



CHALMERS



Framtidens kylmaskiner; Absorptionskyla, kan det användas till sjöss?

Examensarbete inom Sjöingenjörsprogrammet

JACK SVENSSON
FILIP FRIGREN

RAPPORTNR. SI-15/150

Framtidens kylmaskiner
Absorptionskyla, kan det användas till sjöss?

JACK SVENSSON
FILIP FRIGREN

Institutionen för sjöfart och marin teknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige, 2015

Framtidens kylmaskiner;

Absorptionskyla, kan det användas till sjöss?

Refrigeration of tomorrow;

Absorption cooling, can it be used onboard?

JACK SVENSSON

FILIP FRIGREN

© JACK SVENSSON, 2015.

© FILIP FRIGREN, 2015.

Rapportnr. SI-15/150

Institutionen för sjöfart och marin teknik

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon + 46 (0)31-772 1000

Tryckt av Chalmers

Göteborg, Sverige, 2015

Framtidens kylmaskiner;

Absorptionskyla, kan det användas till sjöss?

JACK SVENSSON

FILIP FRIGREN

Institutionen för sjöfart och marin teknik

Chalmers tekniska högskola

Sammanfattning

På fartyg finns ett kylbehov som behöver produceras ombord. Detta görs vanligen med hjälp av en kompressorkylanläggning, en kylteknik som kräver mycket energi och därmed en hög driftskostnad. I dagens läge finns en miljöskyddande utveckling och kompressorkylteknikens vanligt förekommande köldmedium har hamnat i fokus. Detta motiverar till en undersökning om en ersättande teknik. Denna litteraturstudie fördjupar sig i användandet av absorptionskylanläggningar på fartyg i handelsflottan, och dess ersättningsmöjligheter av kompressorkyltekniken. De aspekter som undersöktes och jämfördes var ekonomi, drift och arbetsprincipen för teknikerna. Resultatet av studien kommer från en sammanställning av 11 stycken vetenskapliga artiklar från senare 2000-tal. Studien finner att ett utbyte av en kompressorkylanläggning mot en av absorptionstyp är teoretiskt möjlig. Detta skulle då generera en signifikant ekonomisk vinning i driftperspektiv, men installationskostnaden för en absorptionsanläggning är såpass stor att det blir mindre attraktivt att installera på ett äldre fartyg. Den största ekonomiska vinningen skulle komma ifrån en installation på en nybyggnad. Dock har en absorptionsanläggning inte lika goda möjligheter till att producera frystemperaturer, samt att anläggningen är underlägsen i driftsäkerhetssynpunkt kontra den vanligare typen. Detta då det har funnits att den påverkas betydligt mer av sjögång och omgivande temperaturer, vilket gör den mer opålitlig. Detta är en egenskap som speciellt inte är godtagbar på ett fartyg i ocean fart, då det kan befinna sig flera dygns resa ifrån hamn.

Nyckelord: Absorptionsanläggningar, absorption, kylanläggningar till sjöss, framtida kylanläggningar, fartygs kyltekniker

Abstract

This thesis was written in Swedish. On a ship there is a need for refrigeration which needs to be produced on-board. This is commonly made using a vapour compression refrigeration plant, a method of refrigeration that uses up a high amount of energy, and thus is expensive to use. Today there is an environmental-friendly development and the commonly used refrigerants in compressor refrigeration plants are now a focus point. This motivates researching a replacement. This literature review examines the absorption cooling plant, and its capability to replace the standard vapour compression plant on-board ships a part of the international trade fleet. The aspects that were studied and put in comparison were operation, economy and the working principles. The result of the thesis is based upon 11 different previous scientific studies made in the later 21st century. The study finds that a replacement of a compressor driven cooling plant is theoretically possible. This would generate an economical benefit due to reduced operative costs in comparison, but as the cost to install an absorption refrigeration system is significantly higher makes it less attractive for retrofitting an older ship. The biggest profit would be made from an installation on a new one. The studied absorption cooling plant has fewer possibilities to produce temperatures for freezers and it is unsecure in its operability while at sea, with poor efficiency with changing ambient conditions and instability with weather induced rolling. This makes the absorption cooling plant more unreliable, a trait that is not favoured upon in the maritime business, as a ship at sea could be days of travel away from the nearest port.

Keywords: Absorption cooling, future cooling plants onboard, absorption, ship refrigeration

Förord

Vi skulle vilja tacka vår handledare Cecilia Gabrieli för hennes stöd och vägledning igenom detta arbete. Vi vill också tacka Robin Ylvinger och Andreas Olsson för deras input.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	i
Abstract	ii
Förord	iii
Figurförteckning	vi
Tabellförteckning	vi
1 Inledning	1
1.1 Syfte.....	2
1.2 Frågeställning.....	2
1.3 Avgränsningar	2
2 Bakgrund och teori	3
2.1 Kylanläggningens historia	3
2.2 Kompressorkylanläggningens arbetscykel.....	3
2.3 Absorptionskylanläggningens arbetscykel.....	5
2.3.1 Absorptionskyla med ammoniaklösning.....	5
2.3.2 Absorptionskyla med LiBr-lösning.....	6
2.4 Absorptionskylans möjligheter.....	7
2.5 Marina installationer.....	9
2.6 Miljöregler för köldmedier samt hälsovådlighet.....	9
3 Metod	12
3.1 Litteraturstudie.....	12
4 Resultat	13
4.1 Vetenskapliga artiklar	13
4.2 Installation/drift av absorptionskylanläggningar	14
4.3 Ekonomiska aspekter.....	16
4.4 Jämförelse AKA gentemot KKA.....	18
5 Diskussion	19
5.1 Resultatdiskussion	19
5.2 Metoddiskussion.....	20
6 Slutsatser	22
6.1 Förslag på vidare arbete.....	22

Förkortningslista

A/C	Air Conditioning, eller luftkonditionering.
AKA	Absorptionskylanläggning(ar)
COP	Coefficient of performance eller köldfaktor. Är ett mått på hur energieffektiv en kylanläggning är genom att den energin som tas upp i förångaren divideras med den investerade energin i form av t.ex. ström eller för en AKA värme.
Fouling	Påväxt/påbyggnad på material, detta kan vara exempelvis sotbeläggning.
GWP factor	Global Warming Potential, ett mått på förmågan att bidra till växthuseffekten och den globala uppvärmningen.
HFC & HCFC	Väte-flour-kol och väte-kol-flour-kol föreningar. Detta används som köldmedium och de innehåller fluorerade gaser, vilket ger dem det vanligen kallade namnet freoner. Används idag i KKA.
HT-kylvatten	Högtempererat kylvatten.
KKA	Kompressorkylanläggning(ar)
LiBr	Litium bromid. Används tillsammans med vatten som köldmedium i AKA.
LT-kylvatten	Lågtempererat kylvatten.
Skott	En vertikal längs- eller tvärgående vägg i ett fartygs skrov.

Figurförteckning

Figur 1. Kompressorkylanläggningens arbetscykel.	4
Figur 2. Diagram över ammoniak-vatten-absorptionskylsystem.....	5
Figur 3. Sankey diagram som visar energibalansen i en marin dieselmotor	7
Figur 4. System för utnyttjandet av avgasens värme på ett fiskefartyg	8
Figur 5. Prestanda vid olika utomhustemperaturer.....	15
Figur 6. Kristallisationsförhållande mellan utomhustemperatur och det kylda	16
Figur 7. Motors bränsleförbrukning för ett vanligt system samt ett AKA system	17

Tabellförteckning

Tabell 1. Regelverk för flounerande växthusgaser	10
--	----

1 Inledning

På ett fartyg arbetar och bor besättningen under långa perioder, ofta upp till flera månader i sträck. Trivseln är därför viktig och för att besättning och passagerare skall trivas så bra som möjligt är den psykosociala arbetsmiljön och klimatet en fråga i fokus som ständigt utvecklas för att bli bättre (Ericson, 2011). Några av de punkter som anses viktiga för en bra trivsel är möjligheten att kunna arbeta och leva i en behaglig temperatur oavsett vart i världen fartyget befinner sig (Ericson, 2011). En annan viktig aspekt är tillgången till varierande och bra mat. Detta kräver goda möjligheter till konservering av livsmedel i form av kyl och frysrum (Månsson, 2013). Denna basala levnadsstandard kan låta som en självklarhet för många och något som kan tas för givet, men den gemensamma nämnaren för dessa är att de har ett behov av kyla, och precis som mycket annat på fartyg måste denna kyla skapas ombord.

För att täcka detta behov av kyla finns idag nästan uteslutande på alla fartyg någon typ av kompressorkylanläggning. Beroende på typ av fartyg, vart i världen fartyget opererar samt storlek på fartyget så varierar detta behov av kyla kraftigt. Men en sak har i princip alla olika typer av fartyg gemensamt, det är att ett betydande kylbehov finns.

I dagens läge när ekonomiska frågor spelar en stor roll och den miljöskyddande utvecklingen ständigt ställer hårdare krav på de köldmedium som används i konventionell kompressorkylteknik kan det nu finnas ett alternativ till dessa kylanläggningar, nämligen absorptionskyla (Palm, 2014). Några av fördelarna med tekniken är att köldmediet som används är mindre miljöskadande i förhållande till de köldmedier som används i kompressorkylanläggningar (Nilsson, 2001:02). En annan fördel är att spillvärme möjligtvis kan användas som drivkraft till en absorptionskylanläggning. Detta skulle kunna resultera i ekonomisk fördel för tekniken då överskottsvärme är vanligt förekommande ombord (Manzela, 2010).

Överskottsvärme kan med stor sannolikhet komma att finnas tillgänglig i större mängder efter att det nya svaveldirektivet som reglerar tillåten mängd svavel i brännolja började träda i kraft 1/1-2015 (Europaparlamentet, 2012). Detta på grund av att många rederier då valt att gå över till användning av lättare destillatbränslen som drivmedel, vilka kräver mindre värmning än vad nuvarande fartyg är dimensionerade för.

Tidigare studier har gjorts om möjligheter till att använda absorptionskylanläggningar för att uppfylla kylbehovet på fartyg. Resultatet av dessa studier har visat att det finns potential och fördelar med tekniken, både ekonomiskt sett samt i miljösynpunkt. Men trots att tekniken har funnits relativt länge och att denna potential finns är som tidigare nämnt absorptionskyla fortfarande sällan förekommande idag till sjöss.

Om tillgång till billig värme finns ombord kan absorptionskyla vara en metod till att minska de kostnader som annars finns för produktion av kyla. Detta motiverar till att undersöka möjligheter med absorptionskylanläggningar på fartyg.

1.1 Syfte

Syftet med denna studie är att undersöka om förutsättningarna för absorptionskylanläggningar är tillräckligt goda för att kyltekniken kan komma att ersätta kompressorkylanläggningar på fartyg inom handelsflottan.

1.2 Frågeställning

Frågeställningen består av en huvudfråga som besvaras med hjälp av tre delfrågor.

Kan absorptionskyla teoretiskt sett ersätta nuvarande kylteknik inom handelsflottan?

- Hur ser möjligheterna ut för användandet av absorptionskyla ombord på fartyg?
- Finns det ekonomisk vinning med kylanläggningar av absorptionskylteknik?
- Vilka för- och nackdelar finns med en absorptionskylanläggning jämfört med en kompressorkylanläggning?

1.3 Avgränsningar

De kylanläggningar som granskas i studien kommer att begränsas till huvudsakligen enkelstegsprocesser.

De olika köldmedium som skall granskas i denna studie begränsas till:
För absorptionskylanläggningar; Ammoniak-vattenlösningar samt LiBr-vattenlösning.
För kompressorkylanläggningar; olika HCFC och HFC.

Studien kommer ej att granska kylanläggningar som finns på fritidsbåtar, utan endast fartyg tillhörande den globala handelsflottan. Detta innefattar fiskefartyg.

Studien kommer endast att behandla AKA som kan drivas av spillvärme som finns tillgänglig ombord på fartyget. Möjligheter för uppvärmning av anläggningen från exempelvis elvärme eller extra energiuttag från oljeeldad panna kommer inte att ses som ett alternativ.

Driftaspekterna av de olika kylteknikerna, samt tillgången till spillvärme ombord kommer att sammanställas från tidigare vetenskapliga studier. Denna studie kommer då alltså inte att undersöka detta empiriskt.

Denna studie kommer enbart behandla A/C samt kyl och frys på fartyg för besättningens och passagerares inkvartering. Studien kommer inte att behandla det kylbehov som i vissa fall kan finnas för kylning av lastvaror.

2 Bakgrund och teori

I detta kapitel presenteras huvuddragen i kylteknikens historia och teknikens utveckling. Kylteknikerna kompressorkyla och absorptionskyla genomgås i deras teori, för att ge en uppfattning om skillnaderna mellan dessa. Den tekniska situationen ombord som är relevant för framställning av kyla tas upp, samt hur miljöregler och installationer ser ut idag. Hälsovådlighet samt miljöpåverkan för vissa köldmedium gås även igenom.

2.1 Kylanläggningens historia

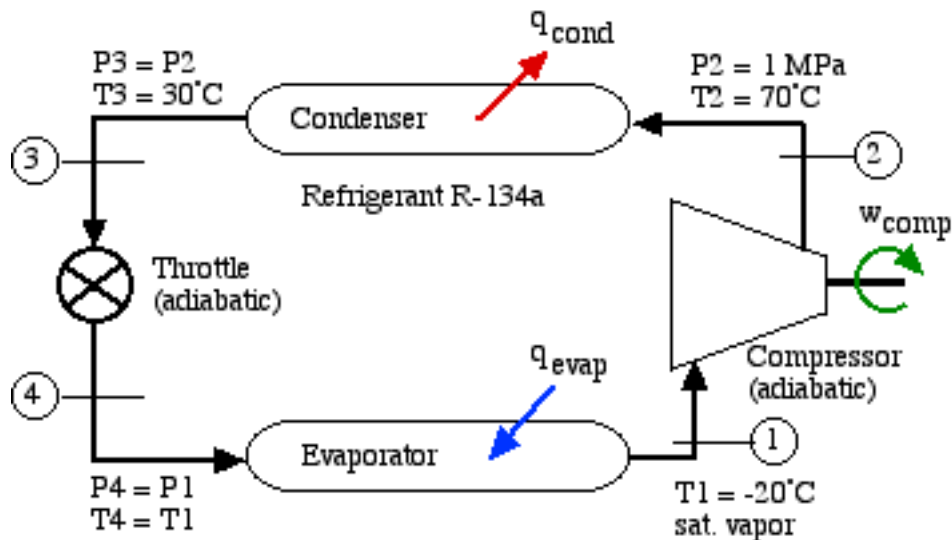
Människan började för mycket länge sedan att använda sig av kyla för konservering av livsmedel, redan på 1500-talet lärde man sig att nå en temperatur under 0 °C genom att blanda is och salt. Under tidigt 1800-tal började utvecklingen av olika kyltekniska processer och år 1834 ansökte Amerikanen Jacob Perkins (1766-1849) om ett patent som beskriver en teoretisk kylprocess. Denna används i majoriteten av de kylanläggningar som finns idag och benämns som kompressorkylanläggningar (KKA) (Nationalencyklopedin, n.d).

Cirka 100 år senare på 1930-talet började man att tillverka kylanläggningar som använde sig av en ny teknik, nämligen gaseldade ammoniak-vatten kylaggregat. Denna typ av kylanläggning blev snabbt populär i de delar av världen där el fortfarande var sällsynt. Tekniken har sedan dess utvecklats fram till det vi idag kallar för absorptionskylanläggningar (AKA), anläggningar som använder sig av värme för att skapa kyla. Intresset för absorptionskyla har under senare år ökat starkt då elpriserna ökat och därmed priset för att driva KKA (Nationalencyklopedin, n.d).

Den vanligaste metoden för att skapa kyla är idag genom kompressorkylteknik. Metoden har vuxit sig stor både på grund av dess enkelhet att kunna drivas där elektricitet finns tillgängligt, samt dess flexibilitet vad gäller sättet att tillföra kyla. Detta då det är möjligt att leverera kyla från kylmaskinen antingen till ett kylbatteri eller direkt till kylutrustning placerad i det utrymmet som skall kylas (Nilsson, 2001:01).

2.2 Kompressorkylanläggningens arbetscykel

KKA består av fyra huvudkomponenter. Dessa komponenter är kompressor, kondensor, expansionsventil samt förångare. Alla dessa komponenter kan ses i Fig.1 nedan och arbetscykeln för en enstegs KKA kan följas.



Figur 1. Kompressorkylanläggningens arbetscykel (Urieli, 2014).

I samtliga av dessa steg sker en tillståndsändring av det köldmedium som cirkulerar i kretsen. I det förstnämnda steget vid kompressorn sugas köldmedieången in och komprimeras så att en tryckökning uppstår. Då trycket ökar stiger även temperaturen så att gasen som lämnar kompressorn är överhettad (Alvarez, 2006).

Den överhettade gasen når sedan kondensorn där den kyls av ett kylmedel och gasen kyls då ner till dess kondenseringstemperatur. Därefter kondenserar gasen och i detta steg sker ingen tryckförändring. Det kondenserade köldmediet når sedan expansionsventilen där en trycksänkning sker när köldmediet expanderar. Denna trycksänkning motsvarar den tryckökningen som sker i kompressorn. Vid denna trycksänkning sker en delvis förångning av köldmediet samt en temperatursänkning till förångningstemperatur (Alvarez, 2006).

Det nu delvist förångade köldmediet når sedan förångaren där värme tas i från det som skall kylas för att helt förånga köldmediet, värmen som förångaren tar upp motsvarar den kylan som levereras till anläggningen. Kretsen börjar sedan om genom att det förångade köldmediumet åter igen sugas in i kompressorn. Kylningen fungerar med andra ord på det sättet att värme plockas bort från det man vill sänka temperaturen på (Alvarez, 2006).

För att komprimera köldmediet i kompressorsteget krävs en energitillförsel, normalt i form av elenergi. Denna energi motsvarar den största delen av den effekt som krävs för att driva anläggningen. I större anläggningar där en stor kompressor krävs kan denna effekt vara väldigt hög vilket resulterar i en hög elförbrukning och dyr drift (Nilsson, 2001:01).

COP-värde för en kompressorkylmaskin beror på temperaturskillnad mellan kondensorn och förångaren, samt storlek på kylmaskinen. En modern kompressorkylmaskin som är anpassad för komfortkyla har ett COP-värde på ca 3,0 (Gjersvold, 2009).

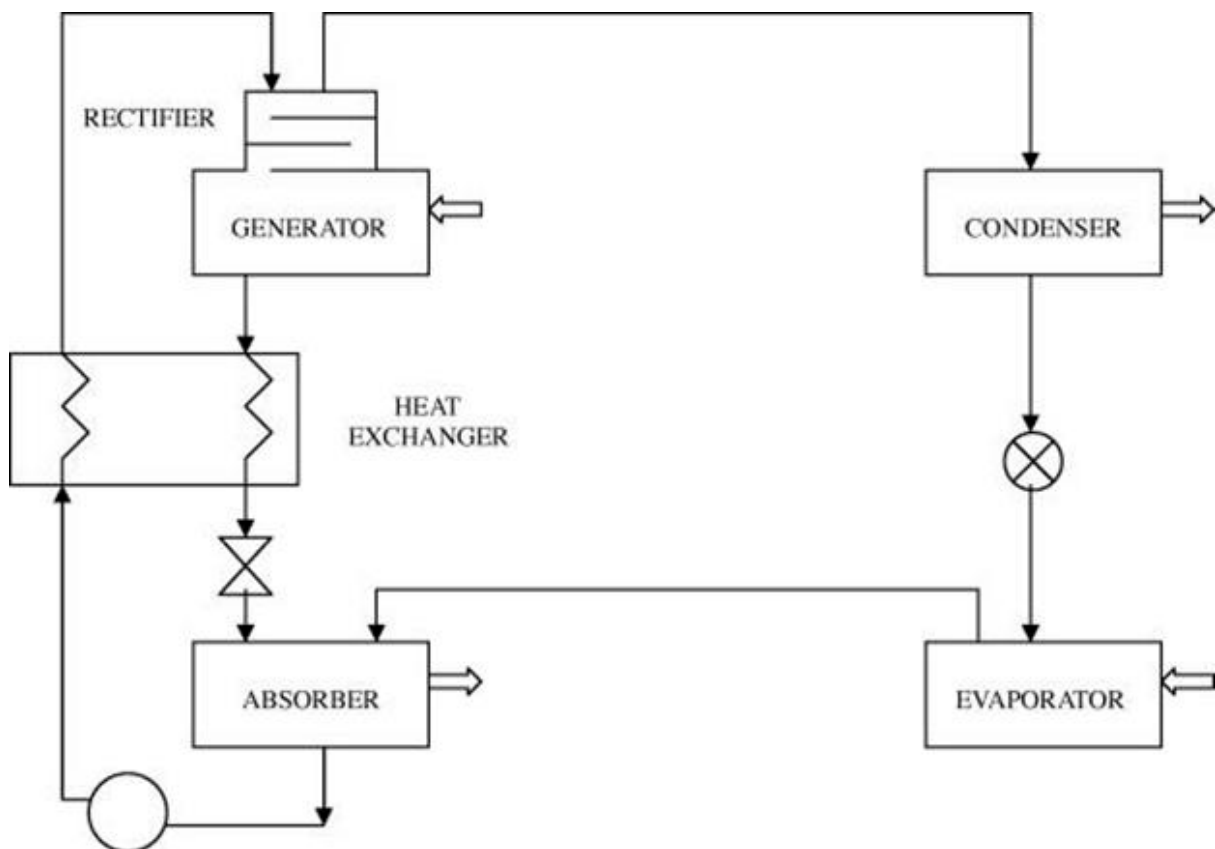
2.3 Absorptionskylanläggningens arbetscykel

Till skillnad mot den typiska enstegs KKA byts kompressorn ut mot en generator, absorber, pump och värmeväxlare. AKA har, jämfört med KKA, en låg verkningsgrad och överstiger sällan 1,0 i termiskt COP-värde (Ouadha, 2013; Yan, 2013; Aprile, 2015).

I denna studie presenteras två typer av AKA, båda är enkelstegs men arbetar med olika köldmediepar; ammoniak + vatten och LiBr + vatten.

2.3.1 Absorptionskyla med ammoniaklösning

I Fig.2 nedan visas en enkel absorptionscykel med ammoniak-vatten. AKA varierar i tryck och temperatur med avseende på den kyleffekt som skall uppnås, samt utformning av kylmaskinen. Precis som KKA arbetar anläggningen arbetar med en högtryckssida och en lågtryckssida. Ju större tryckskillnader som kan uppnås mellan dessa sidor desto större blir temperaturskillnaden. Det höga trycket hålls i processen av en tryckökande pump, som medför att högtryckssidan av processen kan hålla ca 10 bar(a) (Everts, 2011).



Figur 2. Diagram över ammoniak-vatten-absorptionskylsystem (Manzela, 2010).

I högtryckssidan ingår generator, kondensator och ångfälla. En koncentrerad ammoniak-vattenlösning går till generatorn och värms upp till ca 90 - 130 °C av en yttre värmekälla. Värmen som behövs till generatorn varierar med kylanläggning, och hålls ett lägre tryck på det som skall värmas krävs en lägre temperatur för att förångas det. Som värmekälla kan exempelvis spillvärme från en dieselmotor tas ut (Manzela, 2010).

Lösningen får under uppvärmningen ett högre tryck och kommer då att tryckas ut från generatorn mot kondensorn. En ångfälla, benämnt "Rectifier" i bilden, fungerar som ett

försteg till kondensorn och kan vara vattenkyld eller luftkyld. Denna sänker temperaturen som gör att vattnet fälls ut tillsammans med en liten del ammoniak, medans koncentrerad ammoniak går mot kondensorn. Ammoniaken kyls ner i kondensorn, med hjälp av kylvatten, till ca 20°C. Köldmediet (ammoniaken) går sedan genom en expansionsventil och expansionen resulterar i att ammoniaklösningen går från ett högtryck på ca 10 bar(a) till ett lägre tryck, ca 0,7 bar(a) (Everts, 2011).

Den stora trycksänkningen resulterar i en mycket lägre temperatur, och att ammoniaken till liten del förångas. Köldmediet förångas helt i evaporatorn när det värmeväxlas mot det som skall kylas, för att sedan gå till absorbatoren. Ammoniakgas med 0,7 bar(a) förångas vid ca -40 °C, och får man ner trycket ännu mer finns då möjligheter att sänka temperaturen ytterligare (Lervik, 1994). I absorbatoren absorberas ammoniaken av en svag ammoniak-vattenlösning, den samma som fälldes ut i ångfällan efter generatoren. För en god absorption sprayas den svaga ammoniak-vattenlösningen ner över den koncentrerade ammoniaken. Detta för att finfördela ämnena med varandra.

Absorbationen beror på att ammoniak är ett hydrofilt ämne och löser sig i vatten. I processen försvinner en del av den förångade ammoniakens värme till omgivningen genom att absorbatoren kyls ner med samma kylvattenslinga som går till kondensorn. Absorberingen och kylningen medför att den förångade ammoniaken kan gå tillbaka till en vätskelösning som kan trycksättas. Den nya koncentrerade ammoniak-vattenlösningen kan då pumpas genom en värmeväxlare där den starka lösningen värms upp av den svaga lösningen som kommer från generatoren vilket ökar kylanläggningens COP-värde (Oudha, 2013). Därefter börjar processen om igen.

2.3.2 Absorptionskyla med LiBr-lösning

AKA som istället använder sig av LiBr-vattenlösning arbetar vanligtvis med ett mycket lägre tryck jämför med den kylprocess som använder sig av ammoniak. En stor skillnad är att denna typ av AKA använder sig av vatten som köldmedium och litium bromid används som en absorbatör av vattenånga som kommer ifrån förångaren (Everts 2011).

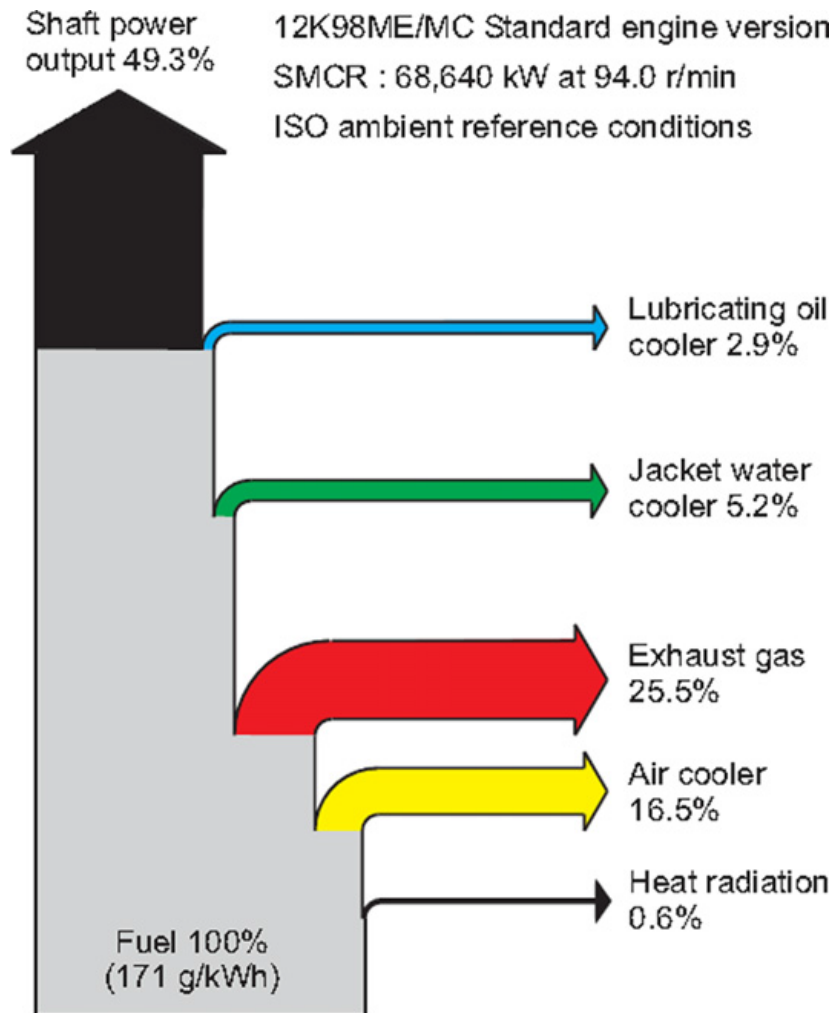
I en typisk anläggning som arbetar med LiBr-vattenlösning återfinns samma huvudkomponenter och går efter samma arbetscykel som en anläggning med ammoniak. Men då vattnet används som köldmedium är det det som kokas bort och går vidare till kondensorn. Alltså krävs ingen rectifier, eller ångfälla, efter generatoren.

En LiBr-vatten anläggning kan dock inte kyla ner till de minusgrader som en vanlig frys kräver, detta på grund av att det just är vatten som används som köldmedium vilket begränsas av dess fryspunkt vid 0 °C.

Ett problem med LiBr-vattenlösning AKA är att det finns en risk för kristallisation. Detta kan uppstå i rörledningar och flänsar, men är mest sannolik att inträffa där den starka LiBr-lösningen går in till absorbatoren, då den har som lägst temperatur. Om saltlösningen kristalliseras kommer den att blockera flödet och rendera AKA ineffektiv. Avkristallisering är möjligt men medför ökat underhåll (Liao, 2007).

2.4 Absorptionskylans möjligheter

En motor har alltid energiförluster, något som bäst ses i ett s.k. Sankey-diagram som ses i Fig. 3 nedan. Figuren visar energiförlusterna för en typisk marin dieselmotor med avgasturbin, som ofta förekommer på fartyg till sjöss.



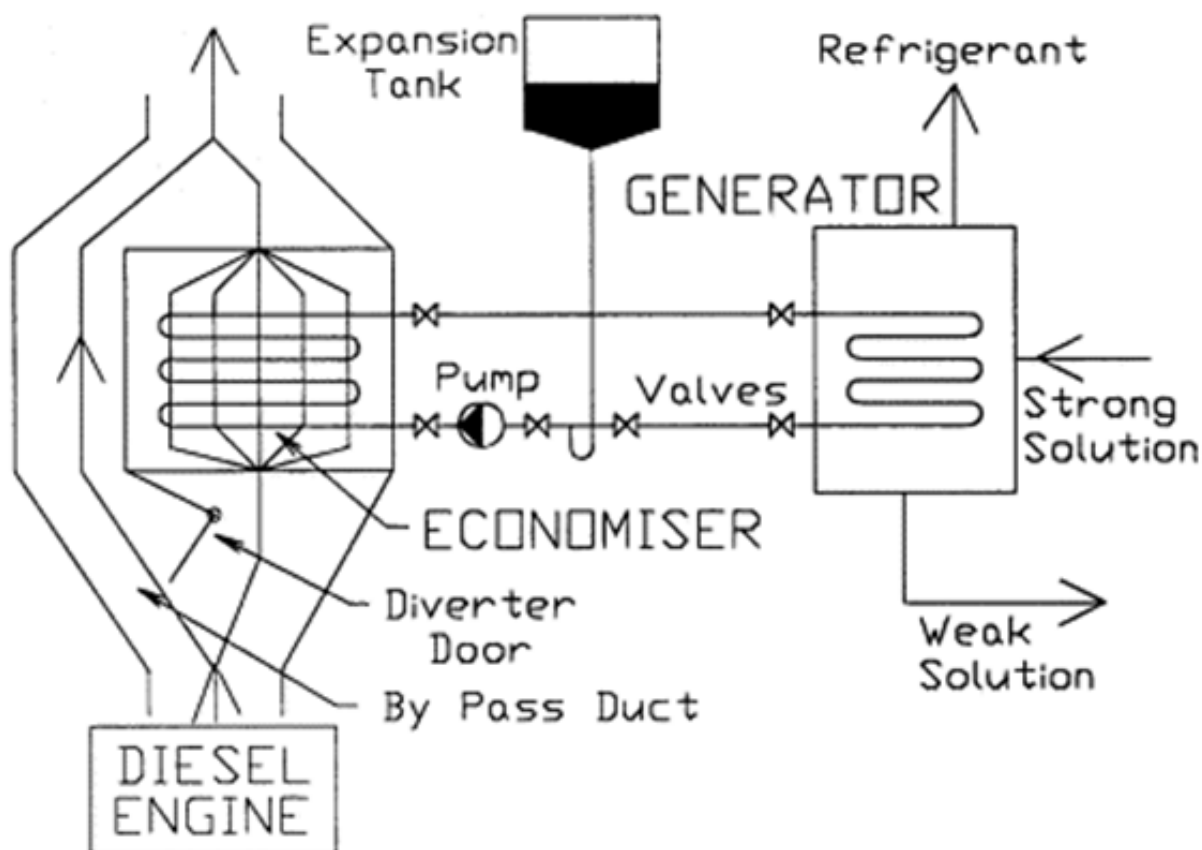
Figur 3. Sankey diagram som visar energibalansen i en marin dieselmotor (Shu, 2012)

I Sankey diagrammet kan ses att denna motortyp får ut nästan 50 % i effektivt arbete av den totala energin man tillför processen. Av energiförlusterna är 5,2 % värme som går ut med HT-kylvattnet och 19,4 % som försvinner bort med LT-kylvattnet. Resterande stora värmeförluster är 25,5 % som försvinner ut i form av avgaser. Detta anses vara spillvärme, eller överskottsvärme. En metod för att öka en motors verkningsgrad är att ta tillvara på denna energiförlust vilket kan göras med hjälp av en AKA (Manzela, 2009). Temperaturen på det utgående LT-kylvattnet från en motor är ca 65 °C och därmed för låg för att kunna användas som drivvärme för en AKA (Axeteg, 2009).

För att en absorptionsanläggning skall kunna ses som attraktiv ombord krävs att den kan drivas på "gratis" värme, m.a.o. spillvärme. Detta har undersökts tidigare men tillgängligheten av överskottsvärme är varierande beroende på motortyp. En modern marin diesel motor har flera former av spillvärme som potentiellt kan användas för att driva en absorptionsanläggning. Dessa innefattar avgaser (300-600°C), HT-kylvatten (80-100°C) och spillluft innan kylning (200°C) (Ouadha, 2013).

HT-kylvatten till en motor är sällan högre än 90°C då man inte vill riskera att vattnet förångas och kavitation uppstår inuti rörledningen. Detta medför att kylvattnet är en relativt lågtempererad värmekälla för AKA. Fördelen med denna värmekälla är att det är enkelt att dra rörledningar jämfört med avgasåtervinning (Taboás, 2014).

Ett annat sätt att ta tillvara på energin är genom att utnyttja värmen i avgaserna. Avgaserna håller en hög temperatur vilket är fördelaktigt för en AKA. Fig.4 visar ett sätt att ta tillvara på avgasernas värme genom att låta en slinga med hetolja cirkulera genom avgasspannan för att sedan värma upp generatoren. Systemet har en pump för att göra detta och även en expansionstank för värmeexpansion av hetoljan och ifall pumpen havererar (Fernández-Seara, 1998). Då det är hetolja som används kan temperaturen överstiga 100°C, vilket medför att en bättre kylanläggning kan skapas då COP-värdet för AKA ökar med en högre generatortemperatur (Xu, 2014).



Figur 4. System för utnyttjandet av avgasers värme på ett fiskefartyg (Fernández-Seara, 1998)

Att låta avgasernas energi utnyttjas är ingen nytänk då det finns flera användningssätt för dem, såsom turbocharger och till vattenbehandling (Shu, 2012). Dessvärre kan inte all energi tas ut från värmen i avgaserna då man inte vill låta avgastemperaturerna sjunka under 190 °C eftersom kondensering då kan ske vilket resulterar i svavelsyra som är skadligt för både maskineri och hälsan (Everts, 2011).

2.5 Marina installationer

Företaget Fischer group rapporterar att de har installerat AKA på kryssningsfartyget *AIDamar* samt ombord på forskningsfartyget *Sonne*. (Fischer group, 2012) De AKA som de installerar testas i testanläggningar där de hårdare förhållanden som uppkommer till sjöss simuleras.

Fischer group skriver att de använder sig av ett ”svängningsbord” där följande sjöförhållanden simuleras:

- Rullning: 6,5 sekunder vid $\pm 15^\circ$ lutning
- Ihållande lutning (list) på 15°
- Pitching (rullning i tvärlängd): 5 sekunder vid $\pm 7,5^\circ$ lutning
- Ihållande trim (lutning i tvärlängd) på 2°

Under dessa förhållanden är det viktigt att kylkapaciteten hos anläggningen inte minskar.

Även företaget GEA Grenco B.V. rapporterar att de installerat en kylanläggning av absorptionstyp ombord på en fiskebåt för det norska rederiet *Olympic Prawn*. (GEA, 2008) Kylanläggningen består dock inte enbart av en AKA, utan för redundans kommer även ett kompressorkylsystem att vara installerat. Detta motiveras genom att fartyget inte har tillräckligt med överskottsvärme vid höga laster på kylsystemet eller då de ligger till hamn.

2.6 Miljöregler för köldmedier samt hälsovådlighet

Vanliga köldmedier som återfinns i KKA hör till flourerade gaser, såsom HFC-köldmedier vilka regleras i den så kallade F-gas förordningen (Europaparlamentet, 2006). Här finns föreskrifter för användandet av dessa typer av köldmedium med avseende på deras GWP-faktor, ett mått på mediets globala uppvärmningspotential. Detta för att förhindra utsläpp av växthusgaser till atmosfären.

Dessa regler, som berör exempelvis läcksökning och rapportering, hör till den gamla internationella F-gas förordningen och gäller landbaserade anläggningar, men i Sverige gäller reglerna även för fartyg.

Ett nytt förslag med tillägg till f-gas förordningen godkändes under 2014 och de första förbuden trädde i kraft den 1 januari 2015. Detta ställer hårdare krav för användning av olika HFC-köldmedium, samt för framtida användning av kylanläggningar som innehåller HFC (Europaparlamentet, 2014). De nya och kommande förbuden för kylanläggningar innehållande HFC beskrivs i tabell 1 nedan.

Produkter och utrustning	Förbudsdatum
Hushållskylar och frysar som innehåller HFC med GWP av 150 eller mer	1 Januari 2015
Kylskåp och frysar för kommersiellt bruk (hermetiskt slutna system) - Som innehåller HFC med GWP = 2500 eller mer - Som innehåller HFC med GWP = 150 eller mer	1 Januari 2020 1 Januari 2022
Stationär kylutrustning, som innehåller, eller som för dess funktion är beroende av, HFC med GWP = 2500 eller mer, med undantag för kylutrustning som är avsedd för kylning av produkter under -50°C	1 Januari 2020
Flerkompressors-system för kommersiellt bruk med en kapacitet på 40 kW eller mer som innehåller, eller som för dess funktion är beroende av, HFC med GWP =150 eller mer, med undantag av kaskadkylsystem där fluorerade växthusgaser med GWP mindre än 1500 kan användas.	1 Januari 2022
Flyttbara rums-luftkonditioneringsaggregat (hermetiskt slutna system som kan flyttas mellan olika rum av slutanvändaren) som innehåller HFC med GWP = 150 eller mer	1 Januari 2020
Singel split luftkonditioneringsystem som innehåller, eller som för dess funktion är beroende av, mindre än 3 kg fluorerade växthusgaser med GWP = 750 eller mer	1 Januari 2025

Tabell 1. Regelverk för fluorerade växthusgaser (Europaparlamentet, 2014)

Dessa förbud gäller för landbaserade kylanläggningar, men man kan se att det är en restriktiv syn på fluorerade gaser i dagens läge. Ett av de vanligaste köldmedier som används idag i kompressorkylsystem är R404A. Detta köldmedium är en blandning av flera olika köldmedium. GWP-faktorn för R404A är 3922 och är därmed långt över den kommande förbudsgränsen för landbaserade kylsystem (Palm, 2014).

AKA som återfinns i denna studie använder LiBr eller ammoniak som köldmedium tillsammans med vatten. Inget av dessa ämnen har en negativ påverkan på den globala uppvärmningen och är ur den synpunkten ej miljöskaadande (Naturvårdsverket, 2013).

Om man ser på ämnenas hälsovådlighet kan ammoniak vara extremt farligt vid större läckage. Det är irriterande vid kontakt med hud och kan orsaka skador på ögonen då det är korrosivt. Inhalation skadar luftvägarna vilket kan leda till döden. Det är väldigt viktigt att använda sig av skyddsutrustning vid hantering av ammoniak eller om då man misstänker en läcka (Tanner, 2011).

Säkerhetsregler finns för ammoniakanläggningar på fartyg för att förhindra att människor skall komma i kontakt med ämnet. De skall vara placerade i speciella utrymmen avskilda från närliggande utrymmen med gastäta skott. Inuti utrymmen måste det finnas gasvarnare utifall ett läckage av ammoniakgaser uppstår, som skall ge både ljud och ljussignaler för att varna besättningen. Ifall gasvarnarna avger larm skall en nödventilation automatiskt aktiveras. Det skall finnas gasmasker utanför detta utrymme ifall en nödaktion behöver göras inuti rummet. Dessa regler är för att försiktighet måste iaktas när man hanterar eller är i närheten av ammoniaksystem, och påvisar då farligheten hos ämnet (SJÖFS, 2004).

Anläggningar med LiBr + vatten är mindre skadliga, då vatten används som köldmedium betyder detta att läckage av köldmedium är i princip ofarligt. LiBr-lösningen är mindre skadligt och ses inte som giftigt vid inhalation om det inte är större mängder. Det är dock irriterande för huden och kontakt med ämnet avråds (Claisse, 2014).

3 Metod

För att besvara huvudfrågan samt de underfrågor som ställs i detta examensarbete valdes att genomföra en litteraturstudie. Detta innebär att ett flertal vetenskapliga artiklar granskas och deras resultat jämförs för att få en bättre helhetsbild av ämnet. Då en litteraturstudie innefattar ett flertal källor underlättar detta att få en objektiv syn på ämnet. (Höst, 2006).

3.1 Litteraturstudie

För att hitta relevant material för studien så börjades det med att söka bland kurslitteratur och i databaser med ett brett perspektiv. Genom en översiktlig läsning sorterades sedan artiklarna ut för att få fram de som lämpade sig bäst för studien.

De databaser som användes för litteratursökning, vilka sökord som använts och hur urvalet av källor gjordes presenteras i listan nedan.

Sökorden användes både separat och tillsammans. Även svenska och engelska synonymer användes för att få ett bredare sökresultat.

Bibliotek

Chalmers bibliotek

Databaser

Web of science, Sciencedirect, Google

Sökord

Absorption cooling, absorption, absorption refrigeration, compressor refrigeration, compressor cooling, refrigeration, cooling onboard, crystallization absorption chillers

Urval

Efter en översiktlig läsning gjordes sedan ett manuellt urval av de mest relevanta källorna. Källorna bedömdes efter dess aktualitet, relevans mot ämnet samt förmåga att besvara denna studies frågeställning. Källorna begränsades efter publicering tidigast år 2005. Trovärdigheten granskades genom att överblicka dess egen källhänvisning.

4 Resultat

Resultatet baseras på ett urval av 11 st vetenskapliga artiklar. Artiklarna presenteras nedan samt i Bilaga 1.

4.1 Vetenskapliga artiklar

Ahlin undersökte 2014 teoretiskt om LiBr + vatten AKA har potential ombord på fartyg då processen enbart använder sig av värme ifrån huvudmaskinens högtemperaturkylvatten. Studien undersökte specifika driftfall för tre olika fartyg samt en maskinsimulator. De aspekter som undersöktes var vilket kylbehov som fanns samt tillgänglig energi.

Aprile m.fl. gjorde 2015 en experimentell studie om en mindre ammoniak AKA och dess prestanda vid olika arbetsfall. Värmekällan som användes var varmvatten. Studien undersökte systemets effektivitet vid olika omgivningstemperaturer samt vid varierande temperatur på värmekällan.

Axeteg & Sällman undersökte 2009 hurvida AKA kan användas för att täcka kylbehovet ombord på fartyget Stena Jutlandica. De aspekter som undersöktes var dimensionering av systemet och dess effektbehov, konstruktionsproblem av systemet samt en grov beräkning av energibesparing.

Berntsson undersökte 2014 möjligheterna att effektivisera energianvändningen ombord på ett passagerarfartyg genom att utnyttja överskottsvärmen i HT-kylvatten samt ånga från avgaspannan för att värma upp en AKA. Arbetet gjordes som en fallstudie ombord på ett svenskflaggat passagerarfartyg. De aspekter som studerades var tekniska problem med systemet samt en ekonomisk analys av installation och drift.

Everts m.fl. genomförde en studie 2011 som undersökte om implementeringen av en AKA resulterade i reducerad miljöpåverkan från motorn som drev kylanläggningen. De gjorde även beräkningar för motorns energibalans.

Liao och Radermacher publicerade 2007 en rapport om kristallisation i en LiBr AKA. De behandlade LiBr anläggningar och undersökte möjliga åtgärder för att förhindra kristallisation.

Manzela m.fl. gjorde 2009 en experimentell studie med en ammoniak-vatten baserad AKA. Värmekällan som användes var avgaser från en dieselmotor som kördes i intervaller med olika belastningsfall. De resultat som studerades var energitillgång i avgaserna, prestandan från kylanläggningen, avgashalter samt ekonomisk utvärdering.

Seddiek m.fl. studerade 2012 möjligheterna att genom att ersätta befintlig KKA med en LiBr AKA, för effektivisering av bränsleförbrukningen ombord på ett snabbgående passagerarfartyg som opererar i röda havet mellan Egypten och Saudiarabien. Kylanläggningen kunde drivas av avgaser från fartygets huvudmaskiner och dieselgeneratorer. De aspekter som studerades var tekniska problem vid installation, ekonomisk analys samt miljöpåverkan.

Shu, m.fl gjorde år 2012 en studie om olika sätt för WHR (Waste Heat Recovery). De tog upp ett flertal principer för spillvärmesåtervinning, bl.a. var absorptionskyla en av dem och dess ekonomiska aspekter granskades.

Táboas m.fl. gjorde 2014 en analys av användandet av en ammoniak AKA för lastkylning ombord på ett fiskefartyg. HT-kylvatten från fartygets dieselmotorer användes som värmekälla för generatoren.

Yan m.fl. studerade 2013 en ny högeffektiv typ av LiBr + vatten AKA för spillvärme. Den jämfördes mot en konventionell enstegs AKA, framförallt prestandamässigt, och skillnaderna publicerades.

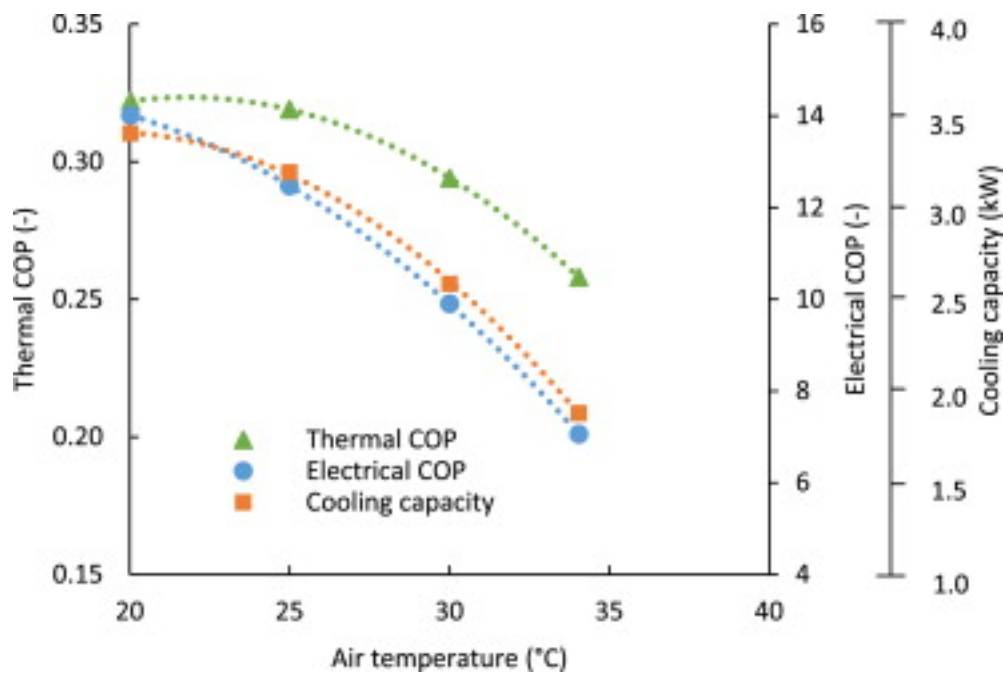
4.2 Installation/drift av absorptionskylanläggningar

I studien av Ahlin (2014) undersöktes den tillgängliga mängd energi i huvudmaskinens HT-kylvatten ombord på tre olika fartyg, dessa var av typerna; produkttanker utrustad med en Wärtsilä 6L46C på 6 180 kW, kemikalietanker utrustad med en Wärtsilä 6L38 på 4 350 kW och en passagerarfärja utrustad med 4 stycken Wärtsilä 12V46C på 12 600 kW. Studien kom fram till att energimängden varierade kraftigt beroende på motortyp, systemets storlek samt flöde. I samtliga undersökta fall fanns tillräckligt med energi för att driva en AKA som levererade den effekt fartygets nuvarande kylbehov krävde.

Everts m.fl. (2011) beräknade den tillgängliga energin som finns vid drift av Wärtsiläs dieselmotor 7L46F vid 100 % last. De kom fram till att energitillgången som fanns i form av spillvärme var tillräckligt stor då man lät avgaser kombinerat med kylvattnet värma upp generatoren hos en AKA.

Axeteg & Sällman (2009) kom fram till att den spillvärmes som fanns tillgänglig från en av de två huvudmaskinernas HT-kylvatten ombord på Stena Jutlandica kan med hjälp av en AKA omvandlas till ca 1050 kW kyla. Detta täcker det kylbehov för komfortkyla som idag finns på 200 kW. För att täcka energibehovet då fartyget ligger i hamn 1 timma beräknades att en ackumulatortank av storleken 25 m³ krävs.

Aprile (2015) kom fram till att då spillvärmes kraftigt kan variera i temperatur infinner sig ett problem för AKA. Dess prestanda kommer att fluktuera och han menar att vid för stora temperaturskillnader hos generatortemperaturen renderar AKA olämplig för kylproduktion. Studien kom även fram till att en varierande omgivningstemperatur har en stor inverkan. Som kan ses i Fig. 5 nedan sjunker det termiska COP-värdet kraftigt för en luftkyld AKA vid en temperaturökning på omgivningen med 15 °C.

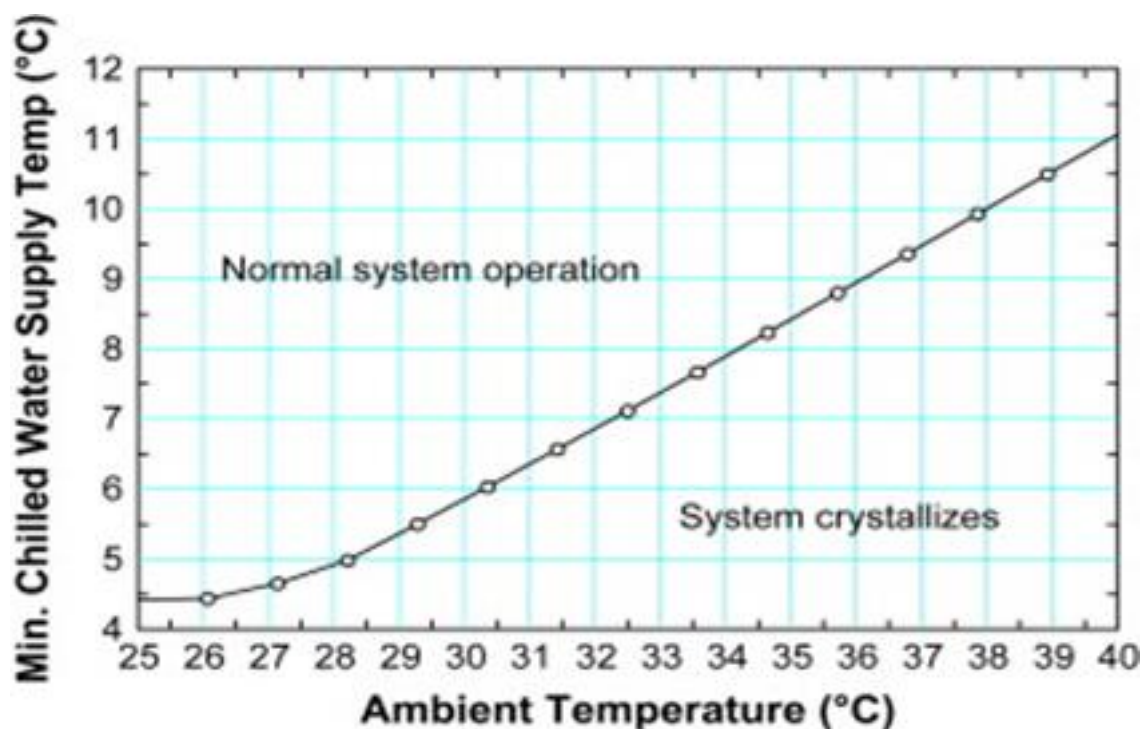


Figur 5. Prestanda vid olika utomhustemperatur (Aprile 2015)

Yan m.fl. (2013) identifierade problemet med en fluktuerande temperatur för generatoren och tog fram en teoretisk konstruktions modell som klarar av en större variation på drivkällans temperatur, dock till ett pris av ett försämrat COP-värde jämfört med en konventionell enstegs AKA.

Berntsson (2014) undersökte möjligheterna för att få en mer stabil temperatur på värmekällan som används för uppvärmning av generatoren. Han kom fram till att genom användning av en ackumulatortank kunde en stabilare temperatur hållas vid drift och temperaturbehovet på värmekällan uppfyllas även då fartyget låg i hamn. Dock krävs en väl lämpad isolerad ackumulatortank.

Liao & Radermacher (2007) presenterade en kontrollstrategi för att förhindra problem med kristallisation i rörledningar hos en LiBr anläggning. Strategin går ut på att genom konstant övervakning av omgivningstemperaturen och reglering av temperaturen på det vatten som skall kylas förhindra att hamna inom riskzonen för kristallisation. Detta kan ses nedan i Fig. 6. Figuren är baserad för konstant flöde i AKA samt en konstant temperatur på 280 °C från avgasvärmekällan.



Figur 6. Kristallisationsförhållande mellan utomhustemperatur och det kylda (Liao, 2007)

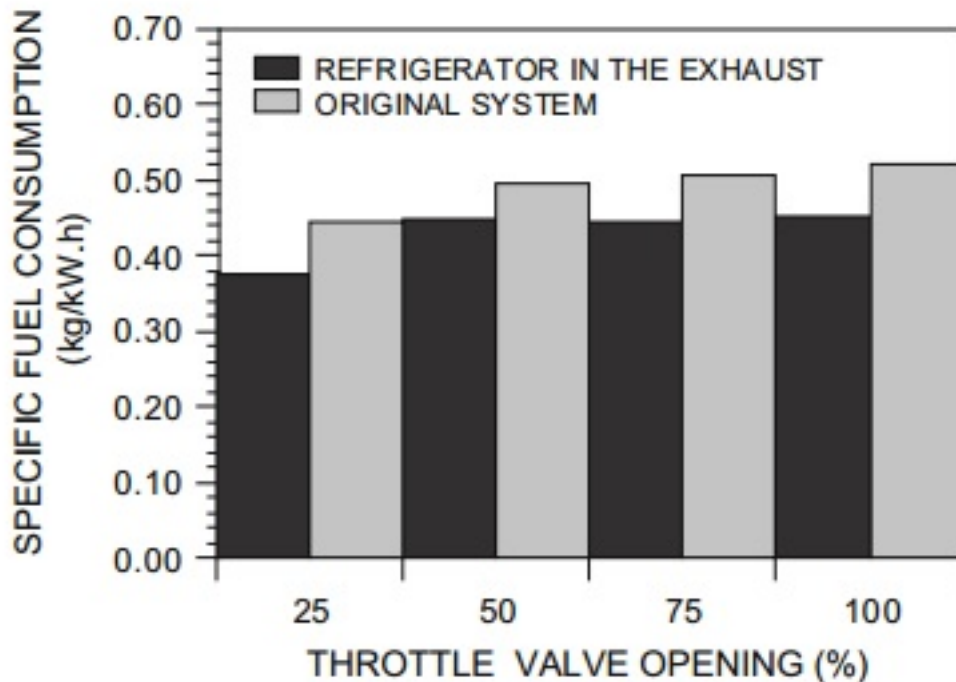
Ytterligare en metod presenterades för att förhindra problemet; genom övervakning av avgastemperatur och utomhustemperatur. Skulle utomhustemperaturen bli för hög måste generator, eller i detta fall avgastemperaturen sänkas genom spädning med frisk luft eller bypass. Dock resulterade en sänkt generatorntemperatur i ett sämre COP-värde.

4.3 Ekonomiska aspekter

Seddiek m.fl (2014) kom fram till att om spillvärme från fartygets avgaser används som drivenergi till en installerad AKA så behöver ingen el produceras för kylbehovet ombord på fartyget. Detta medför i sin tur en minskad last för elproduktionen och då en reducerad bränsleförbrukning.

Genom att sammanställa kostnader för installation, drift och underhåll med hänsyn till varierande bunkerpris och drifttid kom de fram till att för det specifika fartyget som undersöktes skulle kylanläggningen betala av sig på ca 4-5år jämfört med den nuvarande installerade KKA. Efter denna period skulle den ekonomiska besparingen öka för varje år.

Enligt en experimentell studie av Manzela m.fl (2010) sänktes den specifika bränsleförbrukningen 12 % då man lät avgaserna från en dieselmotor värma upp generatoren i en ammoniak-vatten AKA. Resultatet från detta experiment kan ses i Fig. 7 nedan.



Figur 7. Motorns bränsleförbrukning för ett vanligt system samt ett AKA system. (Manzela, 2010)

Axeteg & Sällman (2009) gjorde en grov beräkning av den ekonomiska besparingen vid installation av en LiBr + vatten AKA för komfortkyla ombord på fartyget Stena Jutlandica. Genom uppskattningen att fartygets dygnslast uppträder på samma sätt som för en stad kom man fram till att den energimängd som kunde besparas var ca 130 kW/h. Med hjälp av detta samt vid tidpunkten gällande bunker- och dollarkurs (2009-11-10) kom man fram till att den ekonomiska besparingen blev ca 2700 Kr/dygn, eller 670 000 Kr/år. Dock tog beräkningen enbart hänsyn den rena bränslebesparingen, ej installation- och underhållskostnader. Vid ett antagande att installationskostnaden blir lika stor som inköpspriset, kom man fram till en pay-off tid på ca 4,5 år för systemet.

Berntsson (2014) kom genom en fallstudie ombord på fartyget Stena Scandinavica fram till att priset på en AKA som effektmässigt klarade av att täcka kylbehovet för komfortkylan ombord skulle uppgå till ca 1 200 000 Kr. Därefter skulle installationskostnad uppgå till ca 1 413 000 kr, vilket ger ett totalt pris på 2 613 000 Kr. Studien kom även fram till att genom reducerad bränsleförbrukning och med hänsyn till bunker- & dollarkurs vid studiens tidpunkt, skulle en ekonomisk besparing på ca 600 000 kr/år vara möjlig. Detta resulterade att pay-off tiden för systemet blev ca 4 år.

I studien gjord 2012 av Shu m.fl. granskades bland annat att en större 2 takts motor har stora energiutsläpp i form av avgaser, och ifall en AKA med ca 0,5 i COP-värde skulle ta tillvara på den spillenergin räknade de ut en kylkapacitet på 1389 kW. De beräknade att anläggningen skulle spara 104 633 USD i månaden om all kylkapacitet användes 18 timmar om dagen.

4.4 Jämförelse AKA gentemot KKA

Vid en sammanställning av de för- och nackdelar som konstateras i de undersökta studierna fås följande:

Fördelar:

- Lägre driftkostnad
- Mindre underhållsbehov
- Längre livstid
- Minskade utsläpp
- Ingen speciell utbildning krävs
- Mindre miljöskadande köldmedium

Nackdelar:

- Högt inköpspris
- Längre uppstartningstid
- Ostabil drift
- Tar relativt stor plats
- Svårreglerad vid sjögång och skakningar
- Anläggningens COP påverkas mycket av omgivningstemperaturer.

Det största problemet med AKA idag är att designen på de flesta av dagens anläggningar inte är anpassad för bruk i en marin miljö. På grund av att det finns öppna vätskekanaler med droppspår för avrinning i de konventionella AKA klarar systemet inte de rullningar och skakningar som förekommer på fartyg. Vid sjögång skulle dess vätskenivåer komma i rörelse vilket leder till problem med effektregleringen och instabilitet i systemet (Axeteg, 2009).

5 Diskussion

I detta avsnitt diskuteras resultat och studiens metodval, för att ge en förklaring, samt en kritisk bedömning av de resultat som presenterats.

5.1 Resultatdiskussion

Installation och driftaspekter av en AKA som presenterades studerades litterärt och inte efter ett specifikt fartyg eller fartygstyp. En förståelse för att variation finns vid varje driftfall måste finnas. Detta innebär att resultaten inte är definitiva och inte direkt återkopplingsbara till en praktisk installation. Däremot ger de en uppfattning på möjligheterna för en sådan anläggning, och är därmed intressant information.

Genom att jämföra COP-värdet för AKA och KKA kan konstateras att utan tillgång till spillvärme är en eventuell installation av en AKA inte att föredra, då föga besparingar kan göras på grund av den låga prestandan. De enda fördelar en sådan anläggning då skulle ha är genom användning av ett mindre miljöskadande köldmedium.

Även fast det teoretiskt sett finns tillräckligt med spillvärme för att driva en AKA ser det olika ut i praktiken. De energiberäkningar som sammanställs i denna studie visar att i flertalet av fallen då fartygets huvudmaskin är i drift finns en tillräckligt stor mängd överskottsvärme för att driva en AKA anpassad för att täcka de undersökta fartygens kylbehov. Dock måste hänsyn tas till att spillvärme och tillgången till-, samt temperaturen på överskottsvärmen varierar med driftfall.

Resultatkapitlet tar upp en teoretisk modell av en AKA för att försäkra stabil drift vid större variationer på generatorntemperatur. Detta hade dock en negativ inverkan på anläggningens COP-värde och kommer enligt oss ses som ännu mindre attraktiv att ha ombord, då en KKA oftast har mer än 3 gånger så stort COP-värde än en konventionell enkelstegs AKA. För att täcka energibehovet då fartyget ligger i hamn och överskottsvärme ej finns att tillgå är alternativen att ha en ackumulatortank installerad alternativt en KKA som tar över lasten tills fartygets huvudmaskin åter tas i drift. En installation av en ackumulatortank skulle även jämna ut variationen på generatorntemperaturen. Dock skulle den ökade installationskostnaden för en ackumulatortank eller en dubbel anläggning ge en ökad pay-off tid.

Jämförs LiBr + vatten AKA med KKA lämpar sig inte AKA för att ta över hela kylbehovet ombord på ett fartyg, på grund av att man inte kan nå frystemperaturer. En möjlighet är att absorptionskylan står för komfortkylan ombord, medan en KKA täcker frystemperaturerna. Detta ger förstås en dyrare kylinstallation då det är dubbla anläggningar.

En av de mest intressanta aspekterna idag mellan de olika anläggningarna är köldmedierna. Då KKA köldmedium har hamnat i fokus för att vara miljöskadligt, mer specifikt en hög GWP-faktor, har köldmedium för AKA inga miljöskadande effekter i det sammanhanget. Detta medför att denna kylteknik kan komma att utvecklas för marint bruk i framtiden, som ett svar på dagens allt miljövänligare tankesätt.

Ett stycke i resultatdelen tar upp att COP-värdet för en AKA sjunker kraftigt vid en fluktuation av omgivningstemperaturen med 15°C. Lufttemperaturen var i detta fall beräknad för en luftkyld AKA, men kan då ses som sjövattemperaturen för en vattenkyld AKA. Det intressanta är att denna temperaturskillnad på sjövattnet är helt möjlig för ett fartyg som

arbetar i oceanfart. Detta skulle medföra en ostabil kyleffekt då man behöver den som mest, när man går till varmare vatten.

Största problemet som identifieras med de köldmedium som används i AKA är för LiBr-saltlösningen en större risk att kristallisera sig och strypa flödet, vilket har en negativ påverkan på den redan dåliga effektiviteten. För koncentrerad ammoniak finns en extrem hälsopåverkan, och kan visa sig farligt även vid mindre läckage. Därför finns säkerhetsföreskrifter för en anläggning innehållande detta ämne. Att följa dessa medför ökat underhåll samt ökad installationskostnad.

Ett problem som kan vara svårt att förutse är att kristallisation uppstår i anläggningen. I resultatkapitlet presenterades två olika kontrollstrategier för att förhindra att detta uppstod. Det ena var att höja temperaturen på det som skall kylas då omgivningstemperaturen ökar. Detta är ganska uppenbart inte att föredra då det innebär att man inte kan säkerställa en stabil temperatur för det som skall kylas, vilket ofta ställs som ett krav på en kylanläggning.

Det andra scenariot var att sänka generatortemperaturen, genom att exempelvis späda ut avgasåtervinningen med frisk kallare luft, alternativt reglera temperaturen med hjälp av en kylare då man använder sig av motorns HT-kylvatten. Denna metod skulle vara mycket mer fördelaktig än tidigare nämnd strategi, men medför en försämrad prestanda.

Den ekonomiska fördelen med en AKA uppenbarar sig genom att man kan använda sig av spillvärme, vilket resulterar i ett minskat effektuttag för elnätet ombord på ett fartyg och därmed besparing av bränsle. De studier som har undersökts i detta arbete räknar dock bara grovt teoretiskt ut kostnaderna samt besparingarna med AKA. Det man dock kommer fram till i samtliga fall är att pay-off tiden för en AKA rör sig runt ca 4-5 år och kan därmed ses som en ungefärlig tidsram.

Då det tar relativt lång tid för anläggningen att generera ekonomisk fördel anser vi att en eventuell installation lämpar sig bäst vid nybyggnad av ett fartyg. Kostnader och framförallt besparingar är något som inte kan beräknas exakt förrän man väl genomför en sådan installation.

De resultat som presenterats påvisar många möjligheter med AKA på fartyg, men tar även upp många av absorptionskylans hinder. Detta ger oss en försämrad bild av ett scenario då AKA börjar byta ut KKA i stor skala för marint bruk.

5.2 Metoddiskussion

Metodvalet att göra en litteraturstudie bedöms som relevant då kunskapen inom ämnet var mycket bristande vid studiens start. Det positiva med litteraturstudien var att det fanns nog med vetenskapliga källor om AKA. Även om svårigheter uppstår vid val av vetenskapliga artiklar anser vi att de utvalda artiklarna var tillräckliga för att ge svar på studiens frågeställning.

Urvalet av källor bedömdes efter deras trovärdighet, aktualitet och relevans. Hur dessa 3 saker bedömdes förklaras nedan;

- De utvalda källornas trovärdighet bedömdes enbart genom att granska dess egen källhänvisning. Den begränsade kunskapen vi besatt om ämnet visade sig vara ett hinder när det gäller att bedöma om delar av innehållet var felaktigt eller ej.
- Källorna som valdes ut ansågs vara aktuella, då de var skrivna i senare 2000 talet. Detta medför att rapporten är en god representation av nutidens AKA teknik och installationsmöjligheter.
- Relevansen hos källorna bedömdes genom att överblicka innehållet, framförallt dess slutsatser, för att jämföra hur bra deras förmåga var att besvara denna studies frågeställning. Detta begränsas också av vår bristande erfarenhet i ämnet.

Företagens installationsrapporter var ett välkommet inslag i studien, vilket påvisar möjligheterna med installationer, men var bristande i teknisk information. Detta var något som skulle kunna ge en fördjupad förståelse för svårigheterna vid installation samt vad som fungerade bra hos en AKA ombord på ett fartyg.

Intervjuer med Thermax och Carrier var planerat som komplettering till metodvalet i det tidiga skedet, men då en intervju innebär en mer subjektiv skildring av den informationsinhämtning som görs valdes detta bort mot att fokusera på enbart en litteraturstudie. Att skicka ut enkäter till användare av AKA valdes också bort då tekniken fortfarande är sällsynt till sjöss. Vi befarade att målgruppen skulle vara väldigt svår att få kontakt med och resultatet för vagt.

En annan alternativ metod för att utreda frågeställningen är att genomföra en fallstudie. Detta skulle innebära att granska ett specifikt fall då en AKA installeras på ett fartyg. Denna metod ansåg vi vara olämplig på grund av att det resultat vi ville uppnå skulle vara generaliserat, något som inte fås om man väljer att studera ett specifikt fall. Även ekonomiska aspekter av anläggningen skulle vara svåra att undersöka eftersom det kan ta flera år innan man ser den ekonomiska vinningen.

Studiens validitet

De vetenskapliga artiklar som valdes ut gav tillräckliga svar på frågeställning som fanns, men även om huvudfrågan kan besvaras, så fanns inga källor som kunde sammanställas för ett rakt svar på frågan. Detta menas med lite vardagligare ordbruk att svaret inte kan bli ”hugget i sten” då framtidens utveckling visat sig vara svårtydd.

Studiens reliabilitet

Arbetet gjordes genom en litteraturstudie, då resultatet grundades på enbart, enligt oss, tillförlitliga samt aktuella vetenskapliga studier. Även om inga intervjuer gjordes bör studien anses som reliabel.

6 Slutsatser

I detta kapitel besvaras frågeställningen kortfattat med hänsyn till de resultat och den diskussion som presenterats i arbetet.

Syftet med studien var att undersöka om förutsättningarna för absorptionskylanläggningar är tillräckligt goda för att kyltekniken kan komma att ersätta kompressorkylanläggningar på fartyg inom handelsflottan. Genom en sammanställning av de undersökta studierna kan följande konstateras:

- Ur ett energimässigt perspektiv har absorptionskylanläggningar möjlighet att drivas av den tillgängliga överskottsvärmen då fartygets huvudmaskin är i drift. Detta skall dock inte ses som en regel utan bör undersökas för det specifika fartyget. Vid en eventuell installation bör även en ackumulatortank installeras för att säkerställa en stabil temperatur samt tillgång till värme även vid hamnbesök. Då energibehovet från ackumulatortanken ökar vid längre hamnbesök lämpas sig en absorptionskylanläggning bäst för fartyg med kortare hamntider, exempelvis färjor.
- Då en absorptionskylanläggning i de undersökta fallen har en pay-off tid på ca 4-5 år samt ett relativt högt inköps- och installationspris, lämpas sig en eventuell installation bäst vid nybyggnad av ett fartyg.
- Det som idag tydligast bromsar tekniken från att sprida sig till sjöss är dess design som hindrar den från att användas i en marin miljö. Detta konstruktionsproblem kommer troligtvis att bestå tills en efterfrågan av tekniken från sjöfartsmarknaden ökar, vilket kan ske då strängare miljöregler för fluorerade gaser träder i kraft.

Slutligen kan huvudfrågan besvaras;

Kan absorptionskyla teoretiskt sett ersätta nuvarande kylteknik inom handelsflottan?

Med avseende på svaren för delfrågorna kan absorptionskylan teoretiskt ersätta kompressorkylan ombord, men tekniken är i dagens läge inte tillfredsställande stabil för sjöfartsbruk.

6.1 Förslag på vidare arbete

Denna studie är inte skriven efter en fallstudie gällande driftaspekter för AKA samt KKA, vilket skulle vara intressant. En mer ingående forskning av miljöaspekterna för de köldmedium som används i de olika kylteknikerna hade gett ett större perspektiv på området, då miljöfrågor är i fokus i dagens läge. En mer fördjupad genomgång av absorptionskylanläggningarnas tekniska svårigheter vid sjögång, samt lösningar för dessa är ytterligare ett förslag.

Referenser

- Alvarez, H. (2006). Energiteknik. Lund, Sverige: *Studentlitteratur AB*.
- Aprile, M., Toppi, T., Guerra, M., & Motta, M. (2015). Experimental and numerical analysis of an air-cooled double-lift NH₃-H₂O absorption refrigeration system. *International Journal of Refrigeration*, 50(0), 57-68. doi:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2014.10.018>
- Axeteg, C., Sällman, H. (2009). Möjligheterna att använda absorptionskylsystem för komfortkyla ombord på fartyg. *Kandidatarbete inom sjöingenjörsprogrammet, Institutionen för Sjöfart och Marin Teknik, CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA*.
- Berntsson, T. (2014). Energieffektivisering av passagerarfartyg genom värmeackumulering och absorptionskyla. *Examensarbete inom sjöingenjörsprogrammet, Institutionen för Sjöfart och Marin teknik, CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA*.
- CORPORATION SCIENTIFIQUE CLAISSE INC. (2014). Material Safety Data Sheet. Hämtad från: http://www.claisse.com/medias_communs/msds/PC-TECD-100027E.pdf
- Ericsson, E., Paraíso, J. (2011). "På grund av dålig arbetsmiljö?". *Examensarbete inom Sjökaptnsprogrammet, Institutionen för Sjöfart och Marin teknik, CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA*. Hämtad från:
<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/162680.pdf>
- Everts, M., de Boer, D., van Vliet, R., Mr. v Kluijven & Mrs. van der Drift. (2011). Absorption cooling. *Propulsion and auxiliaries, Rotterdam Mainport University of Applied Sciences – RMU*.
- Europaparlamentet och unionens råd. (2012). EUROPAPARLAMENTET OCH RÅDETS DIREKTIV 2012/33/EU. Hämtad från: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/HTML/?uri=CELEX:32012L0033&from=SV>
- COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. (2014). Proposal for a REGULATION (EU) No. .../20YY OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of ... on fluorinated greenhouse gases and repealing Regulation (EC) No 842/2006. Hämtad från:
http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/envi/dv/envi20140130_f-gases_agreed_v2 /envi20140130_f-gases_agreed_v2_en.pdf
- Europaparlamentets och rådets förordning. (2006). (EG) nr 842/2006 om vissa flourerande växthusgaser. Hämtad från: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:161:0001:0011:SV:PDF>
- Fernández-Seara, J., Vales, A., & Vázquez, M. (1998). Heat recovery system to power an onboard NH₃-H₂O absorption refrigeration plant in trawler chiller fishing vessels.

Applied Thermal Engineering, 18(12), 1189-1205. doi:
[http://dx.doi.org/10.1016/S1359-4311\(98\)00001-5](http://dx.doi.org/10.1016/S1359-4311(98)00001-5)

- Fischer Group, F.E.R. fischer Edeltahlrohre GmbH. (2012). On a great voyage with the AIDamar. Hämtad från: http://www.fischer-group.com/en/fischer_companies/fischer_eco_solutions/absorption-maritim.php?navanchor=2110182
- GEA Gresco B.V. (2008). Gresco absorption refrigeration system for marine application, first time ever. Hämtad från: http://www.gearefrigeration.com/en-us/News-and-Media/news/Pages/CSGresco_Gresco-absorption-refrigeration-system-marine.aspx
- Höst, M., Regnell, B., Runeson, P. (2006). Att genomföra examensarbete. Lund, Sverige: *Studentlitteratur AB*
- Lervik, P. (1994). Värmetekniska tabeller. Åbo akademi, institutionen för värmeteknik. Hämtad från: <http://web.abo.fi/fak/tkf/vt/Common/Docs/tabeller.pdf>
- Liao, X., & Radermacher, R. (2007). Absorption chiller crystallization control strategies for integrated cooling heating and power systems. *International Journal of Refrigeration*, 30(5), 904-911. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2006.10.009>
- Manzela, A. A., Hanriot, S. M., Cabezas-Gómez, L., & Sodr , J. R. (2010). Using engine exhaust gas as energy source for an absorption refrigeration system. *Applied Energy*, 87(4), 1141-1148. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.07.018>
- Månsson, G., Stale, H. (2013). Kosten ombord. *Självständigt arbete inom Sjökaptenprogrammet, Sjöfartshögskolan i Kalmar, Linnéuniversitetet*. Hämtad från: <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:664272/FULLTEXT01.pdf>
- Naturvårdsverket. (2013). K ldmedief rteckning. Hämtad från: <http://www.naturvardsverket.se/Nerladdningssida/?fileType=pdf&downloadUrl=/upload/stod-i-miljoarbetet/vagledning/kemikalier/koldmedieforteckning2013.pdf>
- Nationalencyklopedin. (n.d.). Kylteknik. Hämtad från: <http://213.180.87.152/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/kylteknik>
- Nilsson, P. E. (2001:01). Komfortkyla. *EFFEKTIV, Centrum för Effektiv Energianvändning*. Länk: http://www.effektiv.org/pdf_filer/Rapport%202001-01.pdf
- Nilsson, P. E. (2001:02). Köldmedier. *EFFEKTIV, Centrum för Effektiv Energianvändning*. Länk: http://www.effektiv.org/pdf_filer/Rapport%202001-02.pdf
- Ouadha, A., & El-Gotni, Y. (2013). Integration of an Ammonia-water Absorption Refrigeration System with a Marine Diesel Engine: A Thermodynamic Study. *Procedia Computer Science*, 19(0), 754-761. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2013.06.099>

- Palm, B. (2014). "Vilka köldmedier ersätter R404A?". Hämtad från:
<https://www.kth.se/itm/inst/energiteknik/forskning/ett/projekt/koldmedier-med-lag-gwp/low-gwp-news/replacements-for-r404a-1.511715>
- Seddiek, I., S., Mosleh, M., Banawan, A., A. (2014). Thermo-economic approach for absorption air condition onboard high-speed crafts. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*. Volume 4, Issue 4, Pages 460–476, ISSN (Online) 2092-6782, Hämtad från:
<http://www.degruyter.com/view/j/ijnaoe.2012.4.issue-4/ijnaoe-2013-0111/ijnaoe-2013-0111.xml>
- Shu, G., Liang, W., Tian, H., Zhao, J., Liu, L. (2012) A review of waste heat recovery on two stroke IC engine aboard ships. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Impact Factor: 5.51). 03/2013; 19:385-401. DOI: 10.1016/j.rser.2012.11.034
- Sjöfartsverkets författningssamling. (2004). SJÖFS 2004:12 Sjöfartsverkets föreskrifter och allmänna råd om kylanläggningar med ammoniak på fartyg. Hämtad från:
<http://www.sjofartsverket.se/upload/SJOFS/004-012.pdf>
- Táboas, F., Bourouis, M., & Vallès, M. (2014). Analysis of ammonia/water and ammonia/salt mixture absorption cycles for refrigeration purposes in fishing ships. *Applied Thermal Engineering*, 66(1–2), 603-611. doi:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.02.065>
- Tanner Industries inc. (2011). ANHYDROUS AMMONIA: (MSDS) Material Safety Data Sheet. Hämtad från: <http://www.tannerind.com/anhydrous-msds.html>
- Urieli, I. (2014). Obetitlad illustration av kompressorkylarens arbetscykel. Hämtad från:
http://www.ohio.edu/mechanical/thermo/Intro/Chapt.1_6/Chapter4c.html
- Xu, Z. Y., & Wang, R. Z. (2014). Experimental verification of the variable effect absorption refrigeration cycle. *Energy*, 77(0), 703-709. doi:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.09.044>
- Yan, X., Chen, G., Hong, D., Lin, S., & Tang, L. (2013). A novel absorption refrigeration cycle for heat sources with large temperature change. *Applied Thermal Engineering*, 52(1), 179-186. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.11.041>

Bilagor

Bilaga 1. – Tabell över valda områden från källor till resultatkapitlet.

Källnr. (fallande ordning från resultatka- pitlet)	Installation / Drift	Ekonomiska aspekter	Fördelar/nackdelar	Energitillgång
Ahlin	x			x
Aprile	x			
Axeteg	x	x		
Berntsson		x	x	
Everts			x	x
Liao			x	
Manzela	x	x		x
Seddiek		x	x	
Shu		x		
Táboas	x			
Yan	x			