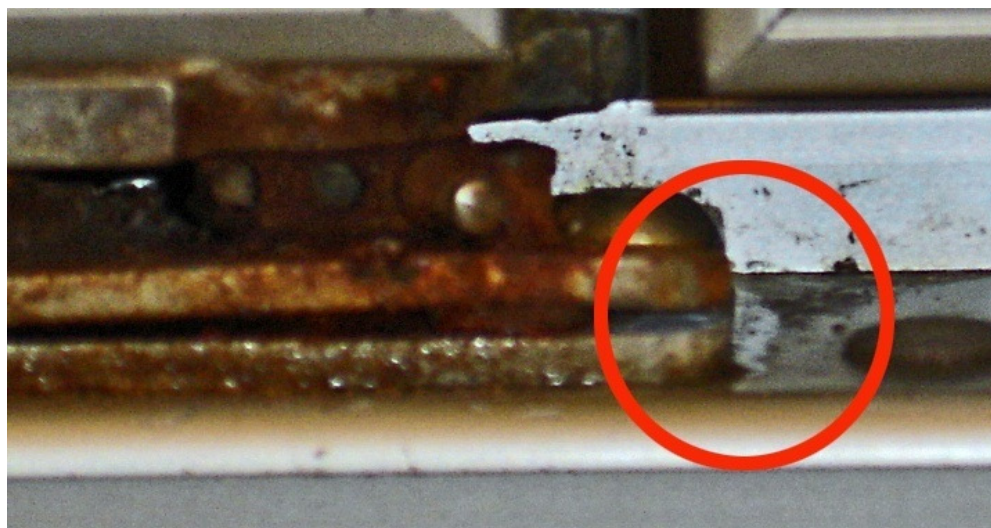
### 4.3.2 Kondens

Når måling 1 og 2 sammenlignes, har den reducerede kantvarme i måling 2 ingen effekt på dannelsen af kondens på møblet. Der er ikke kondens på nogen af møblerne under målingerne i dagtimerne. Men om natten, når møblet står uden åbning af døre, dannes der kondens i bunden på samme måde, som beskrevet i de indledende målinger.

I de fire øvrige målinger, hvor temperatur og fugtighed har fulgt udsvingene i lokalet, er det tydeligt, at standardindstillingen for kantvarmen er meget høj for disse forhold.

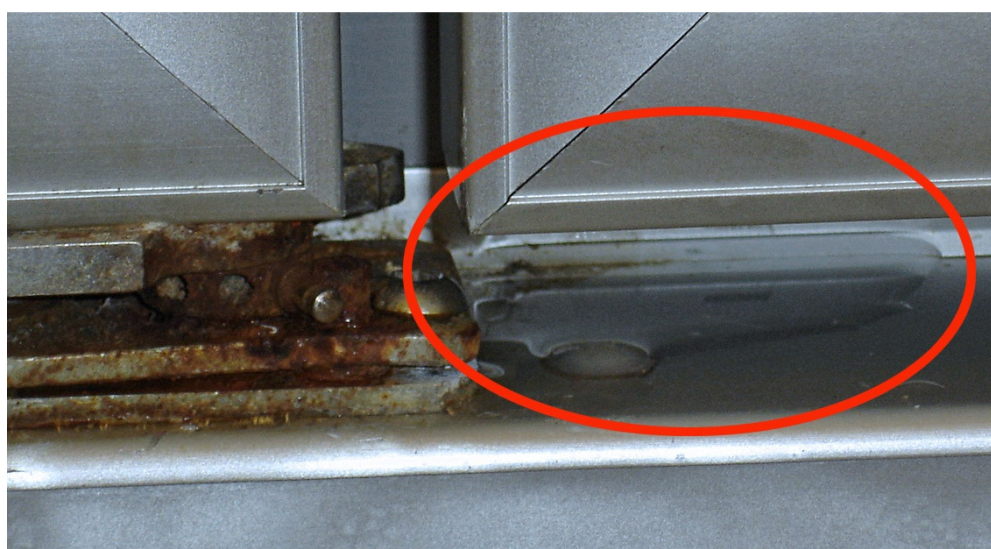
Under måling 3 og 4 er der ikke konstateret kondens noget sted på møblet hverken i dag- eller nattetimerne. Under måling 5 var der lidt kondens omkring hængslet i bunden af skabet om morgenen efter natdrift, men i dagtimerne var der ikke kondens på skabet.





*Figur 24: Dannelse af kondens om morgenen under måling 5.*

Ved måling 6, hvor kantvarmen har været helt afbrudt, var der mere kondens omkring hængslet om morgenen. Om dagen var der ikke problemer med kondens, men til gengæld dannes der frost på tætningslisterne ved dørene, når kantvarmen afbrydes helt.



*Figur 25: Kondens i bunden af skabet efter natdrift ved måling 6 (kantvarmen er helt afbrudt).*

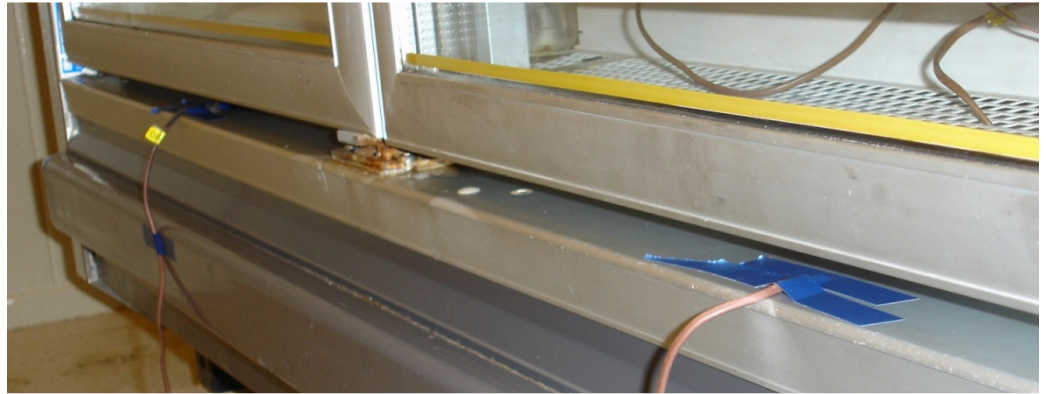
#### 4.4 Opsummering

Det ses, at der er mulighed for energibesparelser ved at reducere kantvarmen i kølemøblet. Samtidig har en reduktion positiv indvirkning på temperaturen i produkterne. Under de fleste forhold vil en reduktion ikke medføre dannelse af kondens på skabet.

Da forholdene i praksis vil svinge ganske betydeligt, bør kantvarmen reguleres adaptivt, hvis der skal opnås energibesparelser uden problemer med kondens under alle driftsforhold. Skabet kan formentlig fungere med en kraftig reduktion af kantvarmen en væsentlig del af driftstimerne. Men samtidig er det vigtigt, at kantvarmen reguleres op i de timer, hvor temperaturen og luftfugtigheden vil være høj.

Ved at måle luftens fugtighed og temperatur kendes dugpunktet på det pågældende tidspunkt. Hvis dugpunktet sammenlignes med temperaturen på fladerne i møblet, kan det på denne måde måles, hvornår der er brug for kantvarme. Vha. to temperaturmålinger og en fugtighedsmåling vil det altså være muligt at tilpasse kantvarmen efter forholdene og styre dem adaptivt, så der aldrig varmes mere, end der er behov for.

Ovennævnte målinger gennemføres med temperatursensorer monteret i bunden af kabinettet, hvor problemerne med kondens er størst.



*Figur 26: Temperaturmåling på liste under kabinettets låger.*

Umiddelbart tyder de hidtidige målinger på, at der ikke dannes kondens på fladen, hvis listens gennemsnitstemperatur blot er 2-3 grader højere end dugpunktet.

Ved montering af en termometer på det mest kritiske sted på møblet vil kantvarmen kunne reguleres ud fra denne temperatur, så der hverken opstår kondens eller bruges mere el end nødvendigt. Men det kræver naturligvis, at temperaturen sammenlignes med dugpunktet i styringen.



# 5 Optimering

## 5.1 Kølemøbel

Som tidligere nævnt er det primært i forbindelse med afrimning, at styringen af kølemøblet kan optimeres, når det drejer sig om interne el-forbrugende komponenter. Dette skyldes, at der allerede i dag er meget effektive ventilatorer og lyskilder på markedet, som installeres som standard i nyere møbler, mens det for ældre møbler ofte kan betale sig at udskifte disse komponenter.

For kølemøblet gælder, at man som standard afrimer ca. 8 gange dagligt. Dette afhænger naturligvis til dels af lokale forhold, men i disse test er det valgt at køre 8 afrimninger pr. døgn. I stedet for at køre 8 afrimninger vil der i næste test kun foretages en afrimning pr. døgn med elvarmelegeme. I stedet vil afrimningen finde sted løbende ved at lukke for tilførslen af kølemiddel til fordampere og så lade ventilatorerne fortsætte med at cirkulere luften i møblet gennem fordampere. Da luften i møblet er ca. 5°C, vil denne gradvist optø den dannede is, og vandet vil dryppe af fordampere. Dette er selvfølgelig kun muligt, fordi lufttemperaturen i møblet er højere end vands frysepunkt. Fordelen er, at isens latente smeltevarme udnyttes til at holde temperaturen nede, men metoden kræver, at proceduren udføres oftere, da denne ikke er så hurtig som en afrimning med el, og derfor vil give for høje temperaturer i møblet, hvis rimlaget når at blive for tykt.

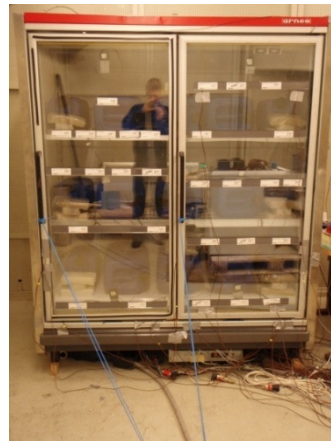
## 5.2 Fryseskab

For fryseskabet fokuseres på 2 områder: dels en mere intelligent måde at afrime på, og dels en mere intelligent måde at styre kantvarmen på.

### 5.2.1 Kantvarme

Der er foretaget en række yderligere forsøg på fryseskabet, som har haft til formål at måle temperaturen rundt i rammen på møblet som funktion af pulsning på kantvarme, temperatur i skabet og omgivelsestemperaturen. Disse 3 parametre er afgørende i forhold til, om der dannes kondens.

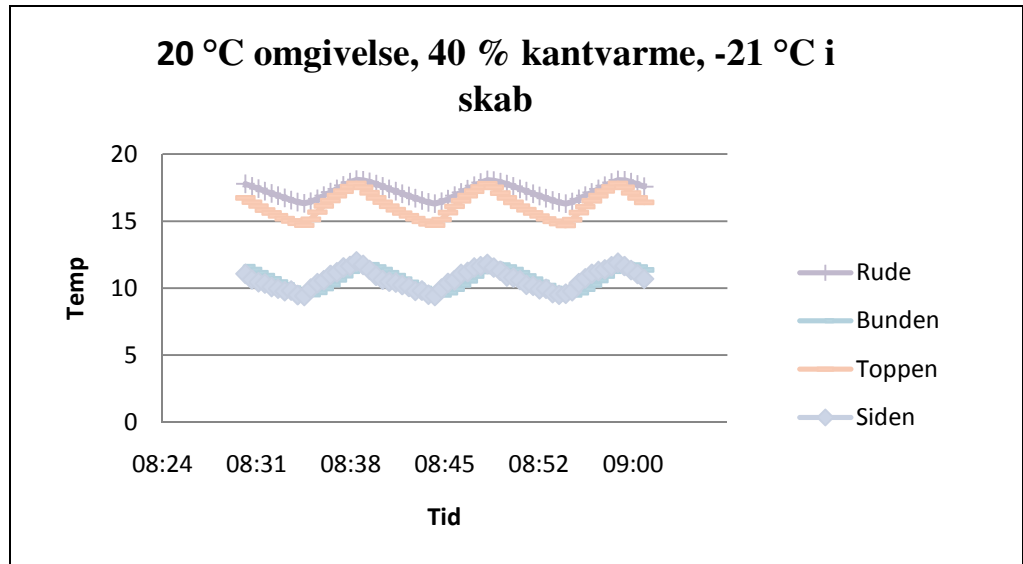
I forsøget installeres 18 temperatursensorer rundt i rammen og på glasset i døren, så overfladetemperaturen kan bestemmes som en funktion af pulsning på kantvarme, temperatur i skabet og omgivelsestemperaturen. Sensorerne limes fast på rammen og døren.



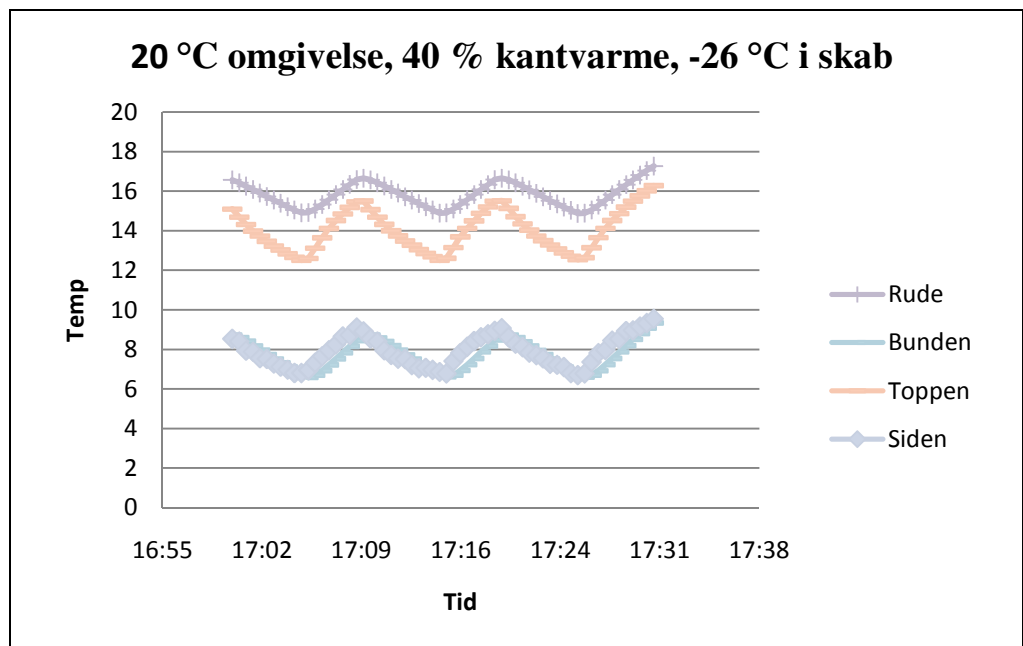
Figur 27: Fryseskabet i laboratoriet.

For at sikre overskueligheden ved repræsentationen af de 18 temperaturer er disse i nedenstående grafer midlet til 4 temperaturer, der benævnes rude, bunden, toppen og siden.

Nedenstående ses grafer for det tilfælde, hvor temperaturen i klimakammeret holdes på 20°C, og hvor temperaturen reguleres i skabet.



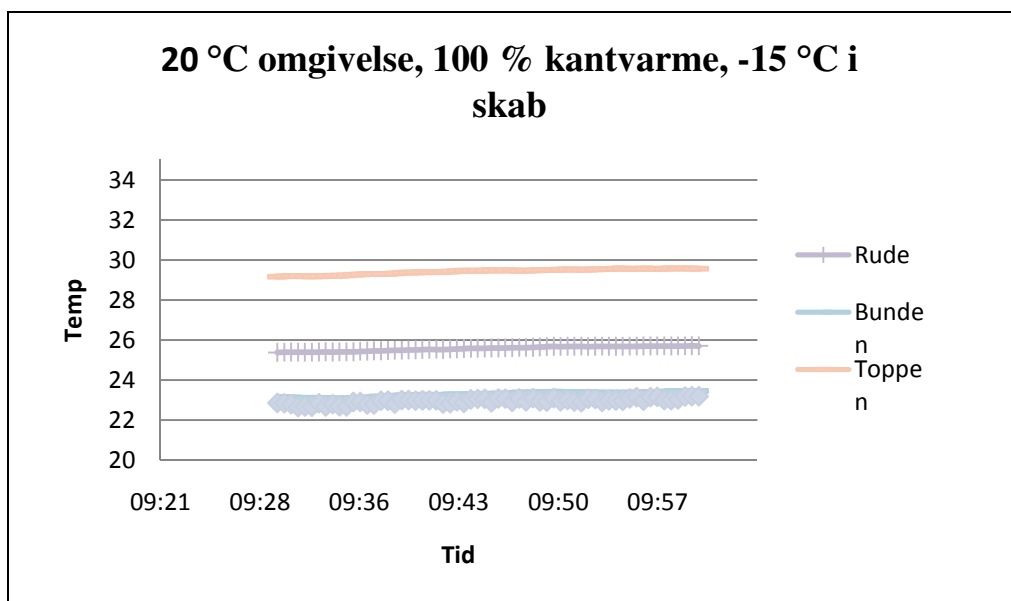
Figur 28



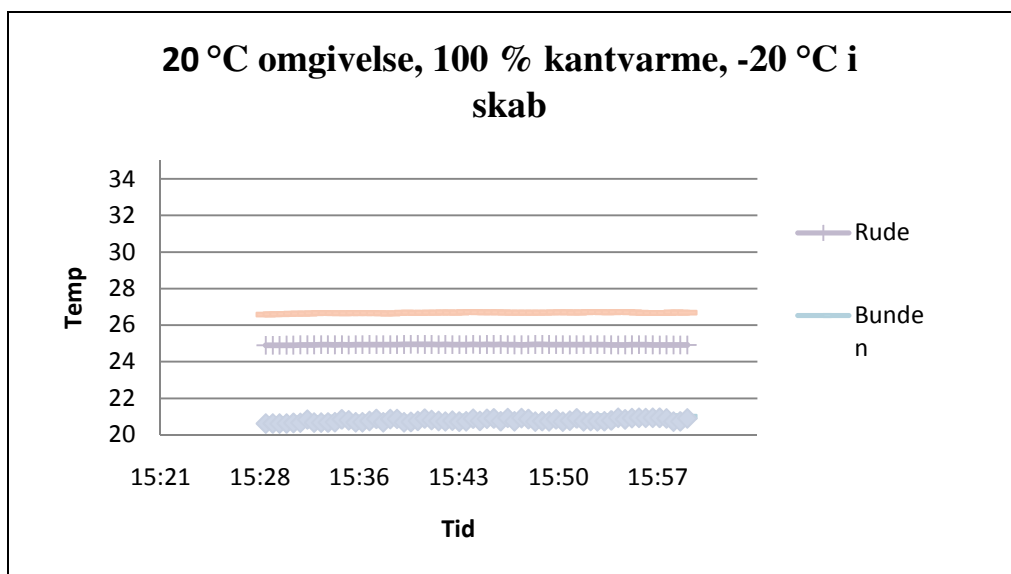
Figur 29

På graferne ses tydeligt, at temperaturerne rundt i rammen svinger i takt med pulsningerne på kantvarmen. Endvidere kan det konstateres, at temperaturerne på ruden og i toppen af rammen er væsentligt højere end temperaturerne på siden og i bunden af rammen. For begge forsøg holder den koldeste temperatur sig over dugpunktstemperaturen i rummet. Det ville for tilfældet, hvor der er -21°C i skabet være muligt at gå ned på en pulsning på 20% og stadig holde møblet dugfrit.

I nedenstående ses samme konditioner som før, bortset fra at kantvarmen nu holdes konstant tændt. Det ses, at den koldeste temperatur i alle tilfælde holdes konstant.



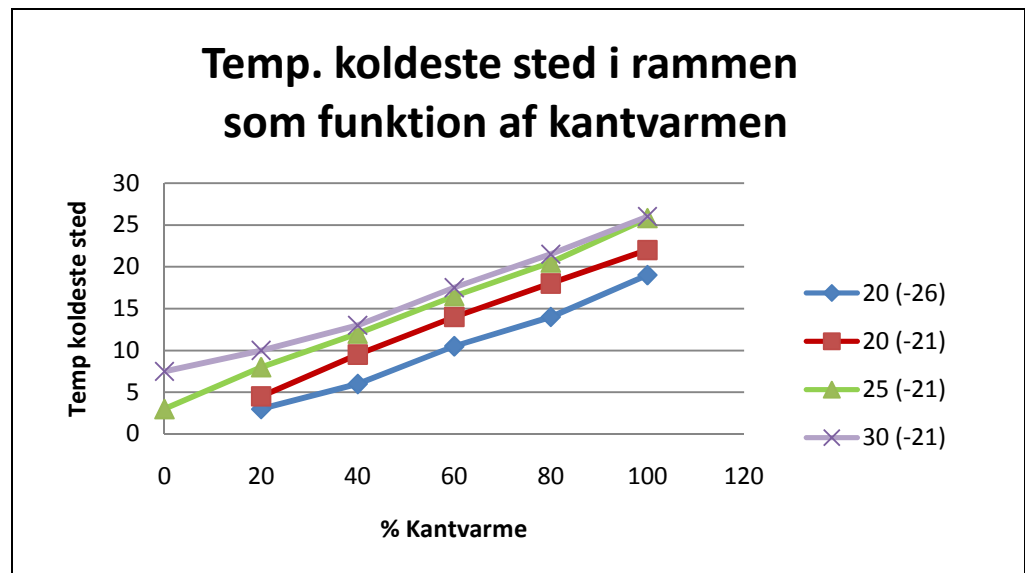
Figur 30



Figur 31

Således har forsøgene taget udgangspunkt i at ændre parametrene i forhold til hinanden.

På graferne ses mange små svingninger. Dette skyldes døråbningerne. Samlet set giver det en graf, der ser ud som i figur 32.



Figur 32: Temperaturen koldeste sted som funktion af kantvarme.

Grafen viser for forskellige omgivelsestemperaturer, hvad temperaturen er på det koldeste sted i rammen, som funktion af pulsning på kantvarmen. I parentes er vist, hvad setpunktet har været for temperaturen i skabet.

På grafen ses, at det både har betydning, hvad temperaturen i skabet er, og hvad omgivelsestemperaturen er, men at det selvfølgelig er pulsningen på kantvarmen, der er den tungeste parameter.

Tages der fx udgangspunkt i den situation, at der haves en temperatur på 20°C i en butik, og at kantvarmen pulser 40%, betyder det, at det koldeste sted på rammen er ca. 10°C. Det vil betyde, at så længe luftfugtigheden er under ca. 55%, så vil der ikke dannes dug på denne type møbel. Hæves pulsningen til 60%, kan en luftfugtighed på ca. 75% accepteres, før der dannes dug.

Disse antagelser skal naturligvis tages med forbehold, men forsøget viser også, at fx antallet af døråbninger ikke har betydning for disse resultater.

Det tyder således på, at døråbninger hjælper, da det i afsnit 4.3.1 er vist, at der i løbet af natten, hvor der ikke er døråbninger, dannes kondens.

Som det ses på grafen er der tale om en tilnærmet lineær funktion mellem pulsningen på kantvarmen og mellem temperaturen på det koldeste sted nederst i rammen. Dette vil som det næste blive bygget ind i Danfoss-regulatoren, så den kan holde det koldeste punkt i rammen varmere end dugpunktstemperaturen.

## 5.2.2 Afrimning

Sideløbende med udførsel af test på Teknologisk Institut har Danfoss udviklet en intelligent måde, hvorpå afrimning af en fordampner kan udskydes, hvis en afrimning ikke er nødvendig eller igangsættes, hvis behovet for en afrimning er til stede.

Funktionen, der ligger i deres nye regulatorer i AK-serien, kan aflyse unødvendige afrimninger og kan på eget initiativ igangsætte en afrimning, hvis fordampneren er ved at blive blokeret. Funktionen virker ved at sammenligne energioptagelsen i luftflowet på tværs af fordampneren med energioptagelsen i kølemiddelkredsen, når fordampneren er helt fri for is.

På denne måde kan luftflowet gennem fordampere bestemmes, og det kan løbende kontrolleres af regulatoren, om dette luftflow bliver mindre. I nedenstående ses matematikken, der ligger bag løsningen.

Først bestemmes den optagne energi på kølemiddelsiden. Den er lig med masseflow af kølemiddel ganget med entalpiforskellen mellem ind- og udløb. For at fastlægge masseflowet anvendes den elektroniske ekspansionsventil, AKV, som masseflowmåler. Dette kræver, at trykket før og efter denne måles, og det sammenholdes så med ventilens åbningsgrad, og angiver således flowet rimeligt præcist.

$$Q_{køl} = m_{køl} \cdot \Delta h_{køl}$$

På samme måde gives energifrigivelsen i luften.

$$Q_{luft} = V_{luft} \cdot \Delta t_{luft}$$

Luftflowet gennem fordampere kan ikke måles, men følgende gør sig gældende.

$$Q_{luft} = Q_{køl}$$

⇕

$$V_{luft} \cdot \Delta t_{luft} = m_{køl} \cdot \Delta h_{køl}$$

⇕

$$V_{luft} = \frac{m_{køl} \cdot \Delta h_{køl}}{\Delta t_{luft}}$$

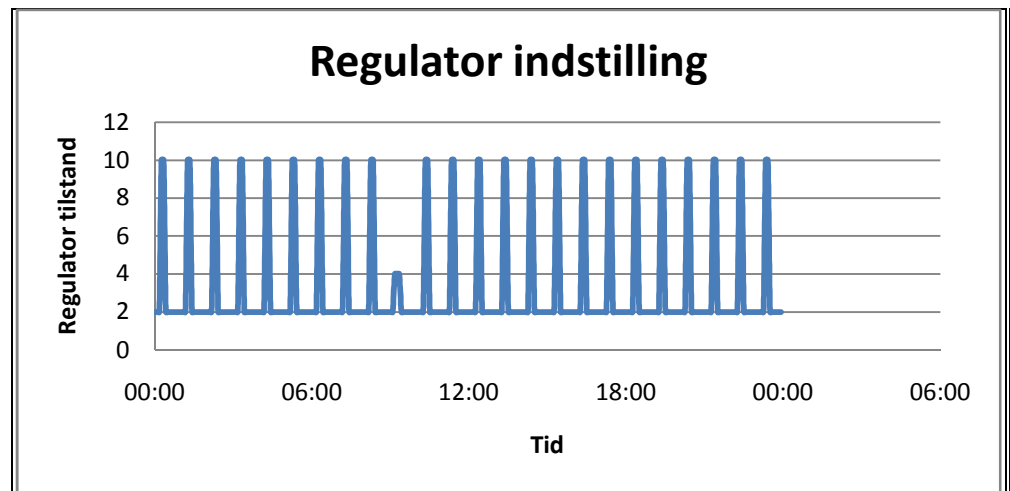
På denne måde kan regulatoren løbende beregne luftflowet gennem fordampere. Når luftflowet falder i forhold til referencen, indikerer det, at der er behov for en afrimning.

Funktionen kan både igangsætte en afrimning, men kan også blot sættes til at give et alarmsignal, hvis den beregner et behov for afrimning. Regulatoren laver en ny reference efter hver afrimning.

# 6 Validering

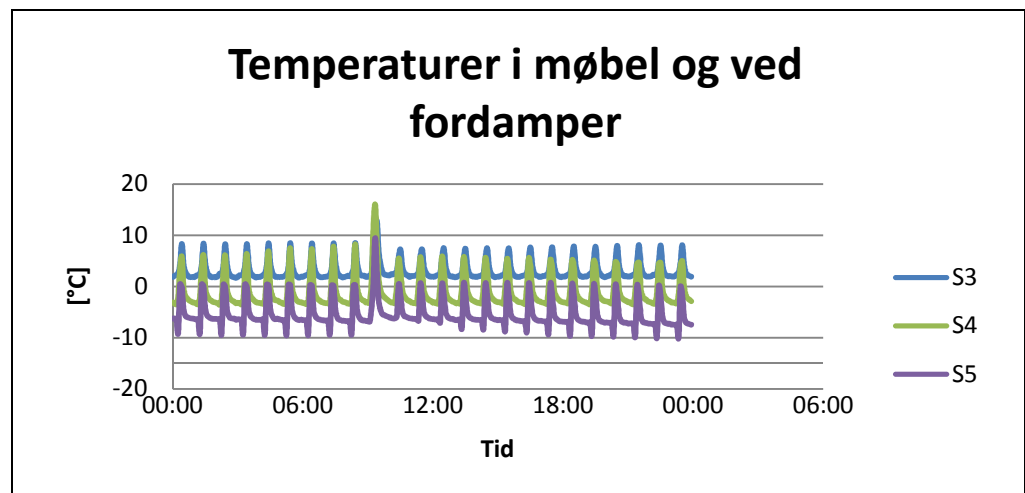
## 6.1 Kølemøbel

Testopstillingen er identisk med den forsøgsopstilling, der blev anvendt i forbindelse med etablering af baseline. I stedet for de 8 afrimninger dagligt indstilles regulatoren til at lukke for tilførslen af kølemiddel til fordamperen hver time, således at luften i møblet vil kunne afrime fordamperen. Der er lukket for tilførslen af kølemiddel til temperatursensoren på fordamperen (S5-afrimningsføleren), når stoptemperaturen - som altid - ligger over frysepunktet. I nedenstående ses en graf, der viser, hvorledes regulatoren har styret møblet. For position 10 på y-aksen betyder det, at regulatoren har lukket for kølemiddel til fordamperen, mens position 4 betyder, at en afrimning med el-stave finder sted.



Figur 33: Regulatorens styring.

På grafen ses, hvorledes en stille afrimning finder sted hver time. Nedenstående graf viser temperaturerne på fordamperen og i møblet under testen. Dette er relevant i forhold til at overveje, hvorvidt løsninger kan virke tilfredsstillende under virkelige driftskonditioner.

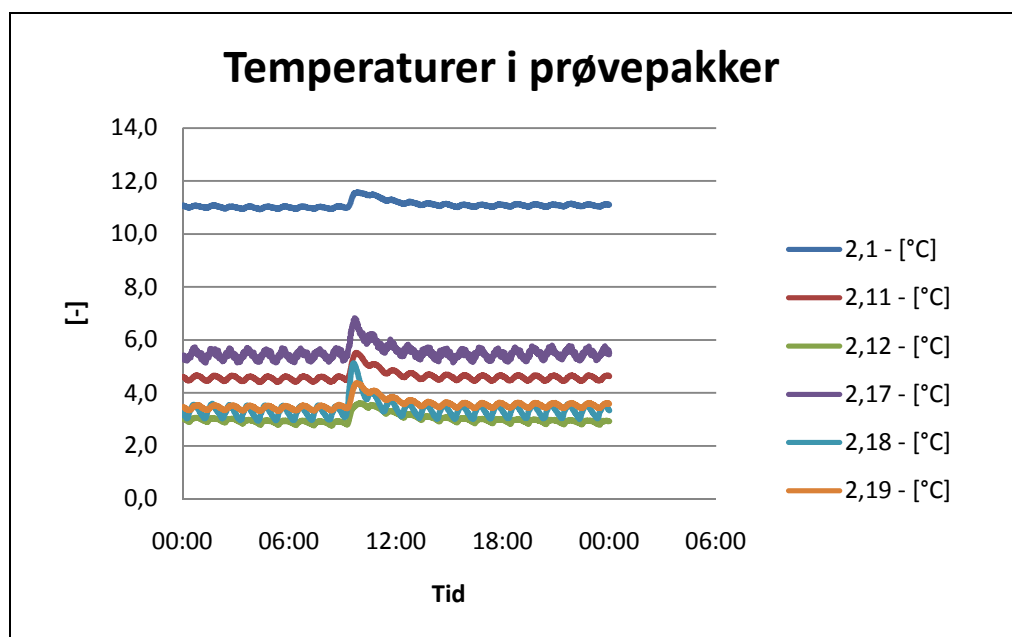


Figur 34: Temperaturer ved møbel og i fordamper.

På grafen er vist temperaturerne S3, S4 og S5. Regulatoren bruger disse værdier til at styre møblet. S3 værdien fortæller, hvad temperaturen i møblet er. I dette tilfælde ses, at temperaturen er ca. 2°C, når der ikke afrimes og op til ca. 8°C, når der køres en stille afrimning. For S3-temperatursensoren giver dette en gennemsnitstemperatur på ca. 3°C. For S4 opnås en gennemsnitlig temperatur på ca. -1°C.

I forhold til S5-sensoren er denne naturligvis også interessant, da den viser, hvor høj en overfladetemperatur fordampere opnår ved en stille afrimning. S5 svinger mellem -7°C og 0,5°C plusgrader. Det betyder, at overfladen på fordampere når op over vands frysepunkt ved en stille afrimning, der varer ca. 8 minutter.

Næste skridt er at tjekke, hvorledes kernetemperaturerne i prøvepakkerne klarer denne test i forhold til baselinetesten. Det fremgår af nedenstående graf.



Figur 35: Temperaturer i prøvepakker.

På grafen ses tydeligt, at pakke 2,1 er væsentlig varmere end de andre pakker. Det er der ikke umiddelbart nogen logisk forklaring på. I forhold til det tidligere baselineforsøg er pakken ca. 3°C varmere, og under alle omstændigheder er den alt for varm. Af dataene fremgår det, at også pakke 2,17 har været for varm. Da denne pakke er placeret i samme side som pakke 2,1, kunne det tyde på, at der ikke har været tilstrækkelig luftflow igennem fordampere i denne side af kølemøblet. Dette kunne så igen tyde på, at der kan have været en isopbygning i den ene side af fordampere, som ikke er fjernet ved afrimningerne. Dette kan dog ikke bekræftes visuelt.

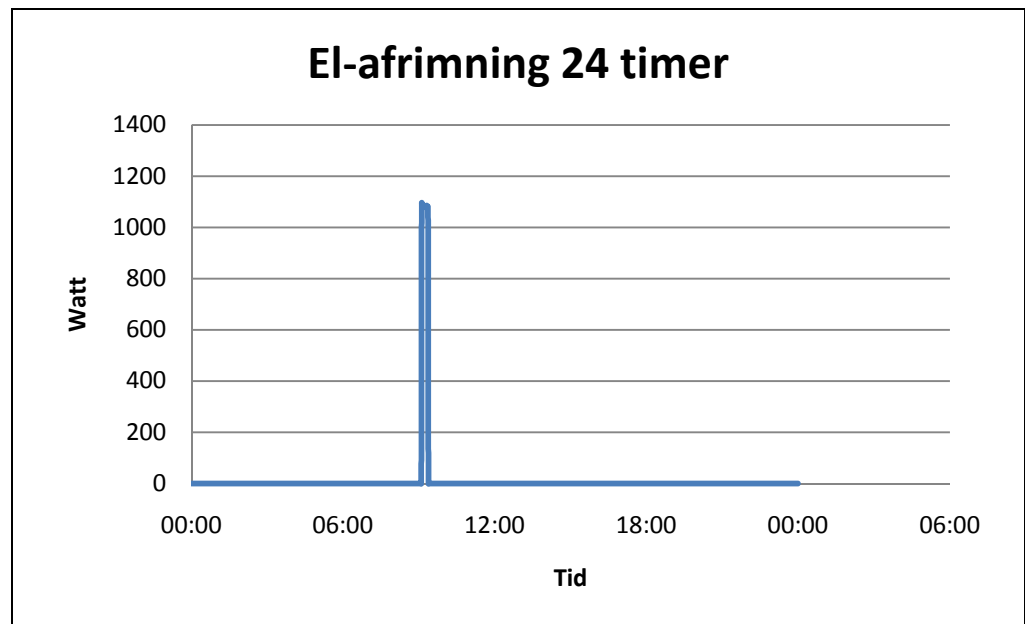
Gennemsnittet af prøvepakkerne er 5,2°C mod 4,8°C for det tidligere baselineforsøg. Det betyder altså, at der ved at anvende stille afrimning kan fremkomme højere temperaturer i yderområderne af møblet, hvilket formentlig skyldes, at der kan sidde lidt mere is og blokere for luften til yderområderne i møblet.

Det er svært at sige, hvorvidt denne lidt højere temperatur helt kan undgås. I forbindelse med at opnå stabile konditioner for dette forsøg har det været nødvendigt at prøve en del forskellige indstillinger for stille afrimning. Man har bl.a. forsøgt at forlænge tiden mellem de stille afrimninger. Dette var ikke virksomt og resulterede i en kraftig tilblækning af fordampere med is.



Figur 36: Tilblokning af fordamper.

På nedenstående graf ses, hvorledes elvarmelegemet har kørt under testen, og det kan tydeligt konstateres, at det kun har kørt en gang i døgnet.



Figur 37: El-afrimning.

For testen som helhed ser de målte værdier således ud:

	Effekter		Forbrug	
Kølebehov kølemøbel	3500 W		31 kWh	
Kantvarme/lys/ventilator	385 W		9 kWh	
Afrimning	1050 W		0,25 kWh	
Samlet forbrug			40,25 kWh	

Figur 38: El-forbrug kølemøbel.



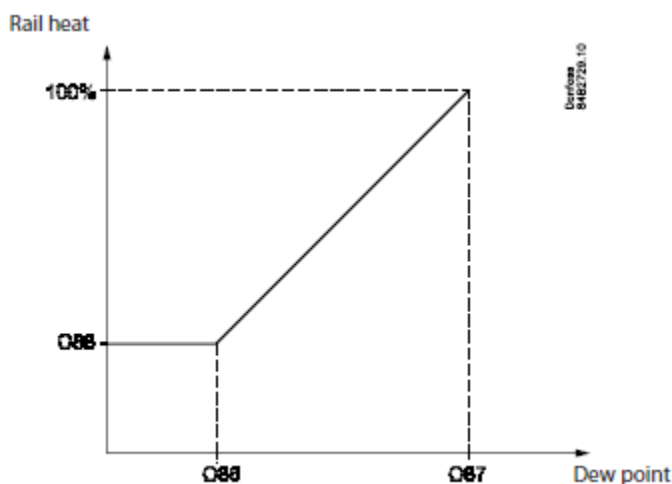
Det ses på ovenstående figur, at el-forbruget er mindre, når der afrimes med stille afrimning. El-besparelsen ved kun at anvende elvarmelegemet begrænset er indiskutabelt, mens besparelsen på køleanlægget umiddelbart er noget større, end hvad der kunne forventes. Hvorledes denne besparelse fremkommer, og hvorvidt denne er troværdig, behandles i den endelige konklusion.

## 6.2 Fryseskab

I forhold til fryseskabet er der 2 tiltag, der skal testes og valideres. Dels en mere intelligent styring af kantvarmen og dels en mere intelligent styring af afrimningstidspunkterne.

Nedenstående ses en graf fra Danfoss-håndbogen om regulatorer. Her ses, at der på samme måde, som beskrevet i figur X, kan anvendes en lineær sammenhæng til at styre kantvarmen i et møbel.

I regulatoren skal værdierne O86 (Dewpoint min. limit), O87 (Dewpoint max. limit) og O88 (Railheat on min. %) indtastes for at give den lineære sammenhæng, hvormed kantvarmen ønskes styret.



Figur 39: Danfoss-regulator – styring af kantvarme.

I denne test anvendes følgende værdier:

- Dew point max. limit      22,3°C
- Dew point min. limit      3,0°C
- Rail heat min. ON%        10%

Disse er fremkommet under test af fryseskab.

Dugpunktet, der også er nødvendigt, måles af en Danfoss-sensor. For at måle dugpunktet og sende det videre til regulatoren kræves en systemmanager af typen AK-SM. Dette er en controller, der typisk styrer en lang række andre kontrollere, fx i supermarkeder, og som der kan kommunikeres direkte med fra centralt hold.



Figur 40: Danfoss dugpunktsmåler.

### 6.2.1 Test

For at sikre en gangbar test anvendes følgende forsøgsrække. Der udføres fem forsøg med 2 test i hver. I den ene test anvendes standardindstillinger, som beskrevet under baselinetest, mens der for den anden test anvendes adaptiv kantvarme og afrimning.

Elforbrug / Temperaturtest					
Forsøgsnummer	Test	Indstillinger			
		Reguleringsmåde	Temperatur	RH Dag / Nat	Specifik korrektionsfaktor
01	01	Standard	20° C	33 / 15 %	0,09
	02	Adaptive	20° C	33 / 15 %	
02	03	Standard	20° C	41 / 24 %	0,17
	04	Adaptive	20° C	41 / 24 %	
03	05	Standard	20° C	49 / 36 %	0,39
	06	Adaptive	20° C	49 / 36 %	
04	07	Standard	20° C	59 / 52 %	0,23
	08	Adaptive	20° C	59 / 52 %	
05	09	Standard	20° C	72 / 66 %	0,12
	10	Adaptive	20° C	72 / 66 %	

Figur 41: Resultater.

De specifikke korrektionsfaktorer anvendes ved fastsættelsen af den samlede årlige reduktion i el-forbrug. Ved at rette på denne måde korrigeres for de antal timer, de omgivende temperaturer og luftfugtigheder er til stede. En korrektionsfaktor på 0,09 betyder således, at der i 9 % af årets timer må forventes at være sådanne konditioner i et gennemsnitligt supermarked.

I følgende figur ses resultaterne af forsøgsrækken. Som forventet ses det tydeligt, at det samlede energiforbrug stiger, jo varmere og fugtigere der er i klimakammeret. For forsøg 5 gælder, at der i både test 9 og 10 opstod meget kraftige blokeringer med is, som det ved afrimningerne ikke var muligt at få fjernet helt. Ifølge køleteknikere, der kender fryseskabet, er det velkendt, at denne type møbel kan give anledning til blokeringen i meget fugtige perioder.

For prøvepakkerne ses, at disse bliver koldere, når der anvendes adaptiv styring af kantvarme og afrimning.

Forsøgs-nummer	Test	Temperatur [° C]	EL	Resultater		
		Pakke temp. gennemsnit	Total [kWh]	Temp. diff.	El red.	Factor
1	1	-17,15	29,1	-0,45	29 %	0,09
	2	-17,60	20,7			
2	3	-17,21	29,2	-0,39	26 %	0,17
	4	-17,61	21,6			
3	5	-17,10	30,1	-0,32	16 %	0,39
	6	-17,42	25,2			
4	7	-16,81	31,6	-0,52	7 %	0,23
	8	-17,33	29,3			
5	9	-17,11	30,6	0,00	0 %	0,12
	10	-16,36	33,3			

Figur 42: Temperaturer i prøvepakker.

I nedenstående ses de forskellige el-forbrug gennem testen. Som det ses, er der i forsøg 5 regnet med, at der ikke opnås en besparelse.

I øvrigt gælder, at der med standardindstillingerne har kunnet konstateres kondens på møblet i test 7 og 9.

Forsøgs-nummer	Test	Elforbrug [kWh]					Forskel	El red.
		Kant-varme	Afrimning	Ventilator	Køle-anlæg	Total		
1	1	7,6	1,6	2,0	18,0	29,1	-8,4	29%
	2	2,2	0,9	2,0	15,6	20,7		
2	3	7,6	1,6	2,0	18,0	29,2	-7,6	26%
	4	3,0	0,9	2,0	15,7	21,6		
3	5	7,6	1,7	2,0	18,9	30,1	-4,9	16%
	6	4,8	1,0	2,0	17,4	25,2		
4	7	7,5	1,8	1,9	20,4	31,6	-2,3	7%
	8	7,5	1,1	2,0	18,7	29,3		
5	9	7,6	1,7	2,0	19,3	30,6	2,6	0%
	10	10,1	1,0	2,0	20,2	33,3		

Figur 43: Elforbrug i forsøgsrække.

Forsøg 1-4 dækker 88% af årets timer, og hvis der korrigeres med korrektionsfaktorerne, opnås en årlig besparelse på 15%.

## 6.2.2 Opsummering

På baggrund af denne test konkluderes, at det er muligt at opnå besparelser ved at anvende adaptiv afrimning og adaptiv styring af kantvarmen i et fryseskab.

I dette testforløb er følgende resultater fremkommet:

- El-besparelse på 15% årligt ved anvendelse af adaptiv afrimning og adaptiv kantvarme.
- En reduktion på 0,35 K af kernetemperatur i prøvepakker.

Når dette er nævnt, er det vigtigt at understrege, at disse resultater kun gælder for dette fryseskab under de i forsøget givne konditioner. Hvis andre fryseskabe anvendes, eller hvis der tale om andre klimatiske forhold eller lignende, vil resultatet være anderledes.

Endvidere har den adaptive afrimning i forsøgsrækken haft problemer med at kunne håndtere afrimning under meget fugtige forhold. Afrimningen er simpelthen ikke tilstrækkelig, og varerne bliver for varme. Det samme gør sig dog også gældende, hvis standardindstillinger anvendes.

# 7 Diskussion

I det følgende er der reflekteret over resultaterne for de to apparattyper undersøgt i projektet.

## 7.1 Kølereol

For kølereolen ligger besparelsespotentialiet ved at anvende stille afrimning på ca. 10% ud fra forsøgsrækken. Da ventilatorer og lys i dag findes i superoptimerede udgaver, og da behovet for kantvarme er meget lavt, er det primært afrimning, der er interessant.

For kølereoler ude i supermarkederne anvendes i dag stille afrimning i nyere reoler.

## 7.2 Fryseskab

I forhold til resultater for forsøgsrække med fryseskab er følgende nødvendigt at overveje:

- Besparelsen er kun fremkommet på denne ene type kabinet.
- Type af supermarked, standardindstillinger, åbningstider, adfærd mv. vil variere og påvirke resultatet.  
Forsøgsrækken er baseret på et lille supermarked med en åbningstid på 11 timer i døgnet - 7 dage om ugen, som er en typisk installation af denne type kabinet.  
Døråbninger og belastning af produkter er baseret på ISO 23.953, men kan variere afhængig af butik, type produkt, adfærd osv.
- Den omgivende luft i forsøgsrækken er baseret på butikker uden aircondition eller særlige luftbehandlingsaggregater.  
Resultaterne er opnået i denne kontrolproces, og de forventes ikke at være sammenlignelige for frysere, anbragt i særlige miljøer (f.eks. siden luftfugtningsystemer for dagligvarer etc.).

Holdes ovenstående in mente, konkluderes følgende:

- Det samlede elektriske energiforbrug i fryseskab er reduceret med 15 % om året ved hjælp af adaptive funktioner for afrimning og kantvarme.
- Den samlede årlige gennemsnitlige temperaturniveauer af produkterne er reduceret 0,35 K.
- Ingen problemer med kondens.

Når ovenstående er nævnt, er det ganske væsentligt som ejer af et supermarked at overveje følgende. Et fryseskab (som det i testen) forbruger ca. 28 kWh pr. dag, hvis ventilatorer og lys er erstattet af nye varianter med lavt energiforbrug. For et mindre supermarked, der har åbent alle ugens dage, bliver dette til et samlet forbrug på ca. 10.000 kWh. Af dette kan spares ca. 15%, hvilket svarer til 1500 kWh, og med en antaget elpris på mellem 1-1,5 kr./kWh giver dette en el-besparelse på 1500-2000 kr. årligt. Det er derfor nødvendigt at gå forsigtigt til værks, da denne besparelse vil være forsvundet, hvis brugen af adaptiv styring kræver et ekstra servicebesøg. Dette bør

ikke afholde supermarkeder fra at prøve adaptive styringer af kantvarme og afrimning, men specielt i forhold til afrimning tilrådes forsigtighed.

Her kan det eventuelt i første omgang overvejes, kun at give den adaptive styring lov til at springe en afrimning over pr. dag.