



Danmarks
Tekniske
Universitet

Kuldioxid som sekundært kølemiddel i supermarked

Naturlig og tvungen cirkulation

Delrapport for ELFOR-projekt nr. 334-1 (Desik)

H.J.Høgaard Knudsen

Nils Koppels Allé, Bygning 402
DK-2800 Kongens Lyngby
Danmark
Tlf. 4525 4122
Fax 4525 5215
hk@mek.dtu.dk
www.mek.dtu.dk

ISBN 87-7475-333-9

MEK-ET-2005-08
www.et.dtu.dk

Institut for
Mekanik,
Energi og
Konstruktion

MEK

Energiteknik

Resume

I forbindelse med udfasning af HCFC- og HFC-kølemidlerne er opstået stor interesse for anvendelse af naturlige kølemidler samt indirekte køling i forbindelse med køling i supermarkeder. Som sekundært kølemiddel med faseskift kan kuldioxid anvendes. I supermarkeder med køleanlægget placeret over kølemøblerne, f.eks. på taget, kan cirkulation af det sekundære kølemiddel ske ved naturlig cirkulation.

I dette arbejde er sammenlignet naturlig cirkulation og pumpecirkulation dels ved temperatur svarende til frostmøbler dels ved temperatur svarende til kølemøbler. Ved frost en anvendt op til 2 møbler medens der ved køl er anvendt op til 3 møbler.

Endvidere er undersøgt strategi i forbindelse med elektrisk afrimning, hvor det er væsentligt at fordampere er tømt for væske før elvarmelegemerne indkobles. Det er vist, at en overfladetemperaturføler kan anvendes til at styre indkoblingstidspunktet for elvarmestavene.

På grundlag af de gennemførte forsøg konkluderes, at det er muligt at anvende naturlig cirkulation men specielt ved frostmøbler må det sikres, at der ikke sker dampdannelse i væskeledningen. Dette kan sikres ved at anvende en cirkulationspumpe der giver en relativ lille trykforøgelse i forhold til den statiske trykstigning. Pumpeeffekten har i forsøgene være ca. 3% af køleeffekten.

Forord

Formålet med projektet beskrevet i denne rapport har været at undersøge forskellig tilførsel af kølemiddel til kølemøbler i supermarkeder med indirekte køling med fordampende kuldioxid. Et forsøgsanlæg er opbygget hvor naturlig cirkulation og pumpecirkulation kunne undersøges.

Endvidere er undersøgt hvorledes afrimning bør foretages.

Dette projekt er et delprojekt af projektet "Energirigtig design og regulering af sekundærsiden på indirekte køleanlæg med naturlige kølemidler" med deltagelse af Institutet for Produktudvikling (projektansvarlig); Institut for Mekanik, Energi og Konstruktion, Danmarks Tekniske Universitet; Teknologisk Institut; Birch og Krogboe; Danfoss; Grundfos; York Refrigeration; TT-Coil, og Christian Berg. Projektet er blevet støttet økonomisk af ELFOR.

En særlig tak skal rettes til Arneg, der via Findan Køle- og Elteknik, Allingåbro, har stillet de anvendte kølemøbler til rådighed.

Endvidere skal rettes en tak til Hilmar Ómarssons, der gennem sit eksamensprojekt har medvirket til opbygning af forsøgsanlæg og gennemførelse af målingerne

Konklusionerne i denne rapport er alene undertegnede ansvarlig for.

Kongens Lyngby
December 2005

Hans Jørgen Høgaard Knudsen

Indholdsfortegnelse

Resume	i
Forord	ii
Indholdsfortegnelse	iii
Symbolliste	iv
1 Formål med undersøgelsen	1
2 Forsøgsopstilling	1
3 Forsøgsgennemførelse og resultater	4
3.1 1. forsøgsserie. Drift ved lufttemperatur -18°C	5
3.2 2. forsøgsserie. Afrimningsstrategi.	8
3.3 3. forsøgsserie. Drift ved 0°C	11
4 Diskussion	19
4.1 Opstartsproblemer	19
4.2 Fluktuerende flow	19
4.3 Maksimal belastning	19
4.4 Dampdannelse i væskeledning	20
4.5 Rørføring	20
4.5 Naturlig cirkulation/ pumpecirkulation	20
5 Konklusion	21
6 Referencer	22
Appendiks A. Anvendt måleudstyr	23
Appendiks B. Kølemøbler og cirkulationspumpe	24
Appendiks C. Behandling af forsøgsdata.	25
Appendiks D. Oversigt over forsøgsserier.	29

Symbolliste

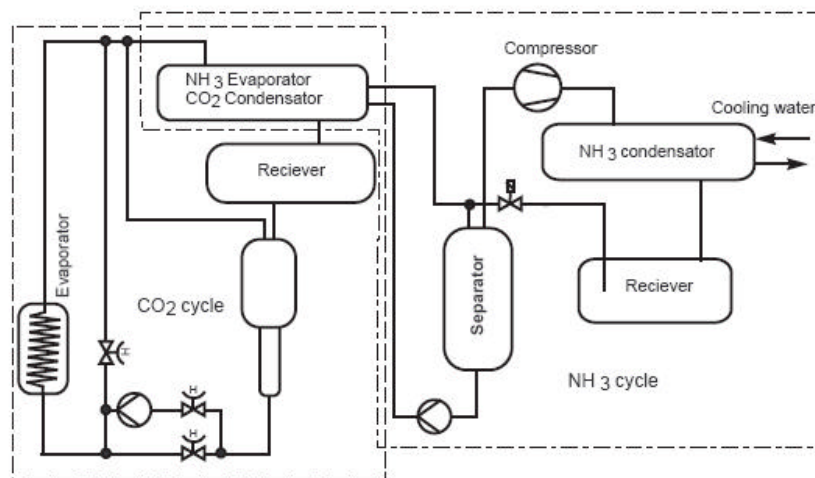
Flow	l/h	Volumenstrøm af kuldioxid målt på fordampertilgang (væske)
$T_{\text{air, in}}$	°C	Lufttemperatur ved fordampertilgang
$T_{\text{air, out}}$	°C	Lufttemperatur ved afgang fra fordamper
T_{defros}	°C	Temperatur af fordamperoverfladen.
T_{fid}	°C	Målt temperatur af kuldioxid ved fordamperudløb
T_{ind}	°C	Lufttemperatur ved tilgang til fordamper
T_{ud}	°C	Lufttemperatur ved udløb fra fordamper
T_{satud}	°C	Beregnet mætningstemperatur på grundlag af tryk ved fordamperudløb

1 Formål med undersøgelsen.

Formålet med den gennemførte forsøgsrække har været at sammenligne pumpecirkulation med naturlig cirkulation samt at se på afrimningsstrategi i forbindelse med fordampere med oversvømmet drift.

2 Forsøgsopstilling.

Den principielle opbygning af forsøgsanlægget er vist i Figur 2.1. Den primære kølekreds er et et-trins ammoniak anlæg medens den sekundære kølekreds er en kuldioxid kreds, hvor cirkulation af kuldioxid kan ske ved enten pumpecirkulation eller ved naturlig cirkulation.



Figur 2.1. Principiel opbygning af forsøgsanlæg.

Ammoniakkredsen har en 4 cylinder stempelkompressor, oversvømmet fordampere med pumpecirkulation og vandkølet kondensator. Ammoniakanlæggets kapacitet kan varieres dels ved manuel udkobling af cylindre dels ved variation af omdrejningstallet.

Omdrejningstallet kan enten indstilles manuelt på en fast værdi eller indstilles til at holde et konstant tryk i den sekundære kreds, kuldioxid kredsen. Der er i disse forsøg ikke foretaget målinger på ammoniakkredsen, der alene har haft til formål at levere den nødvendige kuldeydelse til den sekundære kølekreds.

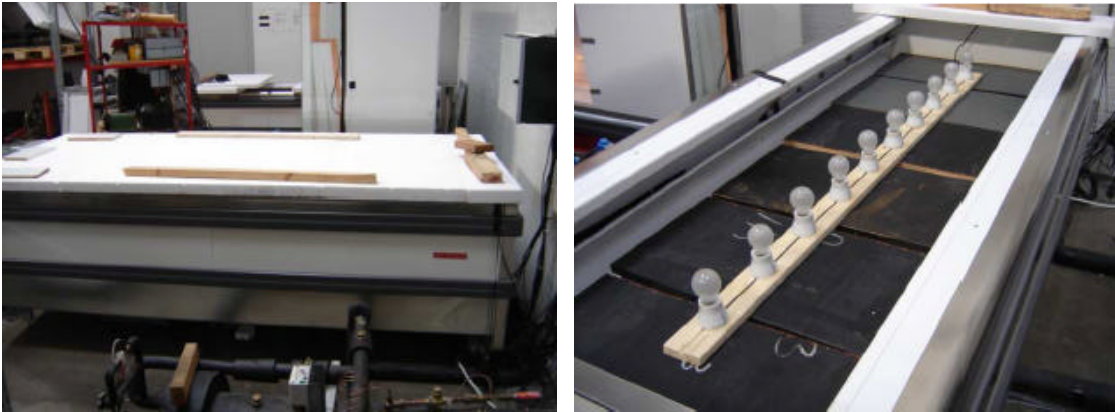
Den sekundære kølekreds er det egentlige mål for den gennemførte eksperimentelle undersøgelse. Kredsen er opbygget så den skulle svare til køleafdelingen i et mindre supermarked med køleanlægget placeret på taget. En sådan opbygning gør det muligt at anvende naturlig cirkulation af det sekundære kølemiddel, som i denne sammenhæng er fordampende kuldioxid. Da der ikke er nogen kompressor i den sekundære kølekreds er kredsen oliefri. Hovedkomponenterne i den sekundære kreds er kølemøblerne, to kølegondoler og en kølereol, kondensator, receiver samt pumpe. Endvidere er der tre forsøgsfordampere, som kan benyttes til at forøge belastningen på kondensatoren, som er ammoniakanlæggets fordampere. For at kunne undersøge drift ved naturlig cirkulation er receiveren monteret ca. 4 m højere end fordampere i kølemøblerne. Receiveren består

dels af en horisontal monteret cylinder med en diameter på 300 mm dels af en lodret monteret cylinder med indbygget niveaumåler. Placering ses i Figur 2.2.



Figur 2.2. CO₂-kondensator, receiver og niveaumåler.

Et by-pass omkring pumpen gør det muligt at gennemføre forsøg uden pumpen i drift (naturlig cirkulation). Tilførsel af kølemiddel til kølemøblerne reguleres med standard brine regulatorer, der indstilles til at holde en ønsket lufttemperatur i møblerne. Regulatoren kan fungere som en klassisk termostat (on/off) eller som en modulerende termostat. Den sekundære kreds er for hvert møbel forsynet med måleudstyr til måling af fordampningstemperatur, luftens til- og afgangstemperatur, fordampningstryk og trykfald over fordamperen samt flowmåler til måling af det cirkulerende flow af kuldioxid gennem fordamperen. For at kunne bestemme belastningen på møblerne er møblerne lukket med isoleringsplader og belastningen tilføres elektrisk (effekt afsætning i lyspærer, hvis spænding varieres) idet der dog korrigeres for varmetransmission gennem møblets overflade. Den elektriske belastning måles med watt-meter. I gondolerne er indlagt pladeplader svarende til maksimal fyldningshøjde og varmetilførslen sker over disse plader, hvor de 10 elektriske 100 watts pærer er fordelt på linie i gondolens længde. Denne belastning er en rimelig tilnærmelse til den virkelige belastning der kommer fra luftinfiltration samt belysning på det øverste lag. For reolen er belastningen fordelt på med 3*5 stk 100 watts pærer fordelt jævnt på 3 hylder (top, midt og bund). Placering af elektrisk belastning ses i Figur 2.3 og Figur 2.4.

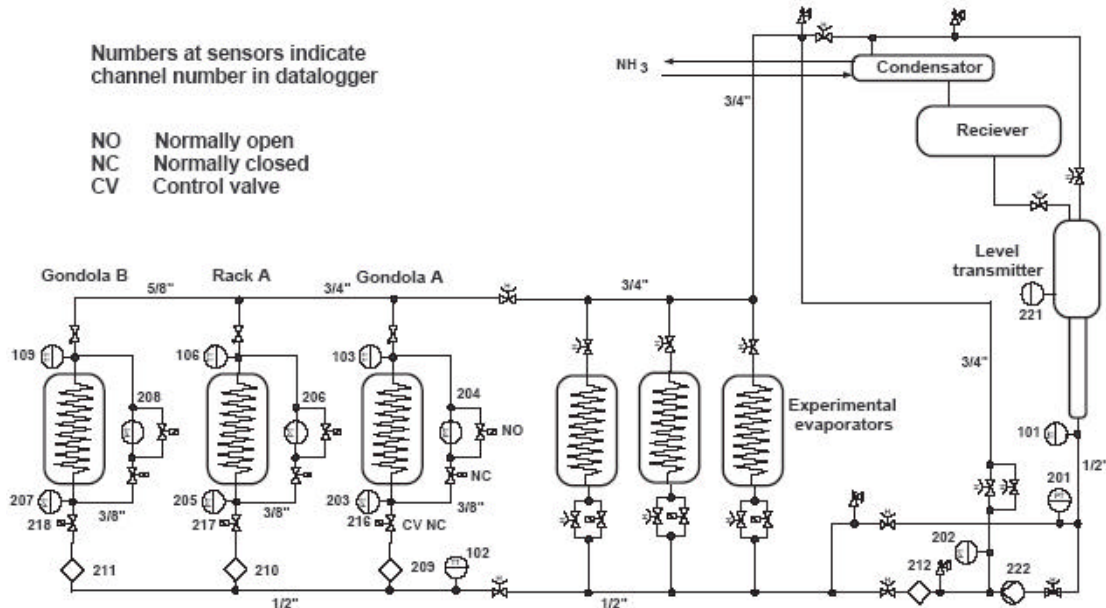


Figur 2.3. Gondol. Til venstre med isoleringsplade og til højre se placering af den elektriske belastning.



Figur 2.4. Reol. Placering af elektrisk belastning. Delvis isoleret.

Det anvendte måleudstyr er angivet i Appendiks A og placering er angivet i Figur 2.5. De anvendte kølemøbler er beskrevet i Appendiks B.



Figur 2.5. Placering af målepunkter i forsøgsanlæg. Kun CO₂-kreds

De anvendte kølemøbler er standard møbler. Fordamperne i møblerne er dimensioneret til kølemidlerne HCFC-22 og HFC-404A og udlagt til drift med direkte ekspansion af kølemidlet. Fordamperen er opdelt i 3 parallelle kredse, hvilket ikke er ideelt for drift med kuldioxid, hvor der kan tillades højere trykfald. Møblerne blev leveret med indbygget ekspansionsventil med påbygget fordeler. Det blev besluttet at gennemføre målinger med den oprindelige opbygning af fordampere idet kun ekspansionsventilens dyseindsats blev fjernet. Fordampere er således ikke ideelle for drift med kuldioxid men for der det primære formål, at sammenligne pumpecirkulation og naturlig cirkulation, kan de godt benyttes. På længere sigt er det meningen at gennemføre tilsvarende målinger med fordampere dimensioneret til drift med kuldioxid.

Det skal bemærkes, at der ved pumpecirkulation kan anvendes en lille trykstigning over pumpen, da den statiske trykstigning som følge af højdeforskel medvirker til at give et drivtryk.

3 Forsøgsgennemførelse og resultater.

Overordnet er gennemført 3 forsøgsserier. Den første serie blev gennemført med kun kølegondolerne i drift og en lufttemperatur på -18 °C, on/off termostat og regulering af kompressorens omdrejningstal på grundlag af trykket i kuldioxid kredsen. Som en del af denne måleserie blev i forbindelse med naturlig cirkulation også forsøgt at bestemme indflydelsen af væskespejlets højde over fordamperindløb. For at kunne bestemme væskeniveauet med rimelig nøjagtighed er væskeoverfladen i disse forsøg holdt i den lodrette del af receiveren, men på grund af det lille akkumulerende volumen i receiveren i forhold til voluminet af fordampere fås store svingninger i niveauet i forbindelse med reguleringsventilernes on/off perioder og dermed store variationer i flowet gennem

fordamperen.. Den anden serie havde til alene formål at se på afrimningsstrategi. Den tredje serie blev gennemført med alle tre kølemøbler i drift, en lufttemperatur på 0 °C, både on/off og modulerende termostat samt manuel indstilling af kompressorens omdrejningstal.

3.1 1. forsøgsserie: Drift ved lufttemperatur -18 °C.

Denne forsøgsserie blev gennemført i forbindelse med Hilmar Ómarsson's eksamensprojekt og findes beskrevet i /1/. Der er gennemført forsøgsrækker med lufttemperatur på -18 °C og fordampningstemperatur på -35 °C, -30 °C og -25 °C, både med pumpecirkulation og med naturlig cirkulation. Målingerne er gennemført dels med en enkelt gondol i drift dels med begge gondoler i drift. Målingerne med pumpecirkulation er gennemført med fast pumpekapacitet (50%). Trykket i kuldioxidkredsen holdes på den ønskede værdi ved at regulere ammoniakkompressorens omdrejningstal på grundlag af trykket i kuldioxidkredsen. Flowet gennem fordamperne er on/off styret hvilket giver anledning til trykvariationer. Det har ikke været muligt via omdrejningstalsregulering af ammoniakkompressorens at få et helt stabilt kondenseringstryk. Kondenseringstrykket varierer i takt med åbningen af reguleringsventilerne. Mindst variation i tryk ses ved høj belastning. I forbindelse med disse målinger blev observeret en nulpunktsforskydning af flowmålerenes visning i forhold til den gennemførte kalibrering før montering i forsøgsanlægget. Denne nulpunktsforskydning er senere lokaliseret til at skyldes en løs forbindelse ved flowmålerens strømforsyning. Med korrekt forbindelse til strømforsyning fås korrekt nulpunkt. De beregnede masseflow og dermed også tørhedsgrader for denne måleserie er således ikke korrekte dog må antages at forholdet mellem flowene er korrekt. Ligeledes måles i denne måleserie er ikke trykfaldt over fordamperne, da differenstrøksensducerne tilsyneladende ikke fungerede korrekt. Det har senere vist sig at årsagen til problemet med differenstrøksensducerne skyldtes forkert tilslutning af måleledningerne. På grund af tidsbegrænsningen for eksamensprojektet blev besluttet at gennemføre måleserien uden bestemmelse af trykfald over fordamperne. (Sidst gennemførte måleserie, måleserie 3, har korrekt måling af både flow og trykfald.)

Ved den maksimale belastning på ca. 1100 W fås ved fuldt åben ventil fluktuerende flow både med naturlig cirkulation og med pumpecirkulation. Figur 3.1 og Figur 3.2 viser temperatur og flow med to gondoler i drift og Figur 3.3 og Figur 3.4 viser temperaturerne for en gondol i drift. I Figur 3.3 og Figur 3.4 er flowet udeladt da det varierer så voldsomt, at man såfremt flowet var medtaget ikke kunne se temperaturvariationerne. Endvidere varierer temperaturen af kuldioxid på fordamperudløbet men dog væsentligt mere ved naturlig cirkulation (6 K) end ved pumpecirkulation (3 K). Ved naturlig cirkulation er afgang fra fordamperen i store perioder overhedet medens det for pumpecirkulation kun ske i kortere perioder. I alle disse forsøg er lufttemperaturen på fordampertilgangen -18 °C.

I figurene angiver:

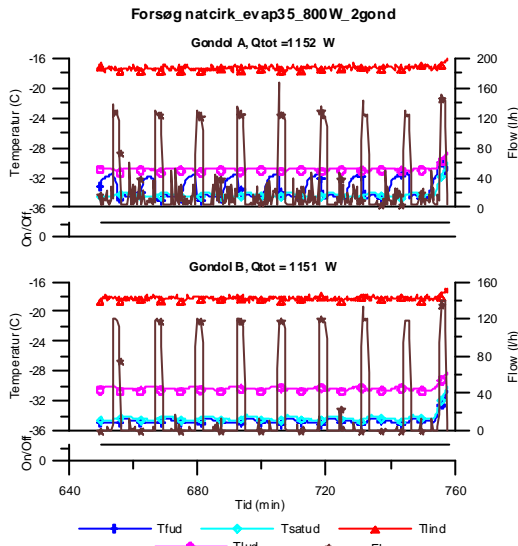
T_{fud}: Målt temperatur af kuldioxid ved fordamperudløb.

T_{satud}: Beregnet mætningstemperatur på grundlag af tryk ved fordamperudløb.

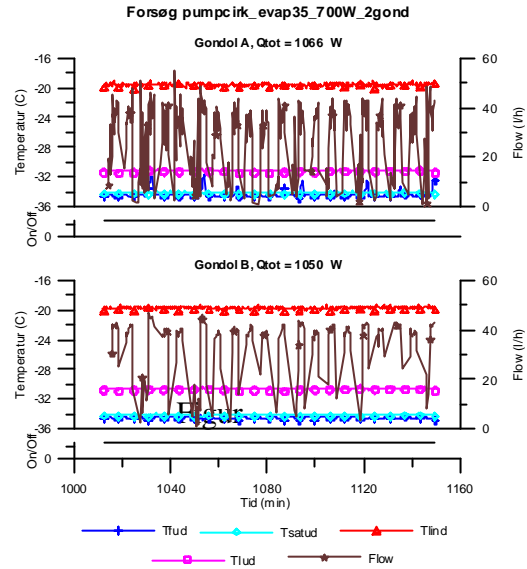
Sammenligning naturlig og tvungen cirkulation

- Tlind: Lufttemperatur ved tilgang til fordamper.
- Tlud: Lufttemperatur ved udløb fra fordamper.
- Flow: Volumenstrøm af kuldioxid målt på fordampertilgang (væske).

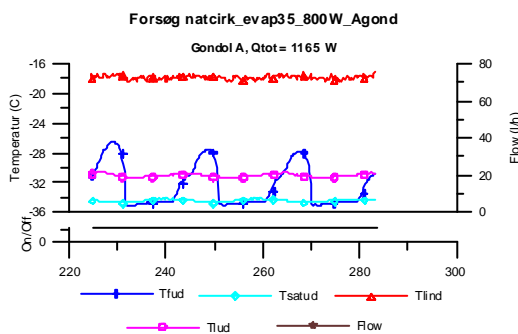
Ventilens er åben når værdien af On/Off er 1 og lukket når værdien af On/Off er nul. Den beregnede belastning (tilført elbelastning plus varmetransmission) er angivet i figurene.



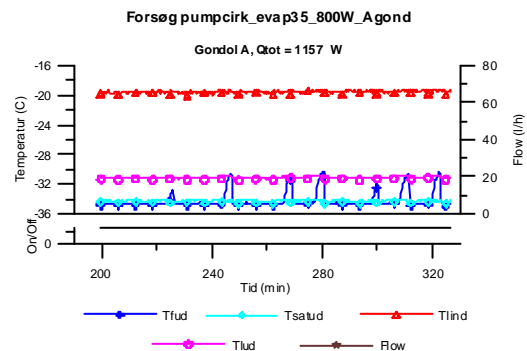
Figur 3.1. Temperatur og flow ved naturlig circulation med fuldt åben ventil. 2 gondoler i drift.



Figur 3.2. Temperatur og flow ved pumpe cirkulation med fuldt åben ventil. 2 gondoler i drift



Figur 3.3. Temperatur og flow ved naturlig circulation med fuldt åben ventil. 1 gondol i drift.

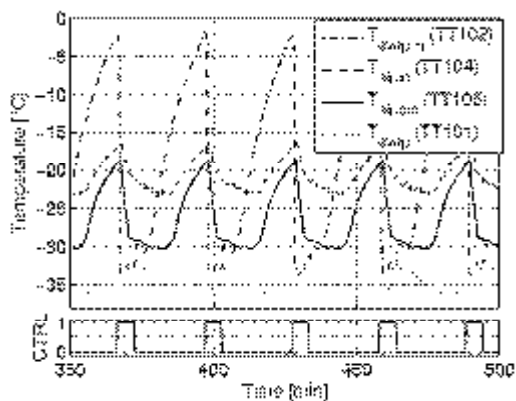


Figur 3.4. Temperatur og flow ved pumpe cirkulation med fuldt åben ventil. 1 gondol i drift

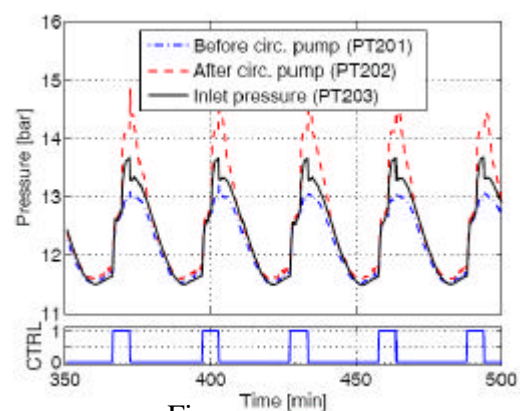
Det varierende flow gennem fordamperen, specielt ved naturlig cirkulation, kan forklares ved dampdannelsen i fordamperen samt at der er monteret en kontraventil på fordamperafgangen. Ved højt flow fyldes fordamperen med væske så hurtigt (forbundne kar), at dampdannelse ikke når at finde sted. Trykdifferens mellem til- og afgang falder derfor til nul på grund af ren væske i både fald- og stigledning og flowet bliver derfor nul. I den efterfølgende periode sker en dampdannelse som følge af varmetilførsel til kuldioxiden. Den dannede damp vil forlade fordamperen gennem stigrøret, hvis densiteten i derfor falder. En trykdifferens over fordamperen vil blive opbygget, da der stadig er ren væske i faldledningen og fordamperen fyldes på ny med væske. Grunden til at fordamperen får overhedet afgang kan skyldes, at der er monteret en kontraventil på afgangen som kræver et differenstryk for at åbne og dette differenstryk opnås først med overhedet afgang.

Den maksimale ydelse er i denne serie den samme for både naturlig cirkulation og pumpe cirkulation.

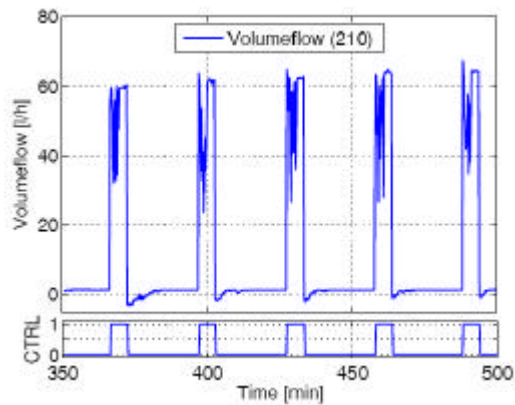
For belastning lavere end den maksimale vil reguleringsventilen arbejde og der fås typisk et forløb vist i Figur 3.5 til Figur 3.8 (Fra /1/, kun en gondol i drift). Som det fremgår af figurerne varierer alle måledata med en periode svarende til ventilens arbejdscyklus. Temperaturen af kuldioxid ved indløb til fordamperen bliver væsentlig højere end udløbstemperaturen i ventilens off-periode hvilket skyldes placeringen af temperaturføleren på kølemiddeltilgangen uden for kølemøblerne.



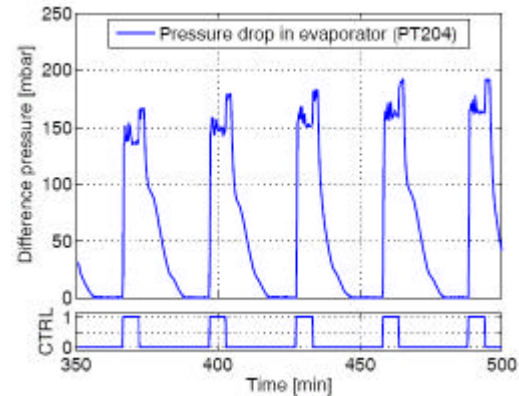
Figur 3.5. Temperaturvariation.



Figur 3.6. Trykvariation.



Figur 3.7. Volumenstrøm til fordamperen



Figur 3.8. Trykfald over fordamperen.

3.2 2. forsøgsserie. Afrimningsstrategi

Denne forsøgsserie blev ligeledes gennemført i forbindelse med Hilmar Ómarsson's eksamensprojekt. Fordamperne i gondolerne er forsynet med elektriske varmelegere til afrimning af fordamperen. Tilrimning af fordamperne blev forceret ved hjælp af dampgenerering i selve gondolen. Dampen blev generet ved hjælp af 3 elkogekedler placeret øverst i gondolen. Denne måde at tilrime fordamperne på kan have medført et andet tilrimningsmønster end ved normal drift med tilrimning som følge af luftinfiltration. Med den anvendte tilrimningsmetode er fugtindholdet i den cirkulerende luft højere end ved luftinfiltration hvilket kan give en lidt mere jævn tilrimning af fordamperoverfladen.

Afrimningsforsøgene blev gennemført med omtrent samme ismængde på fordamperen men med forskellig tidforsinkelse mellem start af afrimningssekvens og aktivering af afrimningsvarmelegemeerne.

I forbindelse med afrimningsforsøgene blev monteret en temperaturføler direkte på fordamperoverfladen. Temperaturen ved denne føler antages at være lig med fordamperoverfladens temperatur og anvendes som indikation for afrimningsforløbet. Tabel 3.1 giver en oversigt over afrimningsforsøgene, der alle er gennemført med en fordampningstemperatur på $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Den anvendte ismængde svarer til den forventede ismængde ved 12 timers normal drift.

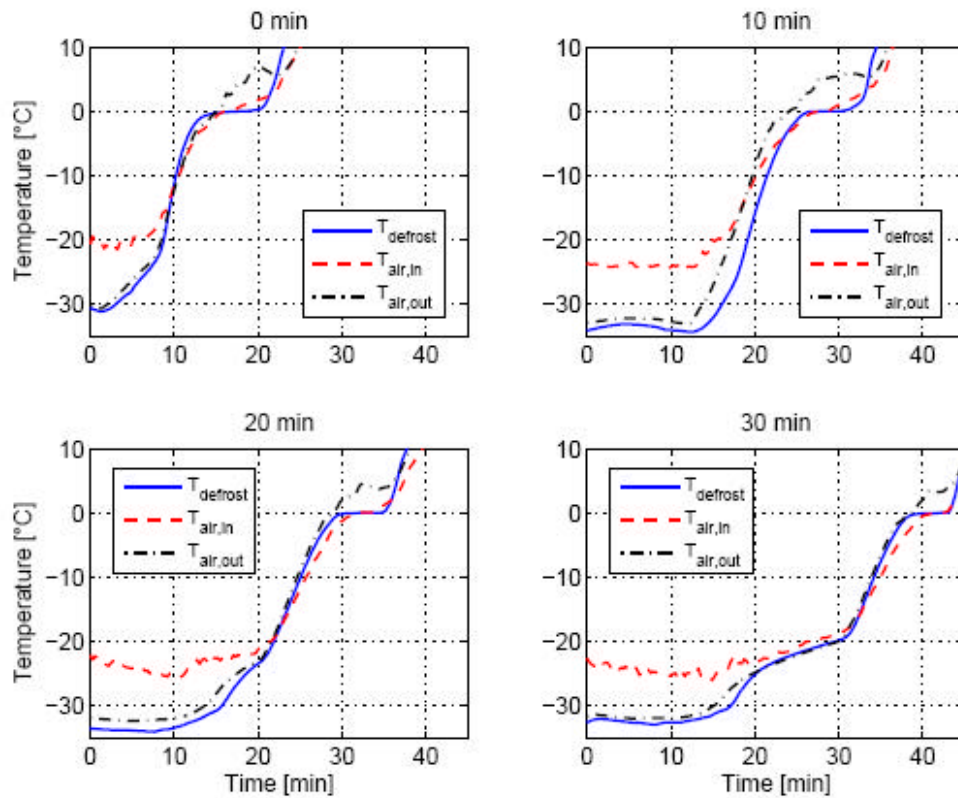
Table 3.1. Oversigt over afrimningsforsøg

Tidsforsinkelse (min)	Ismængde (g)
0	1020
10	1057
20	1178
30	1003
18	1500
5	2000

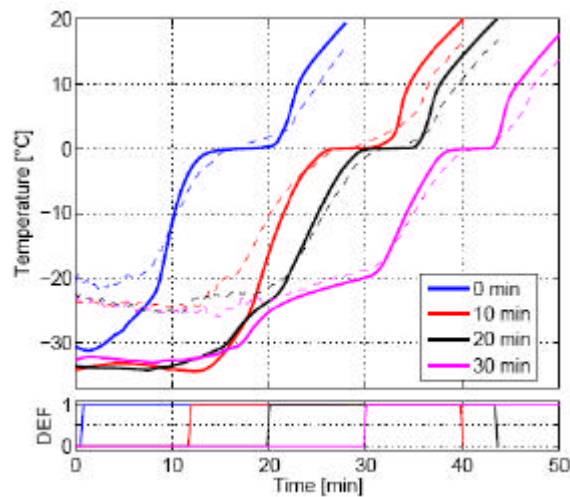
I Figur 3.9 er vist den målte tid, temperatur sammenhæng. I figuren er vist tre temperaturer:

- T_{defrost} : Temperatur af fordamperoverfladen.
- $T_{\text{air, in}}$: Lufttemperatur ved fordampertilgang.
- $T_{\text{air, out}}$: Lufttemperatur ved afgang fra fordamper.

Af Figur 3.9 fremgår, at der i en tidsperiode efter afrimningssekvensens start stadig leveres en køleydelse, hvilket ses af at luften køles i fordamperen. Endvidere ses, at temperaturen af fordamperoverfladen ved forsinket start af elvarmelegemerne holder sig på en næsten konstant værdi. Årsagen til dette er at der stadig sker en fordampning af kølemiddel i fordamperen. Når overfladetemperaturen begynder at stige er der ikke længere kølemiddel i fordamperen og kølingen ophører, hvilket ses af at luftens til- og afgangstemperatur bliver den samme. Ved indkobling af varmelegemerne fås en hurtigere stigning af overfladetemperaturen indtil overfladetemperaturen stabiliserer sig en tid ved 0°C for derefter igen at stige. Stabiliseringen ved 0 °C skyldes smeltning af is på fordamperoverfladen



Figur 3.9. Tid, temperaturforløb for afrimningsforsøgene. Tiden over figurene er tidsforsinkelsen.



Figur 3.10. Sammenligning af temperaturforløb ved afrimningsforsøgene.
 Fuldt optrukket kurve: Overfladetemperatur
 Stiplet kurve: Lufttemperatur ved indløb.

Den tid elvarmelegemerne er indkoblet for at få en overfladetemperatur på 5 °C er som vist i nedenstående tabel 3.2.

Tabel 3.2. Data for afrimningsforsøg

Tidsforsinkelse (min)	Ismængde (g)	Elvarmelegeme (min)
0	1020	22
10	1057	23
20	1178	17
30	1003	15

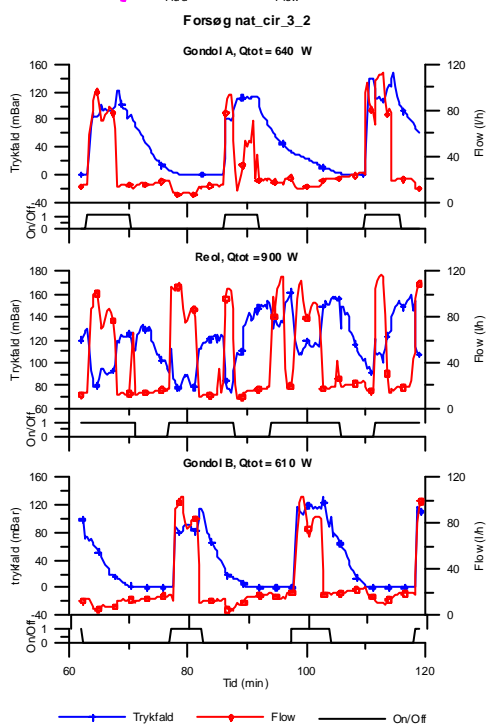
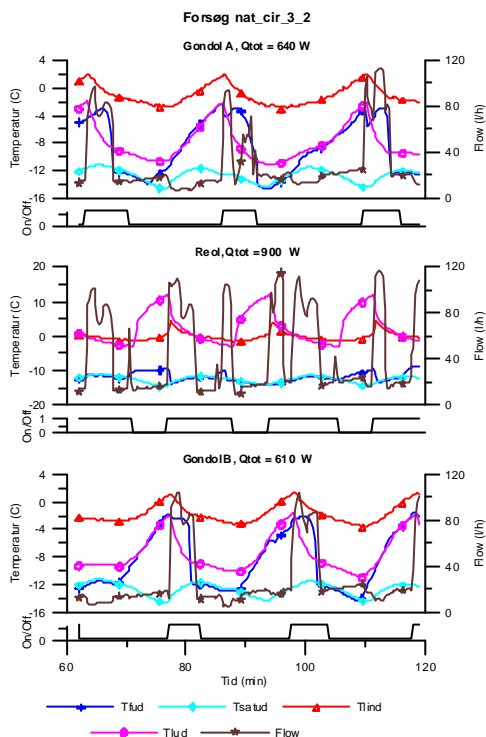
Da elvarmelegemerne har konstant effekt er indkoblingstiden et relativt målt for energiforbruget anvendt til afrimning. Der kan spares ca. 30% på energiforbruget til afrimning ved at forsinke indkobling af varmelegemerne. Tidsforsinkelsen afhænger imidlertid af kølemiddel fyldningen i fordampere og der bør derfor anvendes et signal til indikation af at al kølemiddelvæske er fordampet. Et sådant signal kan være differensen mellem lufttemperaturen ud af fordampere og temperaturen af fordampereoverfladen, da denne differens bliver meget lille, når al kølemiddel er fordampet. En differens på 3 K kunne vælges.

En anden mulighed til bestemmelse af indkoblingstidspunkt kunne være at benytte, at temperaturforløbet ændre hældning når der ikke længere er fordampende væske i fordampere.

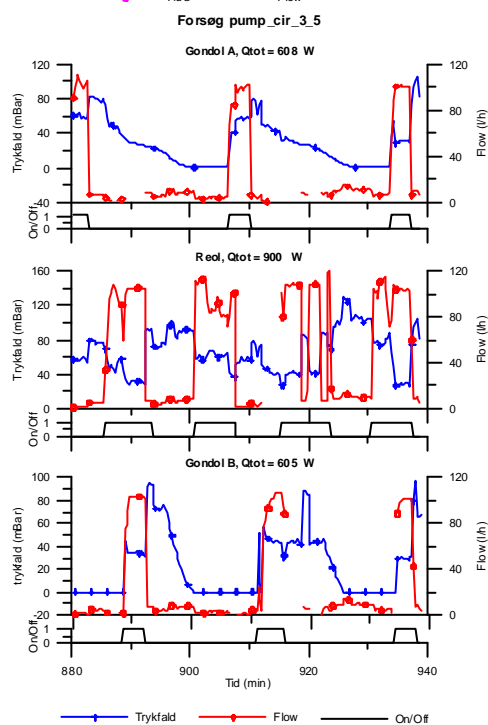
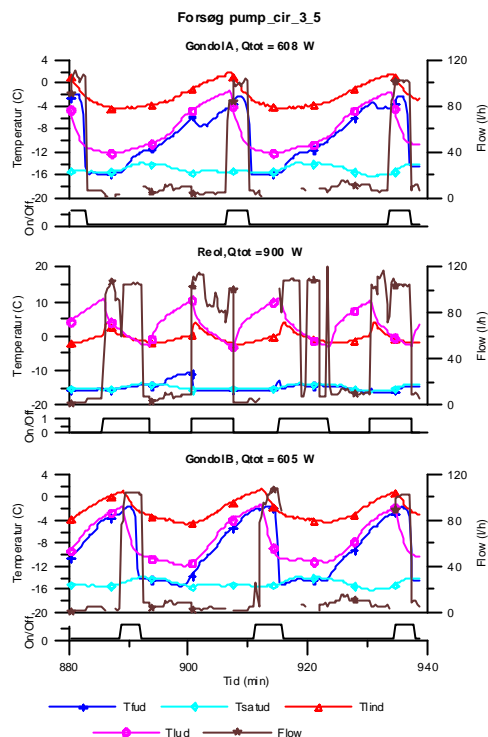
Foruden indkoblingstidspunkt af varmelegemer bør også udkoblingstidspunktet fastlægges ud fra målt temperatur. Her vil det være naturligt at anvende overfladens temperatur til indikation af, at al is er smeltet. Når overfladetemperaturen når f.eks. 5 °C må forventes at overfladen er afrimet og elvarmelegemerne kan udkobles. Placering af overfladeføleren kan være kritisk, da ispåfrysningen ikke sker jævnt på fordampereoverfladen. Flere overfladefølere kan afhjælpe dette, men en vis erfaring vil være påkrævet for at kunne placere følerne korrekt.

3.3 3. forsøgsserie. Drift ved lufttemperatur 0 °C.

I denne serie er gennemført målinger dels med alle tre møbler, 2 gondoler og 1 reol, dels med kun reolen i drift. De første målinger i denne serie har som de tidligere serie en fejl ved måling af volumenstrømmene på grund af løs forbindelse i strømforsyningen men de sidste målinger har korrekt måling af volumenstrømmene. Alle målinger i denne serie har måling af trykfald over fordampere. De første målinger blev gennemført med On/Off-termostat medens de sidste målinger blev gennemført med modulerende termostat. I de første målinger blev ammoniak anlæggets kapacitet (kompressorens omdrejningstal) reguleret på grundlag af kondenseringstrykket i kuldioxid kredsen. Med denne form for regulering fås lidt større fluktuationer i kuldioxid kredsens kondenseringstryk end med et fast omdrejningstal af ammoniakkompressoren. De sidste målinger er gennemført med konstant omdrejningstal. En del af fluktuationen i kondenseringstrykket skyldes reguleringsventilernes åbning og lukning.



Figur 3.11. Naturlig cirkulation
On/Off termostat.



Figur 3.12. Pumpecirkulation
On/Off termostat.

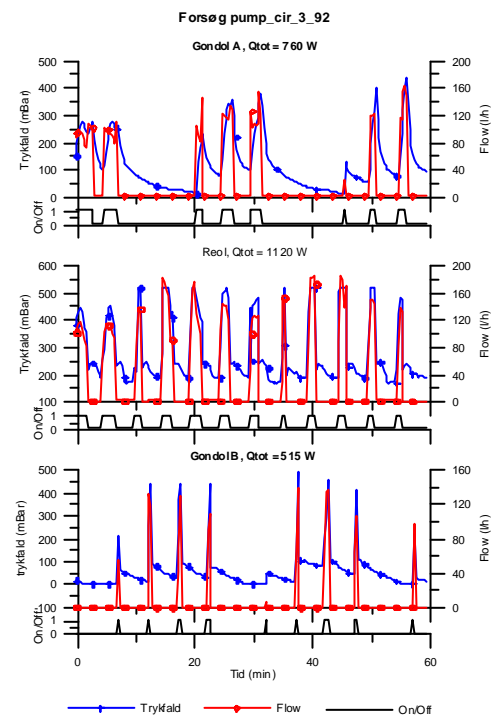
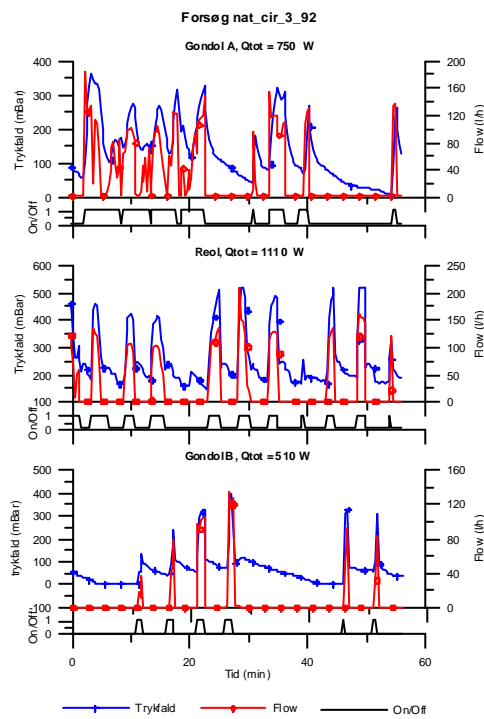
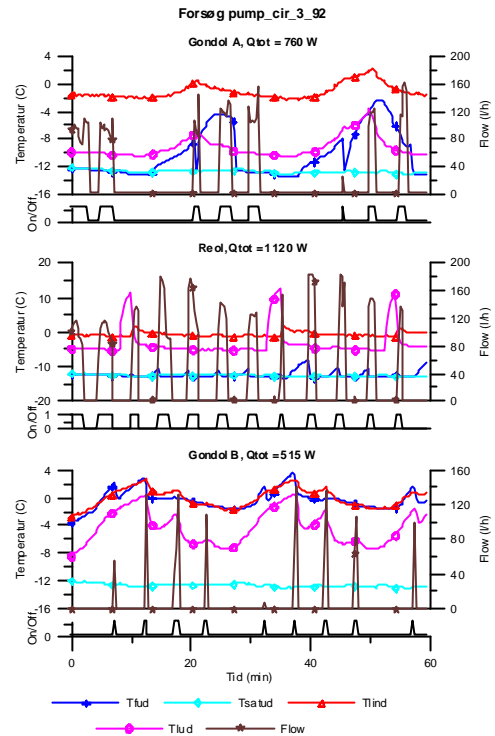
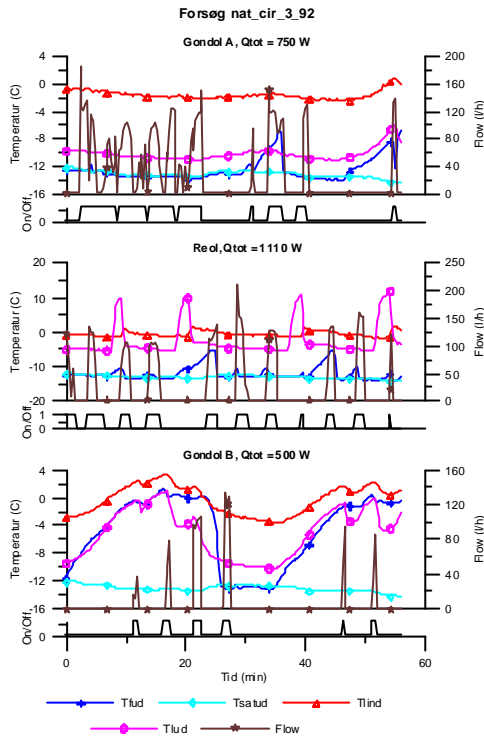
Figur 3.11 og Figur 3.12 viser temperatur, flow og trykforløb for henholdsvis naturlig cirkulation og pumpecirkulation med omtrent samme belastning og tilnærmet samme fordampningstemperatur i møblerne med On/Off termostatfunktion. Pumpen er indstillet på 50% kapacitet og der er åbnet i by-pass mellem pumpen og kondensatoren.

Af Figur 3.11 og Figur 3.12 ses at trykfaldet over fordamperne er næsten det samme for naturlig cirkulation og pumpecirkulation. Det samme gælder for flowene men variation af flow er mindre ved pumpecirkulation end ved naturlig cirkulation især for reolen. Grunden til at flowene er næsten ens i de to driftsformer skyldes at trykstigningen over pumpen er lille sammenlignet med den statiske trykstigning samt at en del af flowet gennem pumpen ledes direkte tilbage til kondensatoren via by-passet. Det fremgår også af disse figurer, at mætningstemperaturen ved fordamperudløb varierer.

Figur 3.13 og Figur 3.14 viser for omtrent samme driftsbetingelser som i Figur 3.11 og Figur 3.12 tilsvarende forløbet med modulerende termostatfunktion. Der haves næsten samme forløb.

I Figur 3.11 til 3.14 bliver lufttemperaturen ved fordamperudløb i reolen ved lukket ventil højere end tilgangsluftens temperatur. Årsagen til dette er ikke helt klarlagt men skyldes formentlig at denne temperaturføler er anbragt i luftkanalen over reolen. Lufttemperaturen kan her blive ret høj på grund af den eleffekt der afsættes på den øverste hylde specielt hvis luftcirkulationen hen over hylden er lav. Temperaturføleren er senere flytte så den er placeret direkte i luftstrømmen der indblæses gennem gitteret øverst i reolen. Målingerne herefter har korrekt forhold mellem temperatur før og efter fordamper. Målepunktet burde være monteret direkte efter fordamperen før luftkanalen.

Sammenligning naturlig og tvungen cirkulation



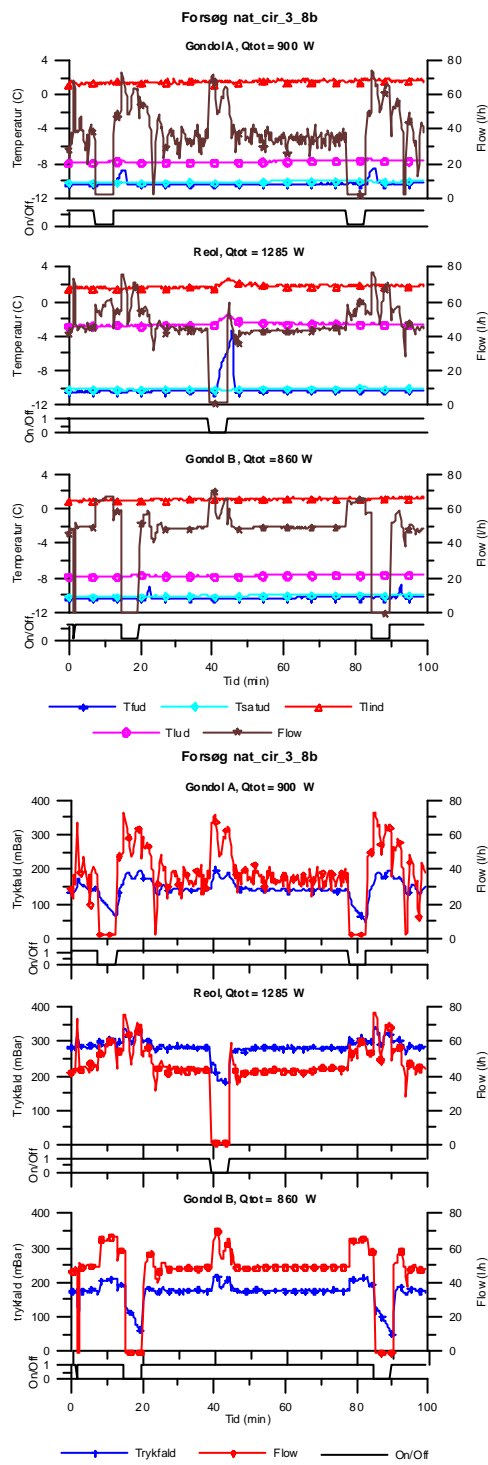
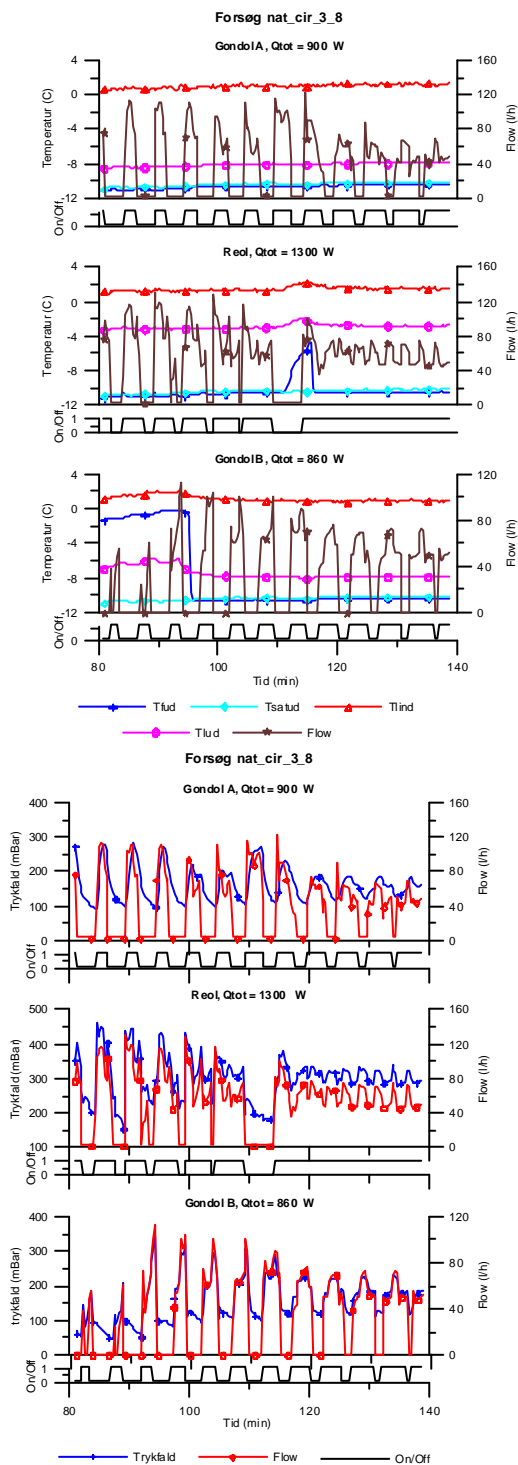
Figur 3.13. Naturlig cirkulation
Modulerende termostat.

Figur 3.14. Pumpecirkulation
Modulerende termostat.

Figur 3.15 og Figur 3.16 er viser temperatur, massestrøm og trykforløb for målinger gennemført med samme indstilling af påtrykt belastning. Kuldioxidens

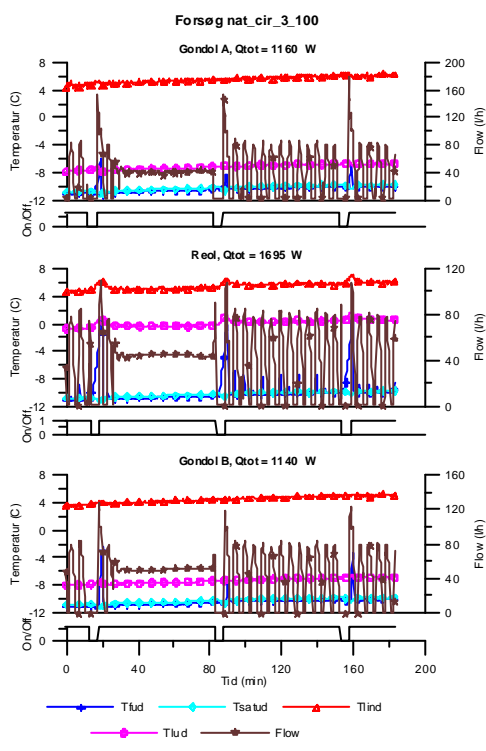
kondenseringstemperaturen skulle også være den samme i de to målinger men der er ca. 0.6 K i forskel idet temperaturene er $-11.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $-10.6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Denne lille forskel i kondenseringstemperatur giver en stor forskel i ventilernes åbningstid. I Figur 3.15 arbejder alle ventilerne med relativt korte On perioder i måleperioden medens de i Figur 3.16 arbejder med meget lange On perioder. Målingen gengivet i Figur 3.15 er dog ikke helt i kvasistatisk ligevægt da kondenseringstemperaturen stiger fra $-12.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $-10.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ i måleperioden. Ligesom ventilernes åbningsperiode stiger, specielt åbningstiden for reolen ændre sig over måleperioden på ca. 2 timer.

Sammenligning naturlig og tvungen cirkulation

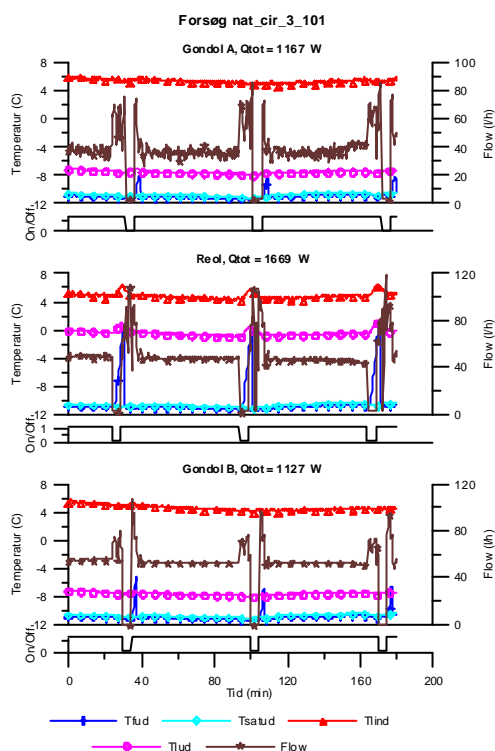


Reguleringen af de enkelte møbler påvirker de andre, hvilket fremgår af Figur 3.16. Denne måling har meget stabile flow og der ses en tydelig påvirkning af flowet gennem det enkelte møbel når ventilen i et andet møbel aktiveres. Flowet i Gondol A fluktuerer lidt mere end flowet i de to andre møbler. Dette kan skyldes at eventuel dampdannelse i den fælles væskestreng udskilles på tilgangen af Gondol, A som det første møbel på den fælles væskestreng.

Små ændringer kan ved høj belastning får flowet gennem møblerne til at fluktuerer. For at undersøge stabiliteten er gennemført forsøg hvor reguleringen af møbeltemperaturen er sat ud af funktion med det formål at holde reguleringsventilen fuldt åben. Dog lukker ventilerne en gang i timen. I Figur 3.17 er vist resultatet for en sådan måling med naturlig cirkulation. Efter en indledende periode på ca. 20 minutter aktiveres ventilerne. Herefter fås en periode på ca. 60 minutter hvor flowene er meget stabile. Ventilerne aktiveres på ny men herefter bliver flowene ustabile. Det skal dog bemærkes, at der ikke er ligevægt, da lufitemperaturen er svagt stigende. Der er senere gennemført måling med samme indstilling, Figur 3.18 men her haves i hele måleperioden stabilt flow. Et tilsvarende forløb er set i forbindelse med pumpecirkulation men her skyldes ustabiliteten tilsyneladende at der ikke var lukket fuldstændigt for by-passet over pumpen.



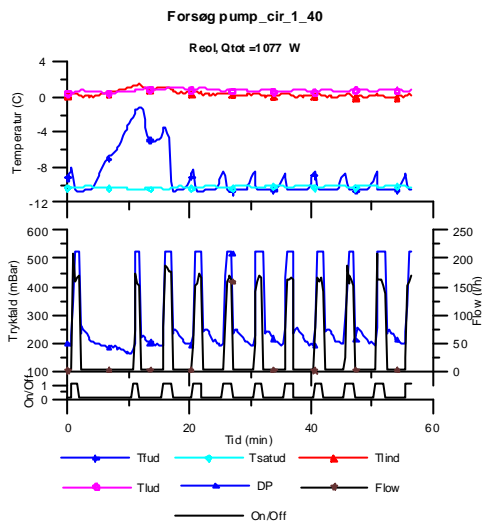
Figur 3.17. Naturlig cirkulation
Instabilt flow



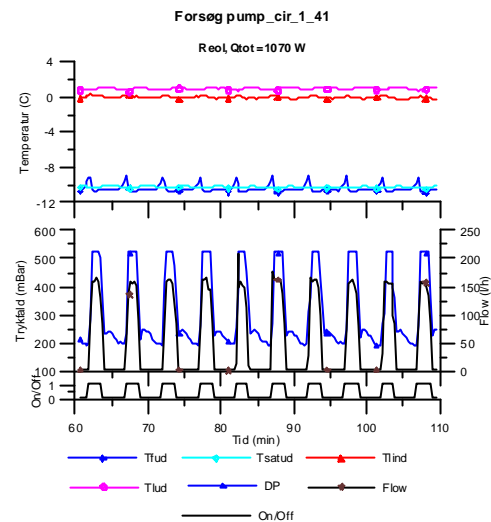
Figur 3.18. Naturlig cirkulation
Stabilt flow

I forbindelse med pumpecirkulation er undersøgt indflydelse af pumpekapacitet, som kan varieres fra ca. 15% til 100%. Figur 3.19 er måleserie med 100% pumpekapacitet, Figur 3.20 er måleserie for samme belastning men med 50% pumpekapacitet og endelig er

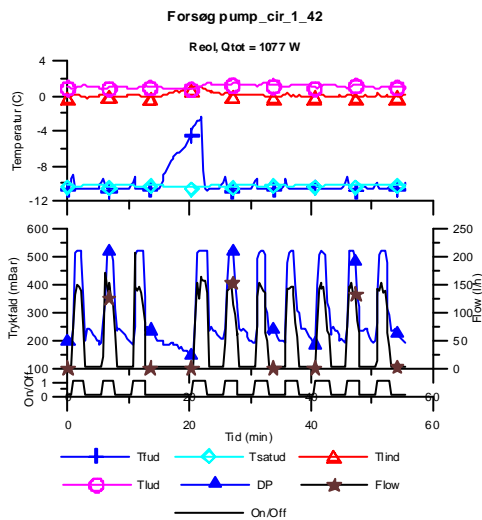
Figur 3.21 en måleserie for samme belastning med kun 15% pumpekapacitet. Den målte trykstigning over pumpen er i de tre målinger 148 mBar, 146 mBar og 122 mBar. Denne trykstigning skal sammenholdes med den statiske trykstigning på ca. 390 mBar. Trykstigningen over pumpen udgør således kun ca. 25% af det samlede maksimale drivtryk (med ren gas i stigledning), hvilket også kan forklare, at flowet gennem reol er næsten det samme i de tre måleserier.



Figur 3.19. Pumpekapacitet 100%



Figur 3.20. Pumpekapacitet 50%



Figur 3.21 Pumpekapacitet 15%

4 Diskussion.

4.1 Opstartsproblemer.

For at sikre helt afrimede fordampere ved hvert forsøgs afrimes fordampere hele natten. Ved opstart har det i end nogle tilfælde ikke været muligt at få cirkulationen i gang med naturlig cirkulation og i nogle få tilfælde har det også været problematisk i forbindelse med pumpecirkulation selv om der skulle være maksimalt differenstryk til rådighed, idet stigledningen er ren gasfyldt ved opstart. Cirkulationen er kommet i gang ved at åbne for den ene af testfordampere i nogle få minutter.

Grunden til dette problem må søges i rørføringen. For at måle flowet gennem de enkelte fordampere er der monteret et variabelt areal flowmeter på væsketilgangen af fordampere. Denne måler type krævet at flowet forløber lodret fra bund til top. Der er således gaslommer i væskeledningen, hvilket der normalt skal undgås. Disse gaslommer i væskeledningen kan være forklaring på det konstaterede opstartsproblem.

Ved pumpecirkulation kan problemet skyldes minimums by-passet over pumpen. Dette by-pass er nødvendigt for at sikre smøring og køling af pumpen. Det kan tænkes at flowet i opstartsfasen kun sker i by-passet. En måde at undgå dette problem på er at montere minimums by-passet helt ude ved den fjerneste fordampere. Hermed ville der også være sikret væske i væskeledningen selv om ventilen i væsketilførsel til alle fordampere er lukket samtidig.

4.2 Fluktuerende flow.

Med fuldt åben ventil fås ved naturlig cirkulation ofte fluktuerende flow gennem fordampere selv om væskniveau i receiver er stabilt. Ved pumpecirkulation fås i de fleste målinger med fuldt åben ventil et stabilt flow gennem fordampere specielt med pumpen på 100% kapacitet. Pumpen er således med til at stabilisere flowet.

Det varierende flow gennem fordampere, specielt ved naturlig cirkulation, kan forklares ved dampdannelsen i fordampere. Ved højt flow fyldes fordampere med væske så hurtig, at dampdannelsen ikke når at finde sted. Trykdifferens mellem til- og afgang falder derfor til nul på grund af ren væske i både fald- og stigledning og flowet bliver derfor nul. I den efterfølgende periode sker en dampdannelsen som følge af varmetilførsel til kuldioxid. Den dannede damp vil forlade fordampere gennem stigrøret, hvis densiteten i derfor falder. En trykdifferens over fordampere vil blive opbygget, da der stadig er ren væske i faldledningen og fordampere fyldes på ny med væske.

Ved pumpecirkulation vil der være en tvungen cirkulation gennem fordampere selv om der ikke er dannet damp.

4.3 Maksimal belastning.

Den maksimale belastning er den samme for naturlig og tvungen cirkulation. Ved en fordampningstemperatur på $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ og en temperatur på fordampertilgang, hvilket svarer

til lufttemperaturen i møblet, på 0 °C er den maksimale eksterne belastning inklusiv varmetransmissionstab for reolen 1250 W og for gondolerne 900 W.

4.4 Dampdannelse i væskeledning.

Ved en væsketemperatur lavere end omgivelsernes temperatur er der en risiko for dampdannelse i væskeledningen som følge af varmeindtrængning. Risikoen er størst ved naturlig cirkulation da underkølingen i væskeledningen her alene skyldes den statiske trykstigning i faldledningen. Ved pumpecirkulation haves på grund af trykstigningen over pumpen en større underkøling end ved naturlig cirkulation og dermed mindre risiko for dampdannelse. Risiko for dampdannelse er størst ved frostmøbler og specielt ved lav massestrøm i væskeledningen. Dampdannelse kan dog også ske ved meget høj massestrøm, hvor kombination af varmeindtrængning og friktionstrykfald kan overstige den underkøling der er resultatet af den statiske trykstigning i faldledningen.

I forsøgene har det ikke været muligt at se strømmingen selv om der er monteret skueglas i væskeledningen, men beregninger i forbindelse med forsøgene viste, at der kunne dannes damp. Den dannede dampmængde var dog lille så det kunne antages, at strømningsformen var en homogen boblestrømning for hvilken en middeldensitet kan bestemmes på grundlag af tørhedsgraden.

4.5 Rørføring.

Den rørføring der er anvendt i forbindelse med forsøgsanlægget er ikke optimal for naturlig cirkulation på grund af dampplommer i væskeledningen. Dampplommer i væskeledningen bør altid undgås og der bør være en afgangsledning uden ved møblerne så eventuelt dannet damp kan ledes direkte tilbage til kondensatoren. Dette kan være en by-pass ledning der sikrer et begrænset flow i væskeledningen selv med alle ventiler lukket. På denne måde kan væskeledningen holdes afkølet.

I forsøgsanlægget er benyttet en fælles returledning ved gulv foran stigledningen. For at undgå tilbagestrømning er afdelingen af fordampere forsynet med en kontraventil., hvilket kan være en af årsagerne til opstartsproblemerne. For at undgå kontraventilerne bør der være en separat stigledning for hver fordamper som kan ledes ovenfra ned i en fælles returledning med fald mod kondensatoren.

Der er anvendt standard fordampere som i dette tilfælde har været forsynet med 3 parallelle løb. Der bør kun være et løb i fordamperen. Rørdimensionen bør fastlægges ud fra en beregning af trykfaldet gennem fordamperen.

4.6 Naturlig cirkulation/ pumpecirkulation

Ved højtliggende receiver vil der altid være en statisk trykstigning fra receiver til fordampertilgangen. I forsøgsanlægget har det statiske tryk være omtrent 390 mBar. Ved pumpecirkulation har trykforøgelsen over pumpen kun være omtrent 150 mBar, så selv med det der i forsøgene er benævnt pumpecirkulation har der været et væsentligt bidrag fra naturlig cirkulation. Pumpen har dog medvirket til at give en mere stabil drift ved maksimal belastning. Specielt i forbindelse ved forsøg med møbeltemperatur på -18°C hvor temperaturen af kuldioxid er mellem -25°C og .35°C og varmeindtrængning i

væskeledningen derfor relativ stor. Effektforbruget til pumpen er målt til ca. 100 W ved 100% kapacitet og 45 W ved 15% kapacitet. Denne effekt svarer til ca. 3% af den leverede kuldeydelse.

5 Konklusion.

Det er muligt at anvende naturlig cirkulation de steder, hvor receiveren er placeret væsentligt højere end fordampere. Det kan dog tilrådes at anvende en pumpe til at forøge underkølingen i væskeledningen så dampdannelse undgås i væskeledningen. Det er specielt vigtigt i forbindelse med frostmøbler på grund af den større varmeindtrængning i forhold til kølemøbler. Minimums flow gennem pumpen bør sikres med en by-pass ledning som bør være anbragt ved den fjerneste fordamper hvis det er praktisk muligt. Normalt findes by-passet direkte ved pumpen.

Ved naturlig cirkulation skal rørføringen være uden dampplommer. For at forbedre væsketilførsel til fordampere bør der være en by-pass ledning ved den fjerneste fordamper så væskeledningen hele tiden holdes afkølet. By-passet vil også medvirke til at undgå opsamling af damp i væskeledningen.

Der bør anvendes separat stigledning for hver fordamper som ledes ovenfra ned i en fælles returledning med fald mod kondensatoren. Herved kan kontraventil ved fordamperafgang og der dermed forbundne trykfald elimineres.

Til styring af indkobling af varmelegemer til afrimning af fordampere bør anvendes en overfladeføler der sikrer, at fordampere er næsten tømt for kølemiddelvæske før varmelegemerne indkobles. Udkobling af varmelegemerne bør også styres ved hjælp af en overfladeføler.

6 Referencer.

- 1: Hilmar Ómarsson: Carbon Dioxide as a Secondary Refrigerant in Supermarket Refrigeration. Master Thesis, Department of Mechanical Engineering, Section of Energy Engineering, Technical University of Denmark. September 2005. MEK-ET-EP-2005-02
- 2: Morten Juel Skovrup: Thermodynamic and Thermophysical Properties of Refrigerants. Department of Energy Engineering, Technical University of Denmark. April 2000. ET-Ph.D. 2000-04

Appendiks A.

Anvendt måleudstyr.

Temperaturmåling.

Kobber-Konstantan termoelementer. Fremstillet på MEK og kalibreret i forhold til MEK's sekundære temperaturnormal.

Trykmåling.

a) Absoluttryk. Danfoss AKS 32.

b) Differenstryk. Danfoss MBS 7000.

Trykmålerne er kalibreret i forhold til MEK's primære trykstandard.

Flowmåling.

Bailey, Fischer & Porter. Variable Area Flowmeter. Seria 10A5400
Kalibreret med vand.

Massestrømsmåler.

Danfoss Mass 1100

Kalibreret med vand.

Niveaumåler.

Danfoss. AKS 41.

Kalibreret i opstilling med kuldioxid.

Elektrisk effekt.

a) Belastning i kølemøbler.

Camille Bauer SINEAX PQ-502

b) Pumpeeffekt.

Hartmann & Braun AG type 2-Pe

Åbningstid for reguleringsventiler.

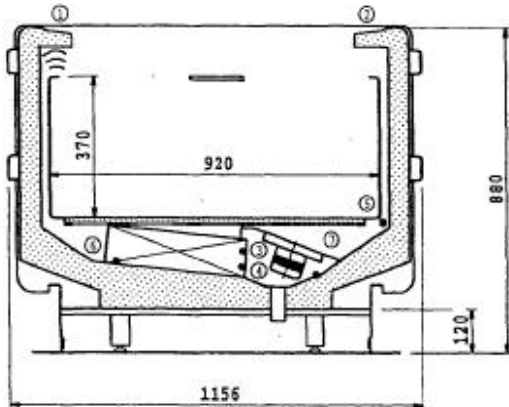
Signal fås fra Danfoss AKC-regulatorerne til styring af væsketilgang til fordamperne.

Dataopsamling.

Agilent Technologies 34970A Data Acquisition System.

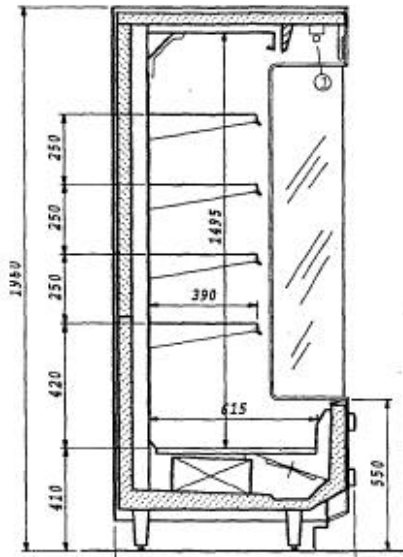
Appendiks B.

Anvendte kølemøbler:



Kølegondol

Ameg Madrid RNS. Længde 2,5 m.
Nominel kølekapacitet 954 W ved
fordampningstemperatur -38°C og en
lufttemperatur på -18°C med kølemiddel
R404A.
3 ventilatorer.

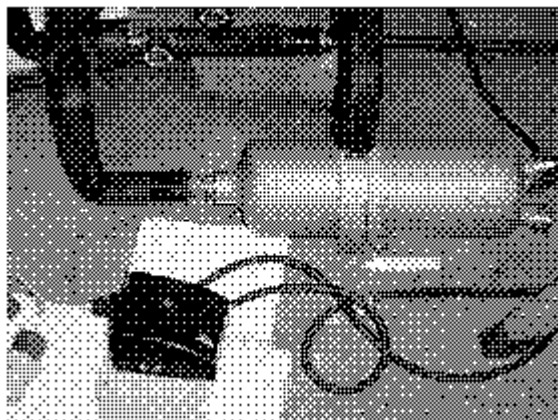


Kølereol.

Ameg NANCY SL EU. Længde 1,8 m
Nominel kølekapacitet 1987 W ved
fordampningstemperatur -10°C og en
lufttemperatur på 1°C med kølemiddel
R22.
2 ventilatorer

Cirkulationspumpe.

Prototype fra Grundfos. Manuel indstilling af kapaciteten. Område 15% - 100%.



Appendiks C.

Behandling af forsøgsdata.

Alle måledata opsamles med dataloggeren og lagres i en komma separeret fil (*.csv). Tabel C1 angiver målte data.

Denne fil converteres til en EXEL-fil (*.xls) som danner grundlag for beregningerne. Først omregnes de målte data ved hjælp af kalibreringsudtrykkene til dimensionsbehæftede data. Dette sker med anvendelse af et program skrevet i MatLab. Resultatet gennem i en EXEL-fil (*_c-X-Y_dim.xls) med samme opbygning som rådatafilen, Tabel C1.

På grundlag af de dimensionsbehæftede data beregnes i program skrevet i MatLab dels middelværdier i reguleringsventilernes åben- og lukkeperioder dels beregnes på grundlag af de målte tryk de hertil svarende mætningstemperaturer. Kuldioxids temodynamiske egenskaber beregnes ved anvendelse af reference /2/. Endvidere beregnes den totale belastning på de enkelte møbler. Den totale belastning er summen af den elektrisk tilførte effekt i pærerne, den elektriske effekt tilført ventilatorerne samt beregnet varmeindtrængning fra omgivelserne. For ventilatoreffekten anvendes den nominelle effekt. Endvidere beregnes varmeindtrængning i væskeledningen. Der genereres to EXEL-filer. En fil (*_cir_x_y_cal.xls) indeholdende data for alle møbler med opbygning som vist i Tabel C2 samt en fil (*_cir_x_y_mean.xls) med 3 ark (Exel: Sheet) et for hvert møbel med opbygning som vist i Tabel C3.

De i rapporten viste tidsforløb er genereret på grundlag af den dimensionsbehæftede fil med tegneprogrammet Grapher.

Tabel C1. Måledata.

Søjle nr	Kanal nr	Betegnelse	Placering
1	Tid	Tid	
2	101	TT01	Temperatur før niveaumåler
3	102	TT02	Væsketemperatur før fordampere
4	103	TT03	Gondol A, Temperatur fordamper udløb
5	104	TT04	Gondol A, Lufttemperatur ind
6	105	TT05	Gondol A, Lufttemperatur ud
7	106	TT06	Reol, Temperatur fordamper ud
8	107	TT07	Reol, Lufttemperatur ind
9	108	TT08	Reol, Lufttemperatur ud
10	109	TT09	Gondol B, Temperatur fordamper udløb
11	110	TT10	Gondol B, Lufttemperatur ind
12	111	TT11	Gondol B, Lufttemperatur ud
13	112	TT12	Rumtemperatur
14	113	TT13	Gondol A, Defrost temperatur
15	201	PT04	Tryk før cirkulationspumpe
16	202	PT05	Tryk efter cirkulationspumpe
17	203	PT01	Gondol A, Tryk ved fordamperindløb
18	204	DP01	Gondol A, Differenstryk over fordamper
19	205	PT02	Reol, Tryk ved fordamperindløb
20	206	DP02	Reol, Differenstryk over fordamper
21	207	PT03	Gondol B, Tryk ved fordamperindløb
22	208	DP03	Gondol B, Differenstryk over fordamper
23	209	FL01	Gondol A, Volumenstrøm
24	210	FL02	Reol, Volumenstrøm
25	211	FL03	Gondol B, Volumenstrøm
26	212	FL04	Samlet massestrøm (Corioli måler)
27	213	EF01	Gondol A, Elektrisk belastning
28	214	EF02	Reol, Elektrisk belastning
29	215	EF03	Gondol B, Elektrisk belastning
30	216	R01	Gondol A, Ventil On/Off
31	217	R02	Reol, Ventil On/Off
32	218	R03	Gondol B, Ventil On/Off
33	219		Gondol A, Signal for afrimningsvarmelegeme
34	221	NV01	Væskeniveau
35	222	EF04	Cirkulationspumpe, Effektoptag

Tabel C2. Dimensionsbehæftede data.

Kolonne	Data
1	A Tid (min)
2	B Indløbstemperatur alle fordampere (°C)
3	C Udløbstemperatur fordamper, Gondol A (°C)
4	D Mætningstemperatur ved indløb, Gondol A (°C)
5	E Mætningstemperatur ved udløb, Goindol A (°C)
6	F Lufitemperatur ved indløb, Gondol A (°C)
7	G Lufitemperatur ved udløb, Gondol A (°C)
8	H Trykfald over fordamper, Gondol A (mBar)
9	I Flow gennem fordamper, Gondol A (l/h)
10	J Fordamperbelastning total, Gondol A (W)
11	K Ventilåbning, Gondol A (-)
12	L Udløbstemperatur fordamper, Reol (°C)
13	M Mætningstemperatur ved indløb, Reol (°C)
14	N Mætningstemperatur ved udløb, Goindol A (°C)
15	O Lufitemperatur ved indløb, Reol (°C)
16	P Lufitemperatur ved udløb, Reol (°C)
17	Q Trykfald over fordamper, Reol (mBar)
18	R Flow gennem fordamper, Reol (l/h)
19	S Fordamperbelastning total, Reol (W)
20	T Ventilåbning, Reol (-)
21	U Udløbstemperatur fordamper, Gondol B (°C)
22	V Mætningstemperatur ved indløb, Gondol B (°C)
23	W Mætningstemperatur ved udløb, Goindol A (°C)
24	X Lufitemperatur ved indløb, Gondol B (°C)
25	Y Lufitemperatur ved udløb, Gondol B (°C)
26	Z Trykfald over fordamper, Gondol B (mBar)
27	AA Flow gennem fordamper, Gondol B (l/h)
28	AB Fordamperbelastning total, Gondol B (W)
29	AC Ventilåbning, Gondol B (-)
30	AD Kun ved pumpecirkulation. Samlet massestrøm (kg/s, Corioli flowmåler)

Tabel C3. Middelværdier

Kolonne nr.	Data
1	Ventil omskiftning scannummer (nrecordskift)
2	Ventil omskiftningstid (Tskift, min)
3	Ventiltilstand (iskift, 1: on, 0: off)
4	Kondenseringstemperatur (TcudMean, °C)
5	Fordamperindløbstemperatur (TfindMean, °C)
6	Fordamperudløbstemperatur (TfudMean, °C)
7	Mætningstemperatur ved fordamper indløb (TsatMean, °C)
8	Mætningstemperatur ved fordamperudløb (TsatUdMean, °C)
9	Lufttemperatur ind, (TlindMean, °C)
10	Lufttemperatur ud (TludMean, °C)
11	Trykfald over fordamper (DpMean, mBar)
12	Flow gennem fordamper (FlowMean, m ³ /s)
13	Totalbelastning af fordamper (Qtot, W)

Appendiks D.

Oversigt over forsøg.

1. Forsøgsserie

Termostatfunktion: On/OFF

Fil:	Sheet	Fordamp. Temp °C	Qel W Gondol A	Gondol B
natcirk_evap35_Agond_up_ul	0W	-35	0	
natcirk_evap25_2gond	0W	-25	0	0
natcirk_evap25_2gond	100W	-25	100	100
natcirk_evap25_2gond	200W	-25	200	200
natcirk_evap30_2gond	0W	-30	0	0
natcirk_evap30_2gond	200W	-30	200	200
natcirk_evap30_2gond	300W	-30	300	300
natcirk_evap30_2gond	400W	-30	400	400
natcirk_evap35_2gond	0W	-35	0	0
natcirk_evap35_2gond	200W	-35	200	200
natcirk_evap35_2gond	300W	-35	300	300
natcirk_evap35_2gond	400W	-35	400	400
natcirk_evap35_2gond	500W	-35	500	500
natcirk_evap35_2gond	600W_2	-35	600	600
natcirk_evap35_2gond	700W	-35	700	700
natcirk_evap35_2gond	800W	-35	800	800
natcirk_evap25_Agond	0W	-25	0	0
natcirk_evap25_Agond	100	-25	100	0
natcirk_evap30_Agond	0W	-30	0	0
natcirk_evap30_Agond	200W	-30	200	0
natcirk_evap30_Agond	300W	-30	300	0
natcirk_evap35_Agond	400W	-30	400	0
natcirk_evap35_Agond	0W	-35	0	0
natcirk_evap35_Agond	200W	-35	200	0
natcirk_evap35_Agond	400W	-35	400	0
natcirk_evap35_Agond	600W	-35	600	0
natcirk_evap35_Agond	800W	-35	800	0
natcirk_evap35_Agond_up	0W	-35	0	0
natcirk_evap35_Agond_up	200W	-35	200	0
natcirk_evap35_Agond_up	400W	-35	400	0
natcirk_evap35_Agond_up	600W	-35	600	0
natcirk_evap35_Agond_up	800W	-35	800	0
natcirk_evap35_Agond_up	900W	-35	900	0
pumpcirk_evap25_2gond	0W	-25	0	0
pumpcirk_evap25_2gond	100W	-25	100	100

Sammenligning naturlig og tvungen cirkulation

Fil:	Sheet	Fordamp. Temp °C	Qel W Gondol A	Gondol B
pumpcirk_evap25_2gond	200W	-25	200	200
pumpcirk_evap30_2gond	0W	-30	0	0
pumpcirk_evap30_2gond	200W	-30	200	200
pumpcirk_evap30_2gond	300W	-30	300	300
pumpcirk_evap30_2gond	400W	-30	400	400
pumpcirk_evap35_2gond	0W	-35		
pumpcirk_evap35_2gond	200W	-35	200	200
pumpcirk_evap35_2gond	400W	-35	400	400
pumpcirk_evap35_2gond	600W	-35	600	600
pumpcirk_evap35_2gond	700W	-35	700	700
pumpcirk_evap25_Agond	0W	-25	0	0
pumpcirk_evap25_Agond	100W	-25	100	100
pumpcirk_evap30_Agond	0W	-30	0	0
pumpcirk_evap30_Agond	200W	-30	200	0
pumpcirk_evap30_Agond	300W	-30	300	0
pumpcirk_evap30_Agond	400W	-30	400	0
pumpcirk_evap35_Agond	0W	-35	0	0
pumpcirk_evap35_Agond	200W	-35	200	0
pumpcirk_evap35_Agond	400W	-35	400	0
pumpcirk_evap35_Agond	600W	-35	600	0
pumpcirk_evap35_Agond	700W	-35	700	0
pumpcirk_evap35_Agond	800W	-35	800	0

2. Forsøgsserie

Termostatfunktion: On/OFF

Fil:	Sheet	Fordamp. Temp °C
defrost_evap35_pd0	1.0kg	-35
defrost_evap35_pd0	1.5kg	-35
defrost_evap35_pd0l	2.0kg	-35
defrost_evap35_1_0_kg	pd10	-35
defrost_evap35_1_0_kg	pd20	-35
defrost_evap35_1_0_kg	Pd30	-35
Level_evap35_nat	7	-35
Level_evap35_nat	12	-35
Level_evap35_nat	15.4	-35
Level_evap35_nat	19.4	-35
Level_evap35_nat	21.9	-35

3. forsøgsserie.

Naturlig cirkulation

Fil:	Fordamp. Temp °C	Qtot W			Termostat
		Gondol A	Reol	Gondol B	
nat_cir_XX.csv					
3_1	-14	520	740	480	On/Off
3_2	-14	640	900	610	On/Off
3_3	-14	770	1100	750	On/Off
3_4	-14	900	1300	890	On/Off
3_5	-14	1060	1550	1030	On/Off
3_1u	-14	765	740	485	On/Off
3_2u	-14	900	735	480	On/Off
3_3u	-14	1050	745	485	On/Off
3_2bu	-14	540	740	875	On/Off
3_1bu	-14	540	740	750	On/Off
3_10u	-14	540	900	745	On/Off
3_11u	-14	775	1100	500	On/Off
3_6c	-12	630	895	600	Modulerende
3_7	-12	755	1075	725	Modulerende
3_8	-12	900	1300	860	Modulerende
3_8b	-12	765	1120	740	Modulerende
3_91	-10	1090	1595	1070	Modulerende
3_92	-10	760	1115	515	Modulerende
3_100	-10	1160	1695	1140	Modulerende
1_20	-10	0	1050	0	Modulerende
1_21	-10	0	890	0	Modulerende
1_22	-10	0	720	0	Modulerende
1_30	-10	0	890	0	Modulerende
1_31	-10	0	885	0	Modulerende
1_32	-10	0	880	0	Modulerende
1_40	-12	0	1100	0	Modulerende
1_41	-12	0	1085	0	Modulerende
1_42	-12	0	1095	0	Modulerende
1_50	-12	0	1200	0	Modulerende
1_51	-12	0	1200	0	Modulerende

Pumpecirkulation

Fil:	Fordamp. Temp °C	Q _{tot} W			Termostat
		Gondol A	Reol	Gondol B	
pump_cir_XX.csv					
3_1	-14	890	1275	877	On/Off
3_2	-14	766	1130	790	On/Off
3_3	-14	830	1290	870	On/Off
3_4	-14	716	1080	730	On/Off
3_5	-14	608	900	605	On/Off
3_1u	-14	940	1075	975	On/Off
3_2u0	-14	945	1280	985	On/Off
3_10a	-14	1040	1330	535	On/Off
3_10b	-14	520	1320	990	On/Off
3_11a	-14	1035	730	1000	On/Off
3_20	-14	1045	735	1015	Modulerende
3_21	-14	760	1080	740	Modulerende
3_21b	-14	765	1080	745	Modulerende
3_21c	-14	770	1090	745	Modulerende
3_8	-12	900	1300	870	Modulerende
3_8b	-12	765	1120	740	Modulerende
3_9	-10	1035	1500	1005	Modulerende
3_91	-10	1090	1600	1070	Modulerende
3_92	-10	760	1115	515	Modulerende
3_100	-10	1160	1670	1125	Modulerende
3_101	-10	1160	1670	1118	Modulerende
3_102	-10	1168	1654	1122	Modulerende
1_1a	-18	0	1100	0	Modulerende
1_1b	-18	0	1100	0	Modulerende
1_1c	-18	0	1100	0	Modulerende
1_20	-10	0	1470	0	Modulerende
1_21	-10	0	1270	0	Modulerende
1_22	-10	0	1070	0	Modulerende
1_30	-10	0	877	0	Modulerende
1_31	-10	0	870	0	Modulerende
1_32	-10	0	871	0	Modulerende
1_40	-10	0	1077	0	Modulerende
1_41	-10	0	1070	0	Modulerende
1_42	-10	0	1077	0	Modulerende
1_50	-10	0	1190	0	Modulerende
1_51	-10	0	1198	0	Modulerende
1_52	-10	0	1180	0	Modulerende