

Renere Produkter

J. nr. M-126-0590, 2002

Minimering af kølemiddelfyldning (R22) på skælis anlæg til fiskeskibe

Torben M. Hansen, Teknologisk Institut

Peter Strø, Lemvig Køleservice

Indhold

1	BAGGRUND	7
2	PROJEKTFORMÅL	9
3	DRIFTSSPECIFIKATIONER FOR SKÆLISANLÆG	11
3.1	BESKRIVELSE AF LØSNINGSMULIGHEDER	11
3.2	TEKNISKE OG MILJØMÆSSIGE UDVIKLINGSARBEJDE	11
3.2.1	<i>Udvikling og design</i>	11
3.2.2	<i>Opbygning og afprøvning af prototype</i>	12
3.2.3	<i>Målinger og evaluering af produktet</i>	13
3.3	MÅLEPUNKTER	14
3.4	REDUKTION AF HCFC-22 FYLDNING OG LÆKAGERATE	14
3.4.1	<i>Yderligere mulighed for reduktion af HCFC-22 fyldning</i>	15
3.5	DRIFTSANALYSE	15
3.6	KOMMERCIEL VURDERING AF PRODUKTET (INTRODUKTION HOS KUNDER)	22
3.7	DRIFTMÆSSIG IMPLEMENTERING	22
3.8	ANLÆGSSIKKERHED	22
4	RETNINGSLINIER FOR RETROFIT AF EKSISTERENDE KØLEANLÆG	23
4.1	LOVGIVNING	23
4.2	TEKNISK OG ØKONOMISK ANLÆGSVURDERING	23
5	KONKLUSION	25

Forord

Nærværende rapport beskriver konverteringen af et HCFC-22 køleanlæg med indirekte kølesystem til produktion af skælis om bord på trawleren Tine Bødker, Thyborøn.

Projektet er udført i samarbejde mellem Teknologisk Institut og Lemvig Køleservice med støtte fra Miljøstyrelsens Program for Renere Produkter.

Konverteringen af skælisproduktionen fra HCFC-22 til propylen glykol har indledningsvis været vanskelig, idet der fra ismaskine producenternes side mangler teknisk dokumentation for driftsparametre med sekundære kølemedier. Dette grundlag har i projektet måtte etableres.

Efter indkøring og modifikation af anlægget er der opnået højst tilfredsstillende driftsforhold for køleanlæg og ismaskiner.

Århus, den 3. december 2003

Teknologisk Institut
Center for Køle- og Varmepumpeteknik
Torben M . Hansen

Lemvig Køleservice
Peter Strø

1 Baggrund

I forbindelse med Miljøstyrelsens plan for udfasning af kraftige drivhusgasser, herunder HFC-kølemidlerne, søger køle- og varmepumpebranchen i øjeblikket alternativer til de kølemidler, man i dag anvender. Med de pålagte afgifter på kølemidler med drivhuseffekt er der opstået et incitament til at reducere fyldningsmængden af de syntetiske kølemidler.

Naturlige kølemidler f.eks. propan eller ammoniak har svært ved at vinde indpas på skibe, da de enten kan være giftige eller brandfarlige. Dette skyldes forholdene på skibe, men også lovgivning og forsikringsforhold gør sig gældende.

Mere end 95% af køleinstallationerne på skibe anvender R22. Køleinstallationer med HFC vil være ca. 20-25% dyrere, mens selve kølemidlet HFC vil være ca. 200% dyrere end R22. Endvidere er der ingen egentlige erfaringer med HFC, hvilket betyder at man sandsynligvis vil fortsætte med anvendelse af R22 så længe som muligt.

Uanset om der anvendes HCFC-22 eller HFC-404A som kølemiddel, vil det være fornuftigt at tilpasse kølesystemer således, at mængden af kølemiddel minimeres samtidig med at risikoen for lækager reduceres. Dette kan gøres ved at opbygge et indirekte kølesystem.

Det vurderes, at 900 nordiske fiskeskibe sejler med køleanlæg om bord. Ca. 300 skibe har køleanlæg til skælismaskiner om bord. 95% af anlæggene arbejder med R22 og den totale fyldningsmængde om bord på fiskeskibe i norden estimeres til 1.000 tons. Det vurderes, at lækageraterne ligger mellem 15 og 20%. ODP for R22 er relativ lille og ligger på 0.055, mens GWP ligger på 1.700.

Det vurderes at lækageraterne kan reduceres til mellem 30% og 50% af det nutidige niveau ved anvendelse af indirekte systemer og forøget professionel service. Total set vil dette betyde en reduktion på ca. 150.000 – 200.000 tons CO₂ pr. år.

Nærværende rapport beskriver konverteringen af et HCFC-22 køleanlæg med indirekte kølesystem til produktion af skælis om bord på bomtrawleren L 479 Tine Bødker, Thyborøn.

2 Projektformål

Formålet med projektet er at reducere fyldningen på eksisterende R22-baserede køleanlæg i fiskeriet. En alternativ anlægsløsning skal udvikles og afprøves om bord på et fiskeskib.

Et eksisterende R22-anlæg sammenkoblet med en skælismaskine skal konverteres til et indirekte brinesystem, hvor fyldningen og lækage-risici (R22) reduceres til mere end 50% af det oprindelige niveau.

Endvidere er det formålet at opnå:

- Erfaringer med skælismaskiner ved anvendelse af et sekundært kølemiddel. Der findes begrænset dokumentation på driftsparametre for skælismaskiner med sekundært kølemiddel.
- Dokumentation mht. drift og kapacitet på det konverterede anlæg.
- Videnudbredelse omkring resultater.

Projektets gennemførelse vil sætte andre installatører i stand til at gennemføre lignende tilpasninger.

3 Driftsspecifikationer for skælisanlæg

Projektet indeholder de 6 faser, der er stillet krav om i vejledningen.

3.1 Beskrivelse af løsningsmuligheder

Det overordnede løsningsprincip var ved projektets start allerede valgt. Løsningen, der ønskedes implementeret, var et indirekte system, hvor det eksisterende R22-anlæg varmeveksler til et indirekte system. Det indirekte kølemedie afkøler herefter tromlen i skælismaskinen, hvorved isen dannes.

3.2 Tekniske og miljømæssige udviklingsarbejde

3.2.1 Udvikling og design

I denne fase er der gennemført beregninger af og opstillet designdata for anlægget.

Det overordnede designkriterie for skælismaskinerne er produktion af 5 tons is i døgnet. For at sikre ismængden og iskvaliteten (kvalitativt vurderet på tykkelse og tørhed) er det nødvendigt at kunne fremføre det sekundære kølemedie ved mellem -20°C og -25°C . Det eksisterende køleanlæg med R22 skal modificeres til at indeholde en fordamper, som kan nedkøle det sekundære kølemedie til -25°C .

På baggrund af designdata er følgende komponenter udvalgt:

- Valg af sekundært kølemedie
Det sekundære kølemedie skal primært opfylde krav om anvendelighed ved lav temperatur og sikkerhed i forhold til anvendelse med fødevarer. En evt. lækage af kølemediet vil medføre forurening af isen og krav om hel eller delvis kassation af fangsten.

Temperaturkravet kan opfyldes af en lang række kølemedier, såsom propylen glykol, ethylen glykol, ethanol, calciumklorid og kalium cetat/formiate.

Fødevarerikkerheden kan ikke opfyldes af ethylen glykol og calciumklorid (svagt toksiske korrosionsinhibitorer).

Af de øvrige har propylen glykol de dårligste termofysiske egenskaber, men blev alligevel foretrukket grundet mange års veldokumenteret drift og få kritiske forhold ved installation og vedligehold. Derfor valgte man at anvende propylen glykol tilsat et rødt farvestof for at synliggøre en eventuel lækage. Det har siden vist sig, at der kan forekomme lækage ved isdannelse i skælismaskinernes pakedåse. Ved optøning af pakedåsen genetableres tæt-heden imidlertid.

- Valg af pumpe
Pumpevalget var i nogen grad vanskelig, da der ikke fandtes data på skælis-maskinerne i drift med propylen glykol (eller andet sekundært kølemedie). Pumpeflowet blev estimeret ud fra en ønsket maksimal opvarmning af det sekundære kølemedie igennem ismaskinen. Et fornuftigt kompromis mellem pumpestørrelse, rørsystemets dimensioner og ismaskinernes evne til at producere homogen is over hele tromlens længden estimeres i størrelsesordenen 2-4 K. Pumpevalget blev yderligere fastlagt ud fra en antagelse om en nødvendig løftehøjde på ca. 25 mVs – dog uden sikkert grundlag.
- Valg af brinekøler
Valget af R22 og propylen glykol stiller ikke særlige krav til materialevalget, ud over, at der ikke må anvendes zinkholdige komponenter (f.eks. galvaniserede rør). Der er valgt en fordamper af pladevekslertypen, da denne ud fra en økonomisk betragtning er det bedste valg.
- Styring
Ismaskinerne skal kunne indkobles enkeltvis, afhængig af fangst og isningsbehovet. Indkoblingen af ismaskinerne varetages ved hhv. afspærring og åbning af motordrevne kuglehane på glykol tilgangssiden. Glykol pumpen er ureguleret. Kølekompresorens kapacitet tilpasses med frekvensomformer i forhold til drift med en eller to ismaskiner. Ved drift med en enkelt ismaskine er sætpunktet 30 Hz, mens elmotorens størrelse sætter den øvre frekvensgrænse til 52 Hz. Anlægget fungerer overåges af en PLC

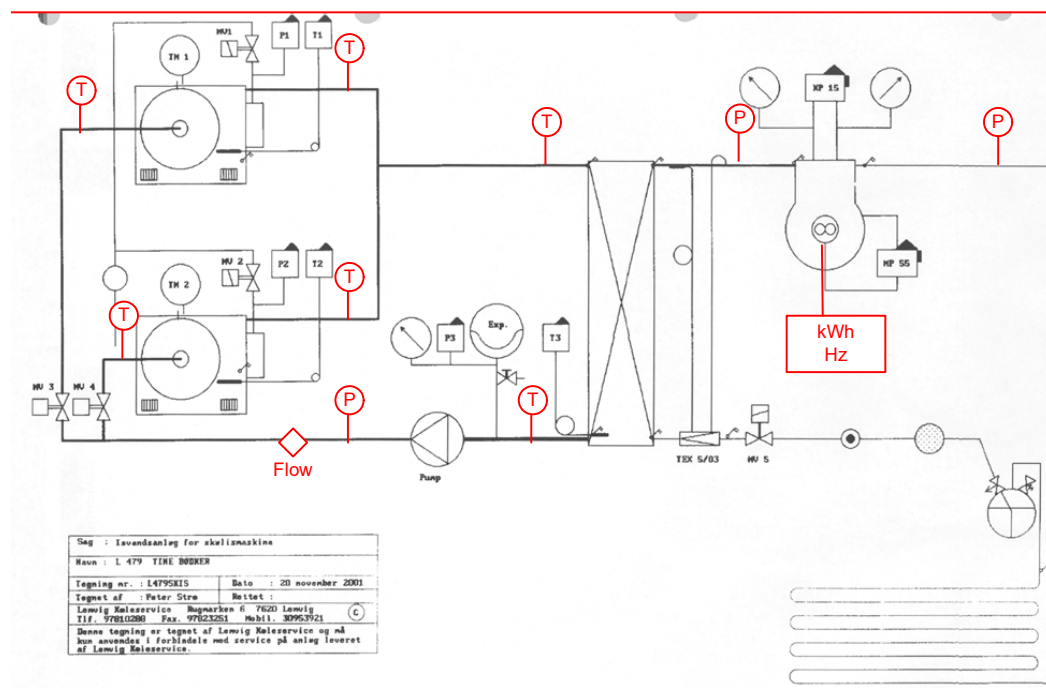
3.2.2 Opbygning og afprøvning af prototype

Anlægget er opbygget af Lemvig Køleservice, installeret om bord på L 479 "TINE BØDKER" af Thyborøn og efterfølgende afprøvet med hjælp fra Teknologisk Institut.



Figur 3.2.1: L 479 "TINE BØDKER" af Thyborøn.

Anlægsopbygningen er angivet i figur 3.2.2.



Figur 3.2.2: Skællisanlæg med propylen glykol.

3.2.3 Målinger og evaluering af produktet

For at opsamle og dokumentere erfaringerne fra prototypen både mht. opbygningen og afprøvningen er der gennemført målinger på anlægget med henblik på at vurdere følgende punkter:

- funktion og drift
- energi og miljø
- service (vedligehold)
- pålidelighed og sikkerhed.

Systemet er opbygget omkring det eksisterende R22 køleanlæg. Kompressor-ens elmotor og kondensator er uændret, mens alle øvrige dele er udskiftet i forbindelse med konverteringen.

Den eksisterende motor med frekvensomformer og kondensatoren har sat en øvre begrænsning for kapaciteten af det nye anlæg.

Anlæggets receiver blev erstattet af en ny og mindre beholder for at reducere kølemiddelfyldningen.

Tabel 3.2.1: Komponentoversigt.

Primært kølemiddel	R22
Kølekompressor, åben type	Bock F5, elmotor 12 kW, 1420 rpm ved 50 Hz
Fordamper, pladeveksler	Alfa Laval AC 120 -90 EQ
Kondensator	Udenbords rørkøler
Driftskaraktetika	Frekvensstyret kompressor Direkte ekspansion
Sekundær kølemedie	Propylen glykol, 50%-vægt
Frostsikring	-35°C
Pumpe	Inoxpa EFI 2222A, 20 m ³ /h ved 22 mVs. Åben impeller, ø135mm. Motor 2,2 kW
Skælismaskiner	2 stk., ø218mm x L630mm, nedsænket tromle 2x750W elvarmelegemer i hver maskine

3.3 Målepunkter

Målepunkter i anlægget er angivet i figur 3.2.1.

Køleanlæg:

- Kondensatortryk
- Fordampertryk
- kWh-forbrug (inklusive pumpemotor, tromlemotor og elvarmelegemer).

Sekundær side, propylen glykol:

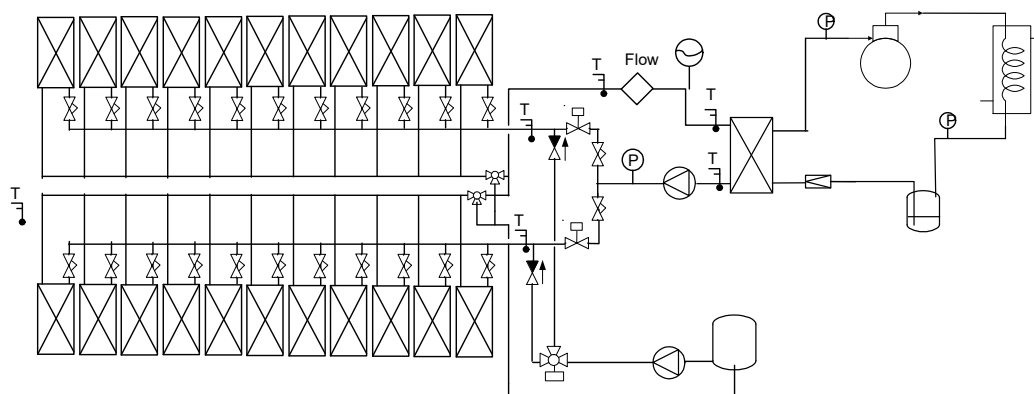
- Fremløbstemperatur
- Returtemperatur
- Pumpetryk
- Flow
- Temperatur ind/ud på hver skælismaskine.

3.4 Reduktion af HCFC-22 fyldning og lækagerate

Anlægget med 2 ismaskiner ville have haft 40 kg HCFC-22. Ved at anvende en sekundær kølekreds er fyldningen i dag nedbragt til 15 kg HCFC-22. Der er således ved konvertering opnået en reduktionen fyldning på 63%. Umiddelbart kan reduktionen i lækageraten regnes proportional med fyldningen, men imidlertid er en væsentlig lækagekilde elimineret ved anvendelse af sekundært kølemedie, nemlig pakdåserne på ismaskinens roterende ind- og udløb. Før ombygningen mistede anlægget ca. 70-100 kg HCFC-22 pr. år. Siden konverteringen er der i løbet af et års drift ikke påfyldt nyt kølemiddel. Det vurderes således, at den samlede lækagerate er nedbragt til ca. 2-4% af det forhenværende niveau!

3.4.1 Yderligere mulighed for reduktion af HCFC-22 fyldning

Der er i projektet udarbejdet principskitse for konvertering af glatrørsfordampere (i alt 22 stk.) i kølelastrummet fra HCFC-22 til propylen glykol. Princippet er vist i figur 3.4.1. Det estimeres, at HCFC-22 fyldningen kan reduceres med yderligere 50% til i alt 7-8 kg ved en sådan modifikation.



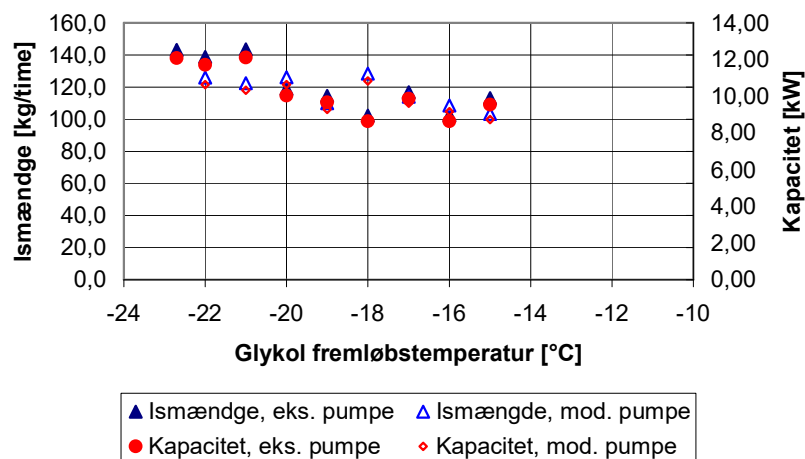
Figur 3.4.1: Principskitse af mulig konvertering af kølelastrumsfordampere.

På grund af situationen med reducerede fiskekvoter er investeringen i en sådan løsning imidlertid udsat på ubestemt tid.

3.5 Driftsanalyse

Der er foretaget målinger i maj 2002 på ismaskinernes ydelse. Figur 3.5.1 viser ydelsen af en enkelt ismaskine. På baggrund af målingerne er den beregnede kapacitet af isanlægget ca. 3 tons/døgn med en ismaskine indkoblet og kompressoren i drift ved 30 Hz. Det bemærkes, at kapaciteten ikke stiger yderligere ved en sænkning af fremløbstemperaturen under ca. -20°C . Dette forhold indikerer, at den stigende viskositet forårsager, at pumpen ikke kan opretholde flowet ved lavere temperatur, og ydelsen stiger således ikke som forventet.

Lemvig Køleservice modificerede pumpehjulet for at forbedre pumpekurven. I diagrammet er vist drift med modificeret pumpehjul.



Figur 3.5.1: Ydelsen af en enkelt ismaskine, før og efter modifikation af pumpehjul.

Måledata fremgår yderligere af tabel 3.5.1 og 3.5.2. Der kan ikke på baggrund af datamaterialet fremdrages en forbedring af pumpens kapacitet afspejlet i ismaskinens ydelse.

Tabel 3.5.1: Målinger på 1 ismaskine med oprindeligt pumpehjul.

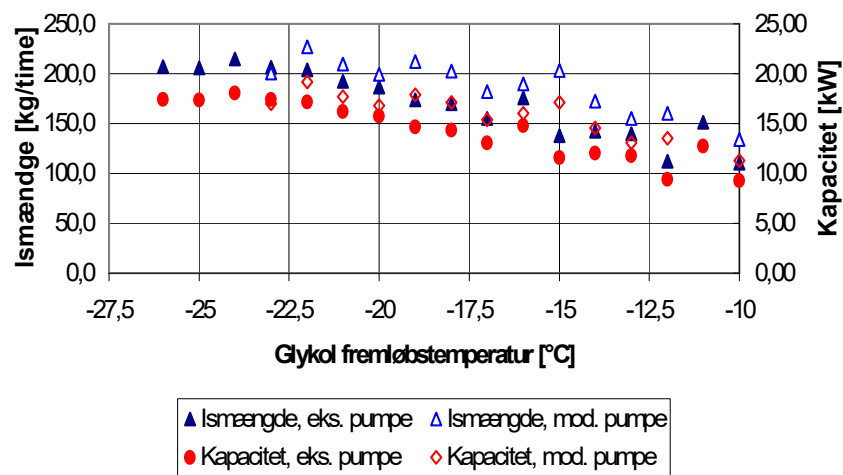
Glykol frem	Glykol retur	DT	Flow	Cp	rho	Viskositet	Q	Ismængde
°C	°C	°C	m ³ /time	kJ/kgK	kg/m ³	mPa s	KW	kg is/time
-15	-12,3	2,7	3,408	3,537	1056	50	9,55	113,1
-16	-13,5	2,5	3,33	3,535	1056,4	54,5	8,64	102,3
-17	-14,1	2,9	3,28	3,533	1056,8	59	9,87	116,9
-18	-15,4	2,6	3,202	3,531	1057,2	65	8,63	102,3
-19	-16	3	3,108	3,529	1057,6	71	9,67	114,5
-20	-16,8	3,2	3,027	3,527	1058	77,5	10,04	119,0
-21	-17	4	2,921	3,525	1058,4	85	12,11	143,5
-22	-18	4	2,825	3,523	1058,8	93	11,71	138,7
-22,7	-18,5	4,2	2,775	3,523	1059	100	12,08	143,1

Tabel 3.5.2: Målinger på 1 ismaskine med modificeret pumpehjul.

Glykol frem	Glykol retur	DT	Flow	Cp	rho	Viskositet	Q	Ismængde
°C	°C	°C	m ³ /time	kJ/kgK	kg/m ³	mPa s	KW	kg is pr time
-15	-12,5	2,5	3,363	3,537	1056	50	8,72	103,3
-16	-13,3	2,7	3,272	3,535	1056,4	54,5	9,16	108,6
-17	-14,1	2,9	3,197	3,533	1056,8	59	9,62	113,9
-18	-15,1	2,9	3,602	3,531	1057,2	65	10,83	128,3
-19	-16	3	2,986	3,529	1057,6	71	9,29	110,0
-20	-16,5	3,5	2,932	3,527	1058	77,5	10,64	126,0
-21	-17,5	3,5	2,848	3,525	1058,4	85	10,33	122,4
-22	-18,3	3,7	2,773	3,523	1058,8	93	10,63	126,0

Ved et flow på ca. 3000 liter/timer haves en opvarmning af det sekundære kølemedie på ca. 4K, hvilket anses for tilfredsstillende i forhold til ensartet isdannelse på den roterende tromle.

Ved indkobling af ismaskine nr. 2 falder systemmodstanden (parallel koblede modstande), og det må umiddelbart forventes, at kapaciteten af 2 ismaskiner er den dobbelte. Dette er imidlertid ikke tilfældet, som det fremgår af figur 3.5.2. På baggrund af målingerne er den beregnede kapacitet af isanlægget ca. 5 tons/døgn med to ismaskiner indkoblet og kompressoren i drift ved 49 Hz. Dette svarer til en kapacitets stigning på 1,83 i forhold til en ismaskine, eller indikerer ca. 17% uudnyttet potentiel kapacitet på tromlerne. Det skal bemærkes, at elmotoren på kølekompressoren sætter en begrænsning for fuld udnyttelse af kapaciteten af ismaskine nr. 2.



Figur 3.5.2: Kapacitet af 2 ismaskiner, før og efter modifikation af pumpehjul.

Efter modifikation af pumpen er der opnået mellem 5 og 10% forbedret kapacitets på isproduktionen.

Måledata fremgår yderligere af tabel 3.5.3 og 3.5.4.

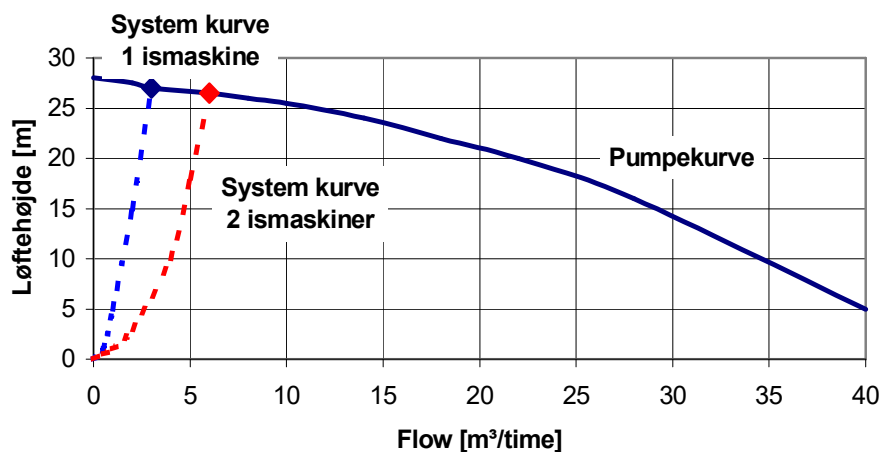
Tabel 3.5.3: Målinger på 2 ismaskiner med oprindeligt pumpehjul (51 Hz).

Glykol frem	Glykol retur	DT	Flow	Cp	Rho	Viskositet	Q	Ismængde
°C	°C	°C	m ³ /time	kJ/kgK	kg/m ³	mPa s	KW	kg is/time
-10	-8,7	1,3	6,906	3,547	1054	34	9,32	110,5
-11	-9,2	1,8	6,832	3,545	1054,4	37,5	12,77	151,3
-12	-10,6	1,4	6,504	3,543	1054,8	41	9,45	112,0
-13	-11,2	1,8	6,3	3,541	1055,2	44,5	11,77	139,4
-14	-12,1	1,9	6,097	3,539	1055,6	48	12,02	142,4
-15	-13,1	1,9	5,898	3,537	1056	51,5	11,63	137,7
-16	-13,5	2,5	5,712	3,535	1056,4	54,5	14,81	175,5
-17	-14,7	2,3	5,489	3,533	1056,8	59	13,09	155,1
-18	-15,4	2,6	5,325	3,531	1057,2	65	14,36	170,1
-19	-16,3	2,7	5,235	3,529	1057,6	71	14,65	173,6
-20	-17	3	5,07	3,527	1058	77,5	15,77	186,8
-21	-17,7	3,3	4,743	3,525	1058,4	85	16,22	192,2
-22	-18,5	3,5	4,743	3,523	1058,8	93	17,20	203,8
-23	-19,3	3,7	4,546	3,523	1059	100	17,43	206,5
-24	-20	4	4,367	3,521	1059,4	113	18,10	214,4
-25	-21	4	4,194	3,519	1059,8	125	17,38	205,9
-26	-21,8	4,2	4,013	3,517	1060,2	139	17,46	206,8

Tabel 3.5.4: Målinger på 2 ismaskiner med modificeret pumpehjul (49 Hz).

Glykol frem °C	Glykol retur °C	DT °C	Flow m ³ /time	cp kJ/kgK	Rho kg/m ³	Viskositet mPa s	Q KW	Ismængde kg is/time
-10	-8,5	1,5	7,249	3,547	1054	34	11,29	133,8
-12	-10	2	6,504	3,543	1054,8	41	13,50	160,0
-13	-11	2	6,3	3,541	1055,2	44,5	13,08	154,9
-14	-11,7	2,3	6,097	3,539	1055,6	48	14,55	172,4
-15	-12,2	2,8	5,898	3,537	1056	51,5	17,13	203,0
-16	-13,3	2,7	5,712	3,535	1056,4	54,5	16,00	189,5
-17	-14,3	2,7	5,489	3,533	1056,8	59	15,37	182,1
-18	-14,9	3,1	5,325	3,531	1057,2	65	17,12	202,8
-19	-15,7	3,3	5,235	3,529	1057,6	71	17,91	212,2
-20	-16,8	3,2	5,07	3,527	1058	77,5	16,82	199,2
-21	-17,4	3,6	4,743	3,525	1058,4	85	17,70	209,7
-22	-18,1	3,9	4,743	3,523	1058,8	93	19,17	227,1
-23	-19,4	3,6	4,546	3,523	1059	100	16,96	200,9

Den oprindelige pumpekurve er vist i figur 3.5.3, hvor også driftspunkter (ved –20°C) for rørsystem og ismaskiner er indtegnede. Det fremgår, at driftspunktet er placeret langt til venstre på pumpekurven. Den estimerede pumpevirkningsgrad på denne del af kurven er så lav som 15%. Målingerne i figur 3.5.2 tyder på, at det modificerede pumpehjul giver en marginal forbedring på den øvre del af kurven, men ikke tilstrækkeligt til at fordoble kapaciteten i forhold til en ismaskine indkoblet.



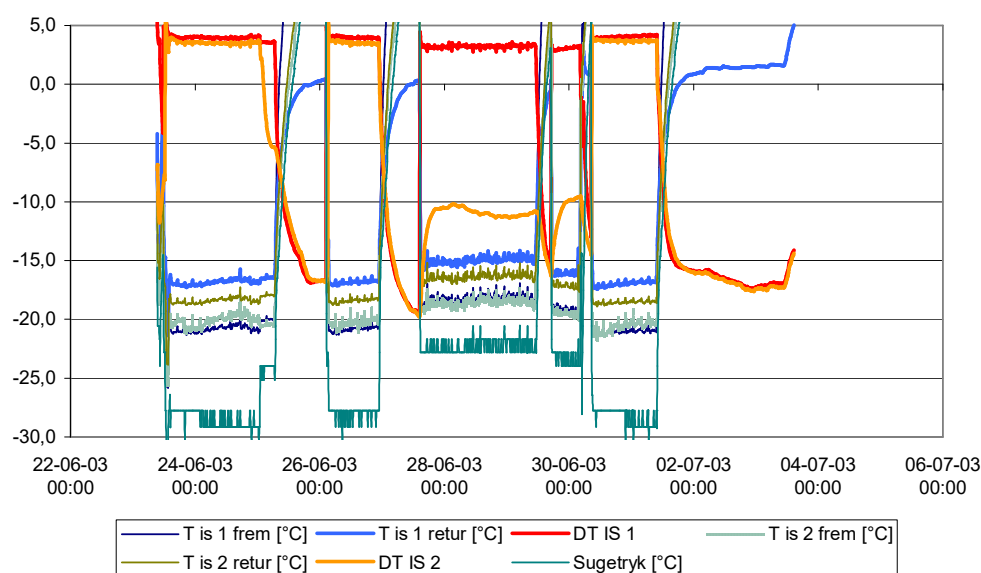
Figur 3.5.3: Pumpe- og systemkurve for skællisanlæg, oprindelig udførelse.

På baggrund af de indledende målinger kan følgende erfaringer fremhæves:

1. Det er vigtigt at matche pumpens karakteristik til isanlægget (dog ikke muligt, da der ikke findes data på ismaskinernes drift med sekundært kølemedie).
2. Der kan med fordel vælges pumpe med en fladere karakteristik, som er parallelt forskudt opad og mod højre i diagrammet 3.5.3.
3. Anlæggets drift kan forbedres ved at ændre systemkurven gennem formindsket tryktabet i ismaskinerne.
4. Køleanlæggets kapacitet sætter en øvre begrænsning i forhold til ismaskinernes maksimale ydelse.

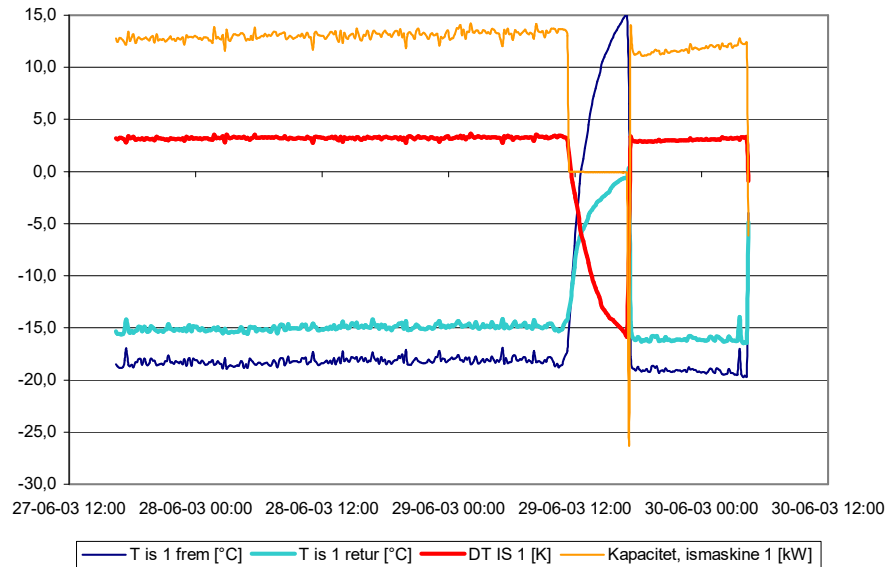
For at forbedre ismaskinernes kapacitet og isens kvalitet (hårdhed og tørhedsgrad) valgte Lemvig Køleservice at ændre systemkurven ved reducere tryktabet i ismaskinerne. Disse var i udgangspunktet installeret med udførelse for R22. Denne udførelsesform har små dimensioner på tromlens ind- og udløb. Ved gennemgang af tegningsmaterialet viste det sig muligt at bore disse indsnævring ud og opnå bedre drift.

I juni/juli 2003 gennemførtes nye målinger på de modificerede anlæg. Figur 3.5.4 viser en oversigt over en uges drift. Det ses, at den ene ismaskine er tilstrækkelig ca. 40% af perioden.



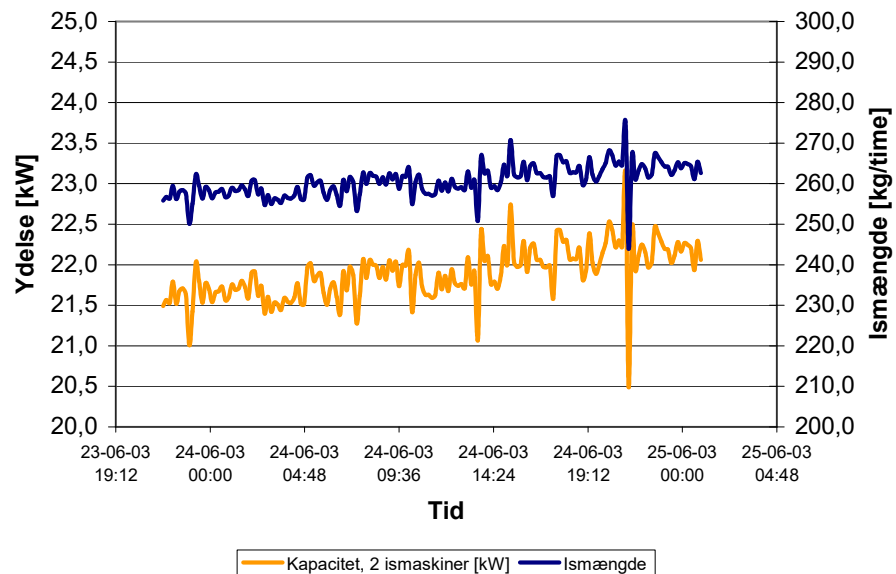
Figur 3.5.4: Målte driftsdata over en uge.

Figur 3.5.5 viser en udvalgt periode, hvor kun den ene ismaskine er i drift. Ved -18°C fremløb er kapaciteten ca. 12,5 kW (ækvivalent med 140 kg is pr. time, eller ca. 3.300 kg is pr. døgn). I forhold til driften før modifikation af ismaskinens tilløbs- og afgangforhold er kapaciteten øget med 25%. Det skal bemærkes, at ismaskinernes nominelle kapacitet ved -20°C DX med HCFC-22 er 3 tons/døgn. Anvendelse af sekundært kølemedie har således givet en forbedring på ca. 10%, idet tromlens areal udnyttes bedre, da den normale overhedningszone er bortskaffet.



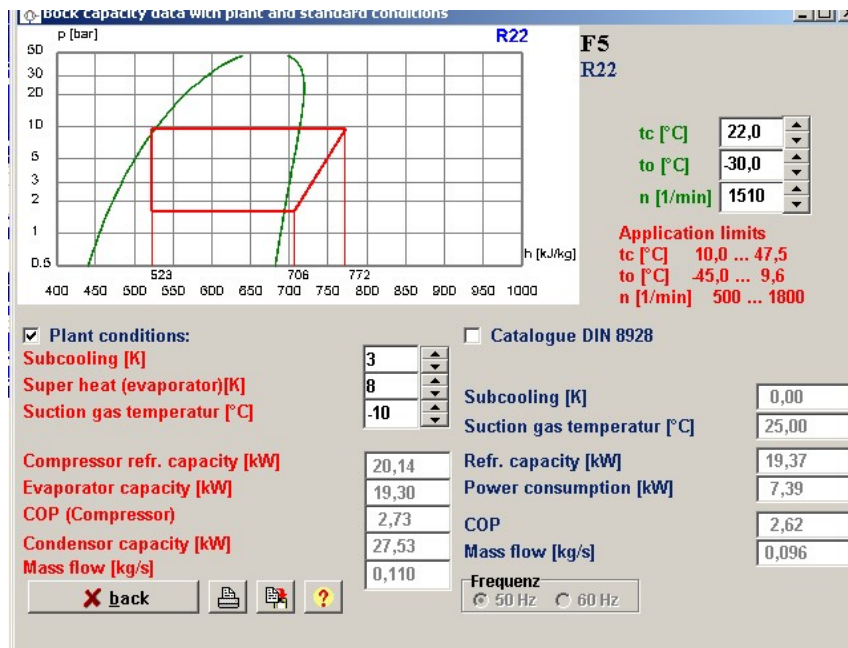
Figur 3.5.5: Driftsdata for en ismaskine i drift.

Figur 3.5.6 viser kapaciteten af 2 ismaskiner indkoblet. Det fremgår ved sammenligning med figur 3.5.2, at kapaciteten er øget med ca. 30% efter modifikation af tromlernes ind- og udløb. Den beregnede ydelse svarer til 6250 kg is pr. døgn ved fuld udnyttelse.



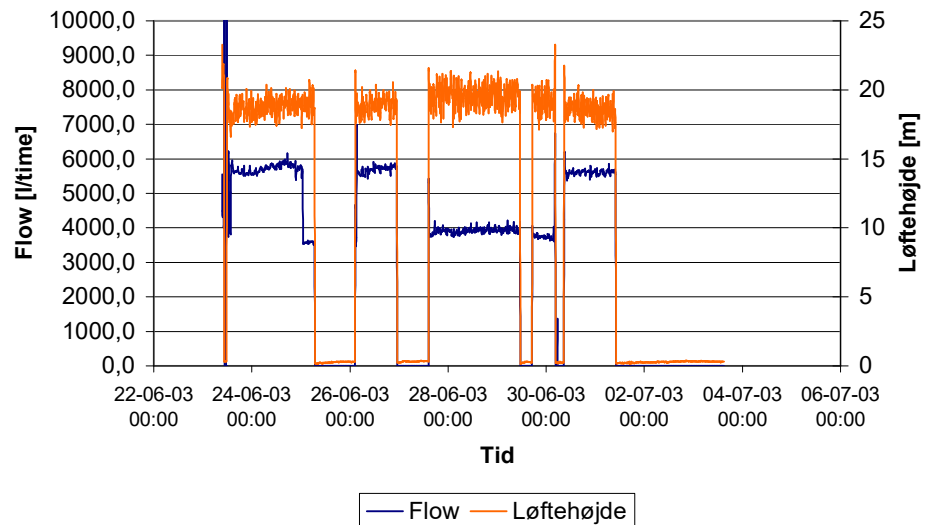
Figur 3.5.6: Kapacitet af 2 ismaskiner.

De angivne ydelser i figur 3.5.6 er beregnede ud fra en antagelse om jævn flowfordeling mellem de 2 ismaskiner, og beregningen indeholder endvidere sikkerhed vedrørende målte temperaturdifferenser. Samlet vurderes resultatet at ligge inden for $\pm 10\%$, og den estimerede ydelse er fuldt tilfredsstillende. Som kontrol er en kompressorkapacitetsberegning foretaget med Bocks software VAP 7.1c, vist i figur 3.5.7. Under de målte driftsforhold kan den anvendte kompressor kan i driftspunktet yde ca. 20 kW (240 kg/is pr. time) svarende til 5750 kg time. Der er tilfredsstillende overensstemmelse mellem målinger og beregninger.



Figur 3.5.7: Kapacitet af kølekompressor i den målte driftssituation.

Af figur 3.5.8 ses, at flowet er øget med op til 20% ved at gennembore ismaskinernes tilløbs- og afgangforhold. Der er dog stadig tale om drift langt til venstre på pumpekurven med lav pumpeeffektivitet som konsekvens.



Figur 3.5.8: Kapacitet af kølekompressor i den målte driftssituation.

3.6 Kommerciel vurdering af produktet (introduktion hos kunder)

Produktet vurderes kommercielt konkurrencedygtigt på pris og værdi for potentielle kunder. Målinger viser, at kravet til ismængde og kvalitet kan opfyldes fuldt ud på højde med direkte kølemiddel. Grundet den øgede kapacitet ved elimineringen af overhedningszonen i maskinen er energiforbruget for det optimerede design ækvivalent med direkte ekspansion af kølemiddel i ismaskinerne.

I forhold til en anlægsløsning med HFC-404A er den årlige besparelse alene på kølemiddelgenfyldning på mellem 30-40.000 kr./år.

Meromkostningerne (fordamper, pumpe og rør) for et sekundært anlæg forventes på nye anlæg at udgøre mindre end 50.000 kr., og tilbagebetalingstiden er således attraktiv.

3.7 Driftsmæssig implementering

På baggrund i erfaringerne fra afprøvningen er Lemvig Køleservice i stand til i fremtiden at garantere almindelig drift om bord på fiskeskibe.

3.8 Anlægssikkerhed

Det nye anlæg er ud fra en sikkerhedsmæssig betragtning af drift og vedligehold på linie med eksisterende HCFC-22 og HFC-404A anlæg. Det sekundære kølemedie propylen glykol er tilsat farvestof, som vil røbe en eventuel lækage fra eksempelvis ismaskinernes pakdåser. En større del af anlægget er ikke under tryk i forhold til direkte ekspansion af kølemiddel.

Sikkerhedsmæssigt stilles således ikke større krav til det modificerede anlæg.

4 Retningslinier for retrofit af eksisterende køleanlæg

4.1 Lovgivning

Danmark har total forbud mod anvendelse af nyt HCFC (R22) efter 1. januar 2002. Efter denne dato og frem til 2015 (indtil videre) kan kun genvundet HCFC (R22) benyttes ved service og vedligehold.

Miljøstyrelsen har fremlagt et forslag til hurtig udfasning af HFC (heriblandt R134a, R404A, R407C, R410A og R417A), og disse kølemidler kan derfor ikke anbefales som mellemstadier forud for langsigtede alternativer. For de fleste anvendelser vil nye anlæg efter 2006 ikke kunne opstilles med HFC-kølemiddel.

Der er vedtaget og ikraftsat en afgift på 0,10 kr./kg CO₂ ækvivalent) på HFC-kølemidler. For et kølemiddel som eksempelvis R404A med en CO₂ ækvivalens på 3.750 kg CO₂/kg R404A medfører dette en afgift på 375 kr./kg. Afgiften skal svares ved anskaffelse af kølemidlet.

Der er ingen lovgivning, der forhindrer anskaffelse af nyt HFC-kølemiddel til servicering og vedligehold af køleanlæg opstillet før 2006.

4.2 Teknisk og økonomisk anlægsvurdering

I hovedparten af den eksisterende anlægsmasse anvendes R22 som kølemiddel, men antallet af anlæg med HFC er stigende. Så længe der eksisterer R22 på markedet til en fornuftig pris, må det ud fra en teknisk/økonomisk betragtning anbefales at vedligeholde disse anlæg, indtil de er udtjente.

I tilfælde af lovændringer omkring anvendelse af R22, eller hvis kølemidlets tilgængelighed forringes, skal det overvejes at udskifte anlægget eller retrofitte med nyt kølemiddel.

Hvis anlæggets tekniske stand er god, vil det være relevant at retrofitte anlægget.

Retrofit indeholder en række overvejelser angående valg af kølemiddel (hvis der vælges kulbrinte, skal krav i forbindelse med zoneklassificering overholdes), resulterende anlægssydelse - oftest reduceret - efter retrofit, tørrefilter, materialekompatibilitet, rensning af anlæg og især anlæggets tekniske stand.

Det anbefales at lade en fagmand foretage en vurdering af mulighederne. Som udgangspunkt må det dog siges, at for mindre anlæg ældre end 10-12 år er det næppe rentabelt at bibeholde køleanlægget.

For en mere tilbunds gående gennemgang af muligheder, implikationer og procedurer for retrofit kan henvises til Tema Nord rapporten "HCFC alternatives as refrigerants in shipping vessels" (Hansen, T.M. and Haukås, H.T., 2000).

5 Konklusion

Installationen foretaget af Lemvig Køleservice og de efterfølgende erfaringer har vist, at det er muligt at konvertere eksisterende skælis anlæg til sekundære kølemedier.

Anlægget med 2 ismaskiner ville have haft 40 kg HCFC-22. Ved at anvende en sekundær kølekreds er fyldningen i dag nedbragt til 15 kg HCFC-22. Der er således ved konvertering opnået en reduktionen fyldningen på 63%.

Før ombygningen mistede anlægget ca. 70-100 kg HCFC-22 pr. år. Siden konverteringen er der i løbet af et års drift ikke påfyldt nyt kølemiddel. Det vurderes således, at den samlede lækagerate er nedbragt til ca. 2-4% af det forhenværende niveau!

Der kan opnås ækvivalent energiforbrug og iskapaciteter med sekundære kølesystemer. Sekundære kølesystemer udgør en bæredygtig løsning. I forhold til en anlægs løsning med HFC-404A er den årlige besparelse alene på kølemiddel fyldningen på mellem 30-40.000 kr./år.

Meromkostningerne (fordamper, pumpe og rør) for et sekundært anlæg forventes på nye anlæg at udgøre mindre end 50.000 kr., og tilbagebetalingstiden er således attraktiv.

Det anbefales at have opmærksomheden rettet mod tryktab i skælismaskiner og at tilstræbe mulige reduktioner af strømningsmodstanden.

Ved valget af pumpe kan der høstes fordel af større ydelse og driftspunkt tættere på optimum effektivitet. Den valgte pumpe ligger mellem 15% og 30% pumpevirkningsgrad og er dermed langt fra optimumområdet. Yderligere kan en omdrejningsreguleret pumpe overvejes af hensyn til usikkerhed vedrørende ismaskiners tryktab med glykol og samtidig mulighed for mindre energiforbrug ved drift af en maskine.

Et passende pumpevalg til 2 ismaskiner kunne f.eks. have en løftehøjde på 30 mVs ved 8 m³/time. Vælges pumpen i forhold til optimal virkningsgrad, f.eks. 65%, vil pumpens energiforbrug være mindre end den nuværende pumpe energiforbrug.