



# CHALMERS

---



## **Behovsstyrd ventilation på kryssningsfartyg**

### **Potential till användning och energibesparing**

Examensarbete inom Sjöingenjörsprogrammet

ADAM NILSSON  
OLA NORDLUND



RAPPORTNR. SI-16/171

Behovsstyrd ventilation på kryssningsfartyg  
Potential till användning och energibesparing

ADAM NILSSON  
OLA NORDLUND

Institutionen för sjöfart och marin teknik  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige, 2016

## **Behovsstyrd Ventilation På Kryssningsfartyg**

Potential till användning och energibesparing

## **Demand Controlled Ventilation Onboard Cruise Ships**

Potential of use and energy savings

ADAM NILSSON

OLA NORDLUND

© ADAM NILSSON, 2016.

© OLA NORDLUND, 2016.

Rapportnr. SI-16/171

Institutionen för sjöfart och marin teknik

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon + 46 (0)31-772 1000

Omslag: Kryssningsfartyg

Tryckt av Chalmers

Göteborg, Sverige, 2016

# **Behovsstyrd Ventilation på Kryssningsfartyg**

En möjlighet till energibesparing?

ADAM NILSSON

OLA NORDLUND

Institutionen för sjöfart och marin teknik

Chalmers tekniska högskola

## **Sammanfattning**

Ombord på kryssningsfartyg är klimatet inomhus en viktig aspekt för passagerarnas komfort, men klimatanläggning av den storlek som kan behandla luften ombord på moderna kryssningsfartyg kräver stora mängder energi. Kryssningsbranschen jobbar aktivt idag med att minska sin miljöpåverkan och strävar efter att kunna möta IMO:s nya EEDI-mål. Dessa mål ska leda till en minskning av CO<sub>2</sub>-utsläpp från framdrivning med 30 % fram till 2025. Detta motiverar till varför det är värt att undersöka hur klimatanläggningen ombord på kryssningsfartygen kan göras mer energieffektiv. I följande litteraturstudie undersöks huruvida det är lämpligt att använda sig av behovsstyrd ventilation ombord på kryssningsfartyg vilket är en styrningsstrategi som i vissa fall visat sig vara lönsam på landbaserade klimatanläggningar. Tre delfrågors användes för att svara på huvudfrågan om det är lämpligt med behovsstyrning är följande. I vilka utrymmen och utomhusmiljöer tekniken används i land, om det finns energibesparingar att göra ombord på kryssningsfartyg samt för- och nackdelar mot en konventionell klimatanläggning. Resultatet baseras på 10 st olika källor och har framförallt visat att de största energibesparingarna på land har gjorts i utrymmen där antalet personer i utrymmet varierar. Vilket i källorna ofta nämns som diskotek, konferenslokaler, restauranger och butiker eller liknande typer av publika utrymmen. Detta har lett till slutsatsen att de typer av utrymmen som strategin fungerar väl på land återfinns ombord på kryssningsfartyg. Även klimatet som de flesta kryssningsfartyg befinner sig i, vilket är varmt och fuktigt, har visat sig vara lämpligt för användning av denna typ av styrningsstrategi.

**Nyckelord:** Behovsstyrd ventilation, ventilation, kylanläggning, HVAC, kryssningsfartyg, energibesparingar, komfort, CO<sub>2</sub>-sensor, AHU, effektivitet, luftkonditionering.

## **Abstract**

On board cruise vessels an important aspect for the passengers comfort is the indoor climate, however the HVAC-system necessary to condition the air on a large cruise vessel consumes a lot of energy. The cruise industry is actively working on reducing its environmental footprint and aims toward meeting the goals of IMOs EEDI initiative. This means a reduction of CO<sub>2</sub> from propulsion by 30% by 2025. This motivates further research how the HVAC-system could be made more energy efficient. The suitability of implementing demand-controlled ventilation on board cruise vessels is examined in the following literature review. This type of ventilation strategy is sometimes used in buildings ashore. Three sub questions were used answer the main question about the suitability, and they are the following. Which type of spaces and outdoor climates is demand-controlled ventilation used ashore, if there possible to save energy on cruise vessels by using this technique, lastly the pros and cons compared to a conventional ventilation strategy is looked at. The result is based on 10 different sources and has primarily shown that the biggest energy savings ashore as been done in spaces where the number of occupants varies a lot and. This types of spaces are nightclubs, conference rooms, restaurants, shops and other public spaces. The conclusion is that the types of spaces where demand-controlled ventilation is best suited for can be found on board cruise vessels, also the climate where the majority of the cruise destinations are located is suited for using this type of technique.

**Keywords:** Demand controlled ventilation, ventilation, cooling, HVAC, Cruise ships, energy savings, comfort, CO<sub>2</sub>-sensor, AHU, efficiency, air conditioning.

## **Förord**

Författarna skulle vilja tacka Cecilia Gabrielii för god handledning.

# Innehållsförteckning

<b>Sammanfattning</b> .....	<b>i</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>ii</b>
<b>Förord</b> .....	<b>iii</b>
<b>Figurförteckning</b> .....	<b>vii</b>
<b>Tabellförteckning</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>1 Introduktion</b> .....	<b>1</b>
1.1 Syfte.....	2
1.2 Frågeställning.....	2
1.3 Avgränsningar .....	2
<b>2 Bakgrund</b> .....	<b>3</b>
2.1 Historisk bakgrund .....	3
2.2 Kryssningsbranschen .....	4
<b>3 Teori</b> .....	<b>5</b>
3.1 HVAC.....	5
3.2 Kylanläggningen och dess komponenter.....	6
3.3 Ventilationssystem .....	8
3.4 Air handling unit.....	9
3.5 Behovsstyrd ventilation / DCV.....	11
3.6 Luftkvalitet.....	12
<b>4 Metod</b> .....	<b>14</b>
<b>5 Resultat</b> .....	<b>15</b>
5.1 Vetenskapliga artiklar & publiceringar .....	15
5.2 I vilka tillämpningar/miljöer återfinns DCV-system på land? .....	16
5.3 Finns det energibesparingar att göra med DCV ombord på kryssningsfartyg?.....	17
5.4 Vilka för- och nackdelar finns med en behovsstyrd ventilation jämfört med en med en traditionell fast flödes ventilation? .....	19
<b>6 Diskussion</b> .....	<b>21</b>
6.1 Resultat diskussion .....	21
6.2 Metoddiskussion .....	22



<b>7</b>	<b>Slutsatser .....</b>	<b>24</b>
7.1	<i>Förslag på vidare arbete.....</i>	24
<b>8</b>	<b>Referenser .....</b>	<b>25</b>

## Förkortningslista

AHU	Air handling unit, enhet som behandlar luften
CAV	Constant Air Volume, Konstant luftflödes don
CFM	Cubic Feet per Minute, enhet som anger luftflöde
CO	Kolmonoxid
CO2	Koldioxid
DCV	Demand Controlled Ventilation, behovsstyrd ventilation
HFC	Väte-fluor-kol-förening
HVAC	Heating, Ventilation, Air Conditioning
IAQ	Indoor Air Quality
IMO	International Maritime organization
PPM	Parts per million, mått på koncentration
RH	Relative Humidity, mått på luftfuktighet
SO2	Svaveldioxid
SOLAS	International Convention for the Safety of Life at Sea
VAV	Variable Air Volume, Variabelt luftflödes don
FZ	Fire Zone

## **Figurförteckning**

<b>Figur 1 - Konventionell klimatanläggning .....</b>	<b>5</b>
<b>Figur 2 - Primärkrets .....</b>	<b>7</b>
<b>Figur 3 - Sekundärkrets.....</b>	<b>8</b>
<b>Figur 4 - AHU med economizer .....</b>	<b>10</b>
<b>Figur 5 - Klimatanläggning kryssningsfartyg .....</b>	<b>10</b>
<b>Figur 6 - Behovstyrd klimatanläggning .....</b>	<b>11</b>

# 1 Introduktion

Ur passagerarnas perspektiv är komforten en av de viktigaste detaljerna för en trevlig vistelse ombord på ett kryssningsfartyg (Knud E. Hansen A/S, 2013). Denna komfort består till stor del av ett behagligt inomhusklimat på fartyget och för att uppnå detta i varmare klimat som exempelvis i Sydostasien krävs en omfattande klimatanläggning. Utöver passagerarnas komfort så arbetar majoriteten av besättningen i offentliga utrymmen som även är klimatkontrollerade. Därför är inomhusmiljön ombord viktigt både för passagerarna och för att besättningen ska kunna göra ett så bra arbete som möjligt för passagerarna.

Klimatanläggningar av större storlek kräver betydande mängder energi för att kyla och behandla den betydligt varmare och fuktigare utomhusluften. Eftersom strömförsörjningen på fartyg vanligtvis tillhandahålls genom att driva en generator med ett fossilt bränsle så har energiförbrukningen en direkt påverkan på mängden bränsle som går åt. (Kiehne, 2008) Bränslet är oftast den enskilt största kostnaden för fartyg idag och likaså den största bidragande faktorn till miljöutsläpp från fartygen (Coyle, Novak, Gibson, & Bardi, 2011).

Ombord på dagens kryssningsfartyg är klimatanläggningen ofta konventionell och utformad efter tidigare byggen. Systemen baseras ofta på antaganden kring storleken på utrymmet, dess användning och uppskattad mängd människor vilket ofta leder till överventilering. Detta istället för att mäta det faktiska behovet av ventilation till utrymmet (Kiehne, 2008).

Claes Andersson (2011) skrev ett examensarbete om hur det går att effektivisera komponenterna i klimatanläggning på ett stort passagerarfartyg men oavsett hur effektiva de olika komponenterna blir finns det anledning att styra flödet beroende på behovet. Att försörja utrymmen med en onödig mängd kyld luft leder primärt till onödig bränsleförbrukning och då även till onödig negativ miljöpåverkan.

Att energieffektivisera system som påverkar fartygens energieffektivitet går i linje med den maritima branschens intresse och IMO:s riktlinjer att minska varje fartygs miljöpåverkan genom att reducera dess emissioner samt att nå de nya målen gällande fartygens energieffektivitet och EEDI (Energi Efficiency Design Index). I kombination med dessa riktlinjer och mål ger de kostnadsbesparingar som eventuellt kan uppnås motiv att undersöka om det finns potential för användning av behovsstyrd ventilation, eller som på engelska kallas demand controlled ventilation (DCV), ombord på kryssningsfartyg.

## **1.1 Syfte**

Syftet med studien är att ta reda på möjligheterna till att behovsstyra ventilationen ombord på kryssningsfartyg och på så sätt minska energianvändningen.

## **1.2 Frågeställning**

Hur ser potentialen ut för behovsstyrd ventilation ombord på kryssningsfartyg?

- I vilka utrymmen och miljöer används tekniken i land?
- Finns det energibesparingar att göra med behovsstyrning av klimatanläggningar ombord på kryssningsfartyg?
- Vilka för- och nackdelar finns det med en behovsstyrd klimatanläggning jämfört en konventionell teknik?

## **1.3 Avgränsningar**

Studien begränsas till ventilationen ombord på kryssningsfartyg och kommer inte att ta upp den exakta utformningen och designen av dessa system ombord.

Kostnaderna för installation och drift behandlas inte, utan resultat av möjligheterna att minska energianvändningen är i fokus.

Centrala komponenter i klimatanläggningssystemet, så som fläktar och kylkompressor, kommer inte att studeras ur ett individuellt energioptimeringsperspektiv. Denna typ av studie har redan behandlats i Energioptimering av HVAC-system i större passagerarfartyg (Andersson, 2011)

## 2 Bakgrund

Här presenteras en kort historisk bakgrund om klimatanläggningar och dess styrning samt en översikt av kryssningsbranschen och hur den ser ut idag.

### 2.1 Historisk bakgrund

Dagens klimatanläggningar grundas på en rad upptäckter och experiment utförda av vetenskapsmän, ingenjörer och pionjärer så som Willis Carrier, Robert Boyle, John Dalton, James Watt, Benjamin Franklin, Lord Kelvin (McDowall, 2007). Det var under mitten av 1800-talet som dessa pionjärer började utveckla vad vi nu kallar HVAC och under senare delen av 1800-talet började regler kring design av ventilationsanläggningar att utvecklas runt om i världen. Ytterligare avancemang inom kemi möjliggjorde att den första elektriska luftkonditioneringsanläggningen byggdes 1902 av uppfinnaren Willis Carrier som således kom att kallas för ”fadern till den moderna luftkonditioneringen” (The Editors of Encyclopædia Britannica, 2014).

Dock kom inte ventilationsteknologin som ett verktyg till reglering och styrning av inomhuskomfort förrän i början av 1900-talet. Då blev byggnaden där New York-börsen drivs en av de första byggnaderna utrustad med klimatanläggning kapabel att kyla dess utrymmen för arbetarnas komfort (McDowall, 2007). Redan år 1916 skrev McGraw-Hill en av de tidigaste publikationerna som behandlar CO<sub>2</sub> som mätinstrument inom ventilation. Under tidigt 1900-tal etablerade de förhållandet mellan ventilationsluften och CO<sub>2</sub> koncentrationer som ligger till grunden för dagens behovsstyrning med hjälp av CO<sub>2</sub>. I skriften, som var en handbok för maskingenjörer, rekommenderades även dessa koncentrations halter att inte överstiga 800-1000 ppm vilket ungefärligt överensstämmer med dagens riktmärken av CO<sub>2</sub> koncentration i inomhusluft (Burton, 2000). Man har även hittat stycken från 1929 angående ventilation i “New York City Building Code” där det står skrivet att utrymmen utan luftväxling genom fönster skall förses med metoder som är kapabla att hålla nere CO<sub>2</sub>-halten för att inte överstiga 1000 ppm (Schell & Inthout, 2001).

Men trots att man sen i början av 1900-talet varit medveten om förhållandet mellan CO<sub>2</sub> och ventilation var det först i början av 1990-talet de första billiga men samtidigt pålitliga mätinstrument kom ut på marknaden. Vid den tiden kostade dessa billigare alternativ endast en tiondel av den dåvarande tekniska utrustning som annars användes. Dessa sensorer presterade näst intill likvärdigt men var i större behov av kalibrering under kortare intervaller (Schell & Inthout, 2001). Sedan mitten av 1990-talet har priset på sensorer ytterligare sjunkit vilket har bidragit till större möjligheter till användandet av DCV och sensorstyrda HVAC-anläggningar (Architectural Energy Corporation, 2007). I samband med att användandet av CO<sub>2</sub> sensorer för DCV-anläggningar stegrade under slutet av 1990-talet och i början av 2000-talet halverades priset på sensorerna. Denna prisreduktion spås fortgå så länge användandet av sensorer i dessa sammanhang fortsätter att öka (Schell & Inthout, 2001).

## 2.2 Kryssningsbranschen

Idag blir kryssningsfartygen allt större samtidigt som kraven ökar från branschen att energieffektiviteten skall bli bättre (The Cruise Lines International Association, 2015). De nya kryssningsfartygen utmanar inte bara teknologin i form av växande dimensioner utan storleken ger även möjlighet att ta fler passagerare och utöka omfånget av aktiviteter. Kryssningsindustrin är idag den snabbast växande delen av turism branschen och 23 miljoner människor valde att åka iväg på kryssning under 2015. De populäraste områdena var då framför allt områden i varmare klimat med Karibien i toppen och Medelhavet därefter (Florida-Caribbean Cruise Association, 2015).

Enligt Royal Caribbean (2016) är Harmony of the Seas världens största kryssningsfartyg och kan maximalt ta emot 6410 gäster. Detta ställer inte bara krav på besättningsmedlemmarna vars uppgift är att se till att gästerna får en så bra upplevelse som möjligt. Utan stora krav ställs även på all ombord utrustning som bidrar till en behaglig vistelse för gästerna. Utbudet av aktiviteter ombord ökar för varje fartyg som byggs och numera finns allt från isrinkar till vattenrutschbanor, biosalonger, teatrar, tiotal restauranger och flertalet nattklubbar och barer (Royal Caribbean International, 2016).

En viktig del av ombord utrustningen är klimatanläggningarna som kommer få arbeta ännu intensivare för att kunna behandla den ökande mängd utomhusluft som ska in i fartygens alla utrymmen. Speciellt i varmare klimat ökar kylbehovet och för att tillverka kylan ombord så krävs energi. Att behovsstyra ventilationen kan då antas ligga i kryssningsindustrins intresse då branschen håller på med ett omfattande arbete att energieffektivisera fartyg. Mångmiljard belopp investeras i miljövänlig teknologi, på framdrivningssidan beställs effektivare motorer och scrubber utrustning. Kring energiförsörjningen undersöks samarbeten med hamnar för att erbjuda ström via landanslutning (The Cruise Lines International Association, 2015). Denna energieffektivisering på motorer och utrustning görs för att möta IMO:s mål på att CO<sub>2</sub>-utsläppen från fartygs framdrivning ska minska med 30% till 2025 (ibid.).

Claes Andersson (2011) skrev examensarbetet *Energioptimering av HVAC-system i större passagerarfartyg* som handlar om att energieffektivisera HVAC-systemen ombord på komponentnivå. I resultaten visas en rad olika förslag på att effektiviseringar som kan göras och i vidare arbete rekommenderar Claes fördjupningar på olika områden för vidare energioptimeringar bland annat intelligent styrning av tilluft.

### 3 Teori

I detta kapitel beskrivs teorin bakom klimatanläggningar och styrning av dessa. Vilka de konventionella teknikerna är och hur behovsstyrning fungerar. Sist ges en insikt i aspekten kring luftkvalitet och hur det påverkar oss.

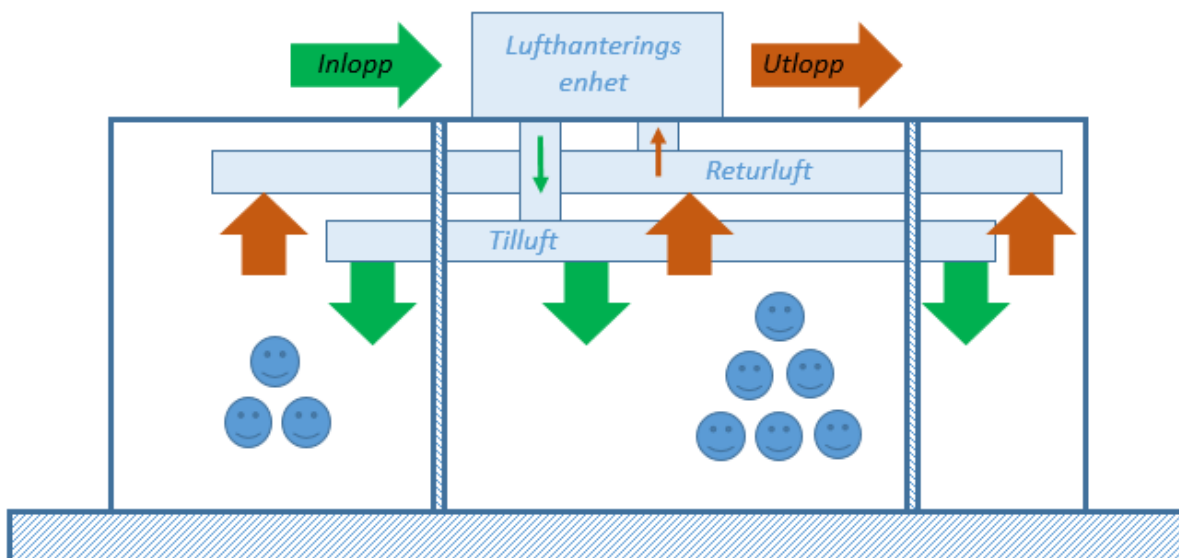
#### 3.1 HVAC

HVAC, som på svenska benämns klimatanläggning, står för Heating, Ventilation and Air Conditioning. Den huvudsakliga uppgiften är att förse slutna utrymmen som byggnader en behagligt tempererad miljö efter givna parametrar samt behandla och rena luften i utrymmet (ASHRAE, 2012). Av den totala energiförbrukningen i en byggnad på land står HVAC systemet för genomsnittligt 30 % av användandet (U.S. General Services Administration, 2016) vilket likt ett passagerarfartyg med hotellverksamhet oftast utgör en av de största förbrukarna av energi (Valkeejärvi, 2006).

Ett HVAC-system ombord på kryssningsfartyg används för att transportera luft till olika delar av fartyget, och har två huvuduppgifter. Den ena är att kyla och torka utomhus luften som är varm och fuktig samt att kyla inomhus luften ombord. Standardförhållanden under sommar drift är att utomhusluften är 35°C och 80 % luftfuktighet och inomhus luften är 22°C med 50 % luftfuktighet och sjövattnen temperaturen är 32°C (Ravemark, 2004).

Vid planläggning av ett HVAC-system och dess drift finns det tre övergripande parametrar fartygsägaren, skeppsvarvet och tillverkaren måste ta hänsyn till; komfort, säkerhet och ekonomi. (Webster & Reynolds, 2005).

Dessa klimatanläggningar är som tidigare nämnt ofta konventionellt utformade efter tidigare byggen och storlek på utrymmen, dess användning och uppskattad mängd människor som maximalt kan vistas i utrymmet samtidigt som kan illustreras på bilden nedan.



Figur 1 - Konventionell klimatanläggning (Nilsson, 2016)



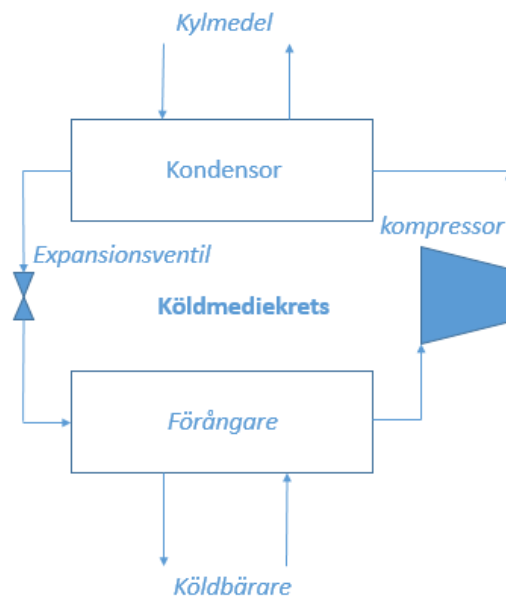
HVAC-systemet måste med en så låg bullernivå som möjligt kunna förse högkvalitativ luft fritt från damm och oönskade lukter samtidigt som komfortabel temperatur bibehålls under en bred grad av olika driftförhållanden. Dessa krav på en sådan anläggning till sjöss måste samtidigt hela tiden balanseras med beaktande av SOLAS brandsäkerhets bestämmelser med uppdelade brandzoner om cirka 40 meter (SOLAS, 2002) samt operatörens önskan av ett energisnålt system som gärna skall ta upp så litet utrymme ombord som möjligt, med låga underhållskostnader och vara enkelt i drift och användning (Webster & Reynolds, 2005).

### **3.2 Kylanläggningen och dess komponenter**

En kylanläggning bygger på energiöverföringen från en vätska som avdunstar och då tar upp värme från omgivningen. I kombination med att styra en fluids aggregationstillstånd, vilket innebär att man reglerar fluidens egenskaper i form av t.ex. gas eller vätska genom tryck och temperatur, kan vi med dessa fysiska lagar enkelt kyla luft och således skapa en komfortabel miljö att vistas i (Nydal, 2002).

#### **Anläggningen**

En kylanläggning är ett slutet system i form av en kretsprocess där en fluid kallat köldmedium, används för att med hjälp av tillståndändringar och temperaturdifferenser kyla omgivande medium. Kylanläggningen kan vara uppbyggd av flera olika kretsar beroende på användningsuttag. Vid mindre anläggningar används en direkt kylprincip där en primärkrets står i direkt kontakt med det som skall kylas, exempelvis som i ett kylskåp, se figur 1. De större anläggningarna är ofta uppbyggda med en indirekt princip där en primärkrets använder sekundärkretsar för att transportera kylan med hjälp av en köldbärare som i andra ändan av kretsen står i direkt kontakt med det som skall kylas. Primärkretsen som även kallas köldmediekretsen är den grundläggande kretsen vilken förenklat består av kompressor, kondensator, expansionsventil och förångare (Nydal, 2002).



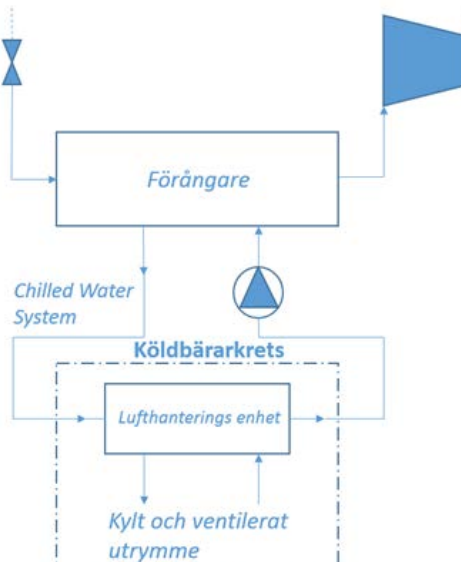
**Figur 2 – Primärkrets (Nilsson, 2016)**

I primärkretsen cirkulerar köldmediet med hjälp av kompressorn genom systemets alla komponenter. Som köldmedium används oftast freoner, som är ett handelsnamn för kolväteföreningar bundna med en eller flera fluor, klor eller brom-atomer. Då en del freoner har en indirekt påverkan av ozonlagret och således växthuseffekten görs vid konstruktionen av kylanläggningen ett urval av köldmedie efter minsta möjliga miljö- och hälsopåverkan. Tillika görs ett liknande urval då man tittar på dess termodynamiska egenskaper såsom fryspunkt och kokpunkt för att få ett så anpassat köldmedie till den aktuella anläggningen som möjligt. En freon som idag ofta används som köldmedium är HFC-blandningar vilka är kolvätebindningar bundet med fluor. Förutom dess termodynamiska egenskaper används den främst för att ersätta de tidigare använda freonerna som var bundna med klor och således hade större påverkan av ozonlagret (Nydal, 2002).

### **Sekundärkrets, köld bärare och kylmedel**

För att transportera kylan som producerats i primärkretsen genom förångaren används en köldbärarkrets. Som köldbärare används oftast vatten eller eventuellt, för att förebygga korrosion eller att vätskan skall frysa, någon form av vatten- glykolblandning. Köldbärarkretsen är ännu en sluten krets som i indirekt kontakt med primärkretsen används för att leda den nedkylda köldbäraren för att återcirkulera ut i HVAC-systemet för att på så sätt reglera lufttemperaturen (Nydal, 2002).

I kylanläggningar ombord på fartyg som är konstruerade efter en sekundärkrets princip används ofta vatten, även kallat chilled water, som köldbärare. Vattnet transporterar kylan ut i fartyget genom sekundärkretsen för att kyla temperaturen i de respektive luftkanalerna som används för att kunna förse fartygets alla utrymmen med frisk och temperaturreglerad luft. Dessa indirekta system används för att undvika onödigt långa och volymkrävande system samt för att avgränsa läckage risken. Detta förenklar eventuella felsökningar och minskar köldmediumbehovet.(Gabielli 2013)



**Figur 3 – Sekundärkrets (Nilsson, 2016)**

För att transferera värmen som producerats i primärkretsen genom nedkylningen av köldbäraren och komprimeringen av köldmediet används ett kylmedel. Kylmedlet strömmar genom ännu en separat krets men som till skillnad från de övriga kretsarna är öppen. Vanligt förekommande kylmedel är antingen vatten eller luft som vid genomströmning i kondensorn kyler ner köldmediet (Nydal, 2002).

Det kylmedel som nästan uteslutande används i de marina anläggningarna för att kyla köldmediet i kondensorn är havsvatten. För att få cirkulation på havsvattnet för att kyla köldmediet tillräckligt så krävs det sjövattnepumpar. Storleken på pumparna växer i förhållande till storleken på anläggningen då kylbehovet ökar med dimensionsökningen på fartyget vilket även påverkar energiåtgången.(Gabielli 2013)

### 3.3 Ventilationssystem

Ett enkelt ventilationssystem består av en rad olika komponenter som används för att kyla, värma, avfukta, återfukta, ventilera och rena luften (McDowall, 2007).

### 3.4 Air handling unit

Kärnan av ett ventilationssystem är en lufthanterings enhet som vanligtvis går efter sin engelska benämning, air handling unit (AHU). Inuti denna enhet finns följande komponenter.

*Filter:* Rengör luften från smuts partiklar, och är placerad så att den rengör både luften utifrån och ev återcirkulerande inomhusluft. Den ska även vara placerad innan kyl- och värmeslingor.

*Värmeslinga:* Värmer luften till önskad temperatur

*Kylslinga:* Avfuktar och kyler luften till önskad temperatur.

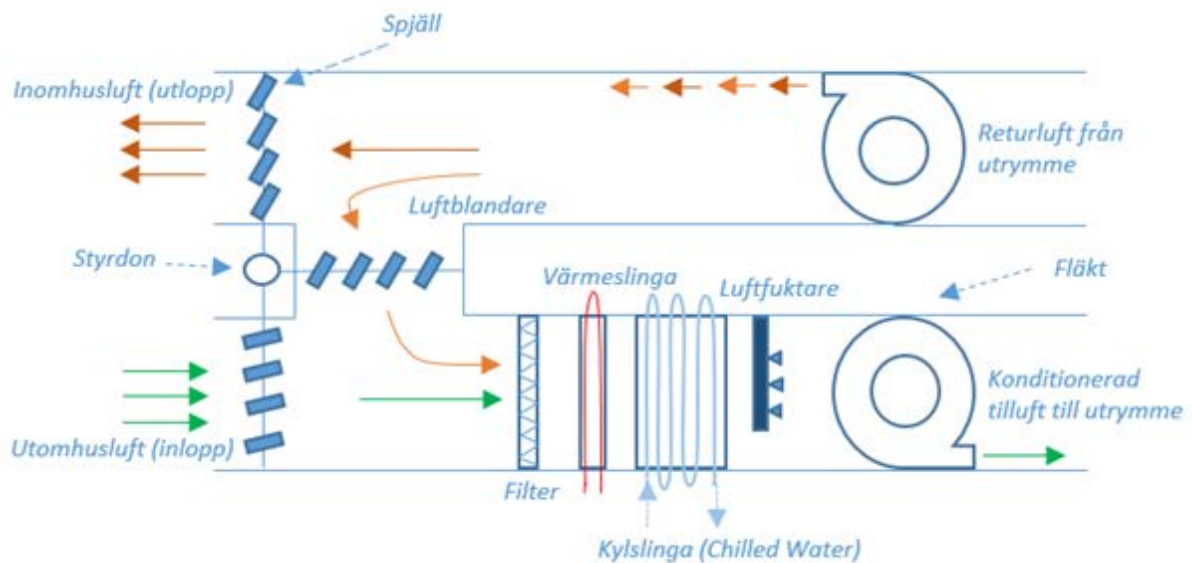
*Fläkt:* För att dra eller trycka luften genom systemet till utrymmet som ska ventileras.

*Luftfuktare:* Om ventilationen används i ett torrt klimat kan en återfuktare användas, denna fuktar luften för behagligare inomhusmiljö. Denna regleras av en sensor som känner av luftfuktigheten i utrymmet.

*Luftblandningsspjäll:* Spjäll som reglerar, om önskat, hur mycket av frånluften som skall blandas med den nya luften utifrån. Vanligtvis i allmänna byggnader ligger blandningen på 15-25%.

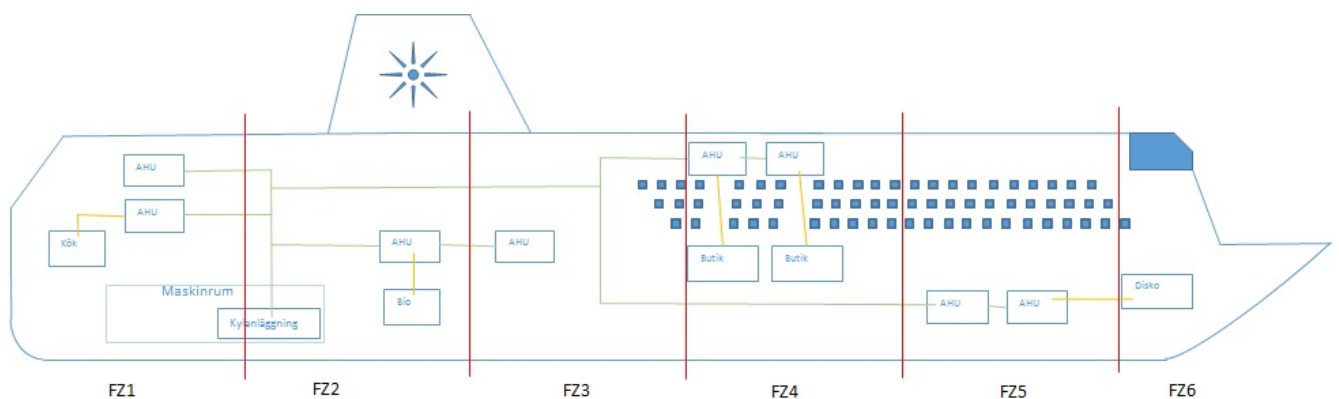
I trumman som leder den nya luften utifrån till AHU:n sitter ofta ett spjäll som stängs om enheten inte används. Genom att installera en economizer-kontroll till trummans styrdon för reglering av spjällen för luftintag, luftuttag och luftlandning kan man således styra dessa för att optimera klimatanläggningens drift. Detta är som mest fördelaktigt i de fall då returluften från det kylda och ventilerade utrymmet är varmare än temperaturen på luften utomhus. (McDowall, 2007).

Genom att blanda returluften med utomhusluft eller genom att suga in ny och redan kylig luft i systemet och låta den uppvärmda returluften strömma ut kan man reducera belastningen av kylanläggningen då behovet av nedkylning genom kylslingan minskar. Från AHU:n leds sedan luften genom lufttrummor till de utrymmen som ska ventileras (McDowall, 2007).



**Figur 4 - AHU med economizer (Nilsson, 2016)**

Ombord på kryssningsfartyg är ventilationen individuell mellan varje brandzon medan chilled water-systemet till kylningen av luften tillåts gå mellan olika brandzoner. I varje brandzon finns sedan flera olika luftkonditioneringsstationer som levererar luft beroende på vilken systemkategori som utrymmet tillhör. Dessa kategorier innefattar publika utrymmen som innefattar restauranger, barer, casinon, butiker, biograf/teater och liknande. En annan kategori är hyttutrymmena för både passagerare och besättning. Till sist finns kök och service utrymmen, eller utrymmen där mat hanteras (Ravemark, 2004).



**Figur 5 - Klimatanläggning kryssningsfartyg (Nilsson, 2016)**

**Constant air volume(CAV)**

CAV-styrning är en enkel typ av luftkonditioneringsystem som levererar ett konstant volymflöde av luft och har reglerbar styrning av temperaturen på luften.

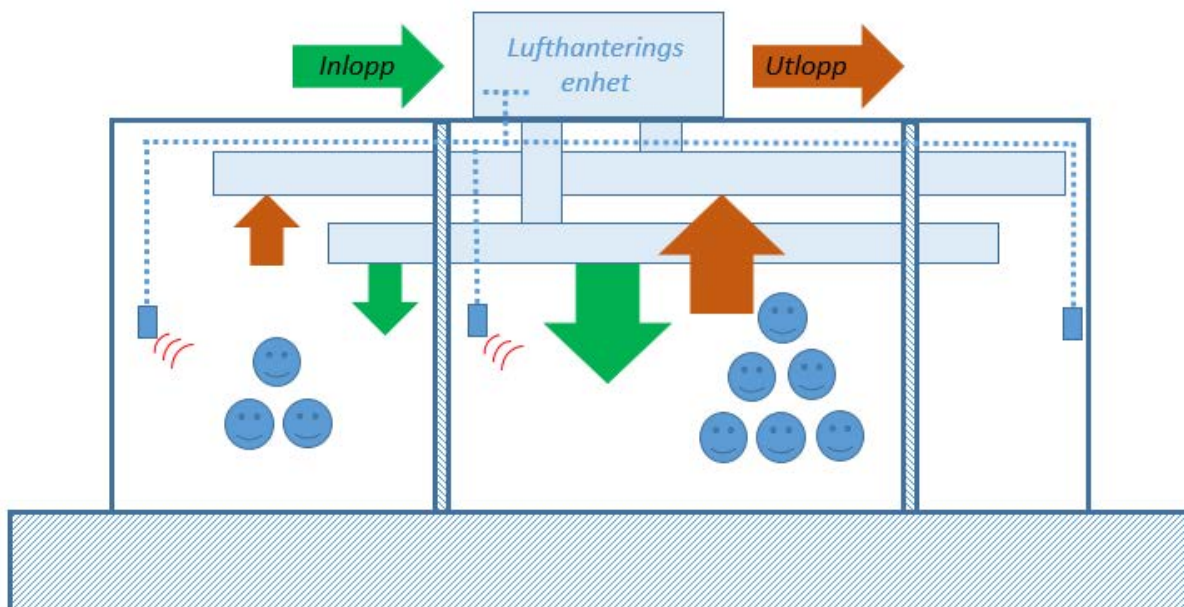
Temperaturregleringen sker med hjälp av en termostat som är monterad i de utrymmen som skall ventileras. Termostaten skickar en styrsignal till en regulator vilken styr ett reglerdon som justerar köldbärarflödet till kylslingorna som ger luften önskad temperatur. Denna metod av luftkonditionering lämpar sig bäst för större utrymmen där antalet människor är relativt konstant (McDowall, 2007).

### Variable air volume(VAV)

Den andra typen av system som är vanligt förekommande kallas för VAV. Det som skiljer detta från ett CAV system är att det sitter ett spjäll till varje utrymme som skall ventileras. Denna extra komponent med spjället kallas för VAV-box. En termostat i det ventilerade utrymmet reglerar spjället och ställer mängden luft som strömmar igenom. På så sätt kan en AHU som levererar ett fast flöde av luft används till flera zoner trots att de har olika ventilationsbehov (*ibid.*).

### 3.5 Behovsstyrd ventilation / DCV

Idén med behovsstyrd ventilation är att styra mängden utomhusluft som tas in baserat på antalet människor som befinner sig i ett utrymme och aktiviteten de utför kräver. DCV är en kontrollstrategi för ventilation, till för att undvika en onödigt hög drift av klimatanläggningen (U.S. Department of Energy, 2012).



Figur 6 - Behovsstyrd klimatanläggning (Nilsson, 2016)

Ventilationssystem är oftast utformade för att ta hand om luftföroreningarna från människor och materialet i det specificerade utrymmet. Det görs genom att späda ut inomhus luften med

luft utifrån. Men utrymmen är sällan fyllda till sin fulla kapacitet och ventilationen är utformat efter max kapacitet i utrymmet och då ventileras utrymmet mer än det egentligen behöver. Likväl om det är helt tomt så försvinner luftföroreningar från människor helt. På så sätt finns det möjligheter till att sänka energi användningen genom att styra ventilationen på ett bättre sätt. Då om mängden ny luft minskas så behövs inte lika mycket luft kylas eller värmas. Hur stor energibesparing som är möjlig är unikt för varje fall beroende på utrymmets typ och vad det används till (ibid.).

Utrustningen för att styra mängden utomhusluft finns ofta redan. Som nämnt i tidigare kan det sitta ett spjäll på utsidan som stänger när systemet inte används. Det enda som behöver komplettera ett sådant system är sensorer och styrningsutrustning.

Att mäta beläggningen av ett utrymme går att göra på flera olika sätt. Ett av de vanligare sätten är att mäta mängden CO<sub>2</sub> i utrymmet. Om aktiviteten eller mängden människor ökar i utrymmet ökar således CO<sub>2</sub>-halten. Detta leder till att ventilationsflödet anpassas för att kompensera det ökade behovet av ny utomhusluft (ibid.).

En av anledningarna till att DCV-styrning inte förrän de senaste decennierna har haft något större fäste i HVAC-system är på grund av den bristande lämpligheten i det tidiga utvecklingsstadiet av CO<sub>2</sub>-sensorer. I början gav de opålitliga resultat och krävde frekvent kalibrering och var dessutom väldigt dyra. Idag har utvecklingen nått en punkt på digitala infraröda CO<sub>2</sub>-sensorer där tidigare problem och höga kostnader har minskats till en nivå där marknaden väljer att använda dem (Kanstad, 2013).

Användningen av utrymmet kan även uppskattas genom att räkna antal människor eller genom realtidsdata. Där det förstnämnda använder sig av video eller ljudupptagning för att känna av hur mycket folk som befinner sig i utrymmet. Realtidsstyrning kan användas genom statistik eller datauppsamling av folkströmmar exempelvis genom vändkors eller biljettförsäljning. Likt styrningen med hjälp av CO<sub>2</sub> regleras mängden ventilation efter behovet (ibid.).

Att använda samma sensor som används för att tända lamporna eller egen sensor för att aktivera ventilationen är också en typ av behovsstyrning. I de fallen kommer ventilationen dock bara vara på en minimi nivå som krävs för det tomma utrymmet eller på fullt om utrymmet är designat för beroende på om det befinner sig någon där inne eller inte (ibid.). Samma princip används idag på hotell där luftkonditionering och lampor aktiveras när nyckelkortet placeras i hållaren och på så sätt indikerar att gästen är där (Entergize, 2016).

### **3.6 Luftkvalitet**

På grund av konsekvenserna av dålig eller kontaminerad luft kan innebära är förmågan att förse utrymmet med hög luftkvalité en av de största uppgifterna en klimatanläggning har. Effekten på människor av dålig luftkvalité kan breddas variera från tillfällig psykisk ohälsa, som

kan bidra till bland annat koncentrationssvårigheter och dåsighet, till allvarigare bestående men, som kan sluta i dödliga sjukdomar (McDowall, 2007).

Trots all data, information och expertis som finns om landbaserade HVAC-anläggningar står man inför unika utmaningar när det kommer till luftkvalité ombord på fartyg (Webster & Reynolds, 2005). Ute på havet och i synnerhet på kryssningsfartyg skiljer sig förutsättningarna gentemot ventilationssystem i land, då det finns helt andra föroreningar som kan riskera att kontaminera luften ombord. Robert McDowall (2007) nämner potentiella föroreningar som smittorisker från människor och djur men även kopplingar mellan fuktig miljö och mögel. Framför allt faller ofta äldre fartyg offer för mögeltillväxt i dess HVAC-system på grund av brist på medvetenhet av de potentiella problem och risker i samband i planeringsstadiet av konstruktionen samt brist på frekvent underhåll (Webster & Reynolds, 2005). Robert McDowall (2007) nämner även förbränning vid användning av fossila bränslen som en källa till hälsofarliga gaser som exempelvis CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> och, vid ofullständig förbränning, CO.

En källa till CO<sub>2</sub> kan även som tidigare nämnt i rapporten bero på utandning från människor och kan i höga halter innebära just koncentrationssvårigheter eller dåsighet för personerna i lokalen. Generellt krävs det en nivå av 1000 ppm CO<sub>2</sub> för att besökare skall börja känna effekten av dålig luftkvalité och dess implikationer. Men studier gjorda av det Amerikanska flygvapnet pekar på att effekten av för höga CO<sub>2</sub>-halter kan till och med börja i betydligt lägre halter så som 600 ppm (Webster & Reynolds, 2005).

Tre metoder används uteslutande för att kontrollera luftkvalitén och den viktigaste av dem är att ha kontroll över kontaminanterna och föroreningarnas källa. Detta gör man antingen genom att begränsa deras intrång av utrymmet eller att använda bra utformade system för returluften för att leda bort föroreningar som bildas inne i utrymmet av diverse material eller människor. De andra två vanliga metoderna är att filtrera bort kontaminanterna genom filter arrangemang i HVAC-systemet eller att späda ut föroreningarna med utomhusluft som ofta är relativt ren sett till koncentrationsmängden (McDowall, 2007)



## **4 Metod**

För att besvara frågorna i detta arbete valdes en litteraturstudie då resultaten från flera källor underlättar att skapa en objektiv bild (Höst, Regnell, & Runesson, 2006). Materialet som samlades in kommer från flera typer av källor som vetenskapliga artiklar, publiceringar av företag och branschtidskrifter för HVAC. Alla källor utom en av det material som behandlar det marina perspektivet kommer från företag. Materialet från företag behandlas som om det vore resultatet i en vetenskaplig rapport, att det är något de själva kommit fram till genom sin verksamhet och den samlade kunskapen bakom den.

Materialet togs fram genom att börja med ett brett perspektiv vid sökningarna. Det resulterade i en del material som inte rörde vår frågeställning. Efter genomgång av materialet, som gav en bättre insikt inom området, kunde sökningarna smalnats av för ett ge ytterligare fördjupning inom vissa delar, som luftkvalitet. Väldigt få källor av vetenskapligt material fanns kring klimatanläggningar på kryssningsfartyg och därför söktes material med möjlighet att dra paralleller mellan den marinasidan och landsidan. Detta gjordes för att kunna svara på delfrågorna och se om något talade emot användning ombord.

Ett urval gjordes av det framtagna materialet efter genomläsning. Detta gjordes efter en bedömning av kredibilitet och möjlighet att besvara frågeställningarna. För att svara på huruvida källorna trovärdiga och relevanta undersöktes vart informationen kom ifrån, deras egna referenser och kopplingar till regelverk som finns i land gällande ventilation och luftkvalitet.

Då delar av materialet är från början av 2000-talet sattes ingen begränsning av ålder på källorna. Vilka sökmotorer och sökord som används listas nedan, dessa sökord användes både tillsammans och separat. Ibland lades specifika upphovsmän till för att leta fler artiklar av samma personer.

### **Bibliotek**

Chalmers bibliotek

### **Sökmotorer**

Scopus, Summon, Webb of Science, Google, Google Scholar

### **Sökord**

Demand controlled ventilation, energy efficiency, CO<sub>2</sub>, marine, cruise ships, HVAC, control systems, behovsstyrd ventilation, key card, sensor

## 5 Resultat

Resultatet i rapporten baseras på följande nio källor.

### 5.1 Vetenskapliga artiklar & publiceringar

(Architectural Energy Corporation, 2007) sammanställde ett informationsblad för byggsektorn i Kalifornien för att skapa en överblick av användning av DCV. De tar upp energimodeller, möjliga besparingar och information om CO2 sensorer.

(Brandemuehl & Braun, 1999) skrev ett arbete med mål att undersöka energikraven kring alternativ ventilationsstyrning på CAV-system. Olika kombinationer kring economizer och behovsstyrd ventilation testades på fyra typer av byggnader, med åtta typer av variationer på ventilationstekniker i 20 olika klimat i USA.

(Dougan & Damiano, 2004) skrev en artikel om risker och potential kring behovsstyrd ventilation för branschorganisationen ASHRAE. Energibesparingar ställs emot andra designkrav i byggnader.

*Hari Kulovaara (2014)* vice VD på den maritima avdelningen på *Royal Caribbean Cruises* nämner kort i en publikation på *Cruiseindustrynews.com* hur HVAC systemet har effektiviserats med bland annat olika typer av behovsstyrd ventilation.

(Halton Marine, 2014) är ett företag som är specialiserade på inomhusklimat och ett av de största i branschen kring HVAC inom den marina sektorn.

(Kiehne, 2008) vid University of Texas in Austin har skrivit en del i projektet *Green Ships* som sammanfattar en förbättrad effektivitet av HVAC, där ibland genom behovsstyrning.

(Knud E. Hansen A/S, 2013) är en konsultbyrå inom Naval Architecture & Marine Engineering, som har gjort ett samarbete med Carnival Cruises där de uppgraderade några av deras fartyg för att effektivisera deras HVAC system bland annat genom behovsstyrd ventilation.

(Lawrence, 2004) skrev en artikel för ASHRAE om behovsstyrd ventilation och hållbarutveckling av byggnader. Artikeln tar upp aspekter kring luftkvalitet och implementering av tekniken vid nybyggnation eller upprustning av ett befintligt system.

(Schell & Inthout, 2001) skriver en artikel för ASHRAE hur behovsstyrd ventilation genom mätning av CO2 växer. En sammanställning görs kring tekniken vid det år av publicering och utrustning diskuteras samt hur den bäst används.

(Stipe, 2003) skrev för Oregon Office of Energy en handledning i implementering av behovsstyrd ventilation. Den finns i fyra olika versioner beroende på vilket bakgrund läsaren har, den erbjuds för byggnadsägare, arkitekter och ingenjörer, installatörer, och till sist för byggnadsnämnder och inspektörer. Varje versioner ger svar på olika frågor som de olika målgrupperna kan tänkas ha.

## **5.2 I vilka utrymmen/miljöer återfinns DCV-system på land?**

*Tom Lawrance (2004)* skriver att utrymmen där antalet personer varierar har störst potential för energibesparingar med hjälp av DCV som verktyg då få personer befinner sig i lokalerna och mindre utomhusluft behövs tas in och där med minskar behovet av konditionering. Han nämner svårhetsgraden av utvärdering vid en implementering av ett DCV-system i en byggnad då varje byggnad ofta är typ-specifik vilket gör det svårt att avgöra hur stora energibesparingar som kan göras då mycket beror på huruvida det tidigare ventilationssystemet är uppbyggt och byggnadens konstruktion. Kring aspekten med luftkvalitet tar han i artikeln upp en fältstudie gjord på ett universitet i USA där man tittade på huruvida implementering av DCV skulle ha påverkan jämfört med ett äldre konventionellt system. Det visade sig att man genom DCV kunde få ner CO<sub>2</sub>-koncentrationen till hälften av vad den skulle vara med det konventionella systemet under tiden då antalet besökare i hörsalens pikade. De utrymmen som har potential för behovsstyrd ventilation skulle vara främst mötes- och konferenslokaler, restauranger och butiker.

*Michael J. Brandemuehl & James E. Braun (1999)* har kommit fram till i sin studie att de största besparingarna gjordes i varma och/eller luftfuktiga klimat i södra USA som till exempel Miami, Florida med sitt tropiska monsunklimat och Phoenix, Arizona som är torrt subtropiskt. Däremot visades en trend av högre energibehov vid användande av DCV längre norrut i städer i höjd med Madison, Wisconsin. Så pass att det gav upphov till en högre energikonsumtion än konventionell ventilation om byggnaden hade källor som skapade mycket värme internt, som kunde påverka temperaturen. Störst besparingar gick att göra där antalet personer som befann sig i utrymmet förändrades mycket och det var ett stort spann mellan minsta och största behovet av ventilation.

*Mike Schell & Dan Inthout (2001)* Skriver att utrymmen där antalet människor är stort men ofta förändras och är svårt att förutse, som teatrar, skolor, affärer, mötes- och konferenslokaler så kan behovsstyrd ventilation erbjuda markanta besparingar. Även i utrymmen där antalet människor är fast som kontor så kan DCV försäkra att rummet ventilernas tillräckligt. Om det uppkommer en störning i ventilationen som att ett fönster öppnas så är DCV anpassas luftflödet efter det då CO<sub>2</sub> nivån är det som styr.

*Architectural Energy Corporation (2007)* sammanställning säger att energibesparingarna i samband med DCV är ett direkt resultat av att mindre utomhus luft kommer att behandlas i AHU:n vilket minskar energin som krävs för att kyla och avfukta luften. De utrymmen som

de listor som potentiellt lämpade att utrustas med DCV är de utrymmen som inte konstant är fyllda till sin tänkta kapacitet, utan där antalet människor i lokalen varierar. Potentiella utrymmen för behovsstyrning av ventilation är lokaler som skolor, kontor varuhus, sjukhus, resort-anläggningar, teatersalonger, klassrum, bibliotek, hörsalar, spelhallar, konferensrum, gym och diskotek.

Faktorer som påverkade besparingsmöjligheterna är följande:

- Beläggning av utrymme
- Belastning på kyl och uppvärmningsystem
- Utomhustemperaturen och luftfuktighet
- Typ av HVAC system
- Tid i economizer läge

Marty Stipe, P.E. (2003) skriver att DCV idag används i vissa skolor eller stora varuhus för att övervaka ventilationen i klassrum eller butiker för att på så sätt kunna spara energi och ge fördelaktig luftkvalité. Som goda kandidater till nyttjandet av DCV nämner han utrymmen där antalet besökare varierar mycket såsom hörsalar, konferensrum, kyrkor eller teatrar. Han förutspår även att man i framtiden uteslutande kommer att använda sig av DCV-system i de flesta utrymmen utrustade med en ventilationskapacitet på minst 1,500 kubikfot per minut och med ett genomsnittligt besökarantal som kräver cirka 20 % av denna kapacitet, eller lägre.

### **5.3 Finns det energibesparingar att göra med DCV ombord på kryssningsfartyg?**

*Dr Thomas Kiehne (2008)* kommer fram till att energi besparingarna beror på beläggnings mönster, typen av utrymme och utomhus klimatet. Han skriver att de fartygsspecifika HVAC-anläggningarna idag är onödigt energikrävande på grund av överventilering. De är ofta flödesstyrda efter antaganden över hur mycket utomhusluft som behövs i diverse utrymmen vid full beläggning istället för att reglera efter behovet baserat på antalet besökare. Ett väl planerat och utformat DCV system skulle således kunna spara upp till 25 % i HVAC driftskostnader. Detta sätts i förhållande att driften av HVAC ombord på passagerarfartyg står för upp till 15 % av den totala energiförbrukningen. Genom användning av DCV påstår han att den så kallade överventileringen undviks samtidigt som nödvändig volym av utomhusluft för en komfortabel miljö kan bibehållas i zonerna enligt tillämplade standarder. Han påstår även att en implementering av ett sådant system kan vara relativt enkelt på grund av att en del av den utrustningen som krävs möjligtvis redan finns till hands ombord på vissa fartyg i form av digitala kontrollsystem.

*Knud E. Hansen A/S (2013)* skriver att kryssningsfartyg ofta byggs med HVAC system dimensionerade för tropiska klimat. Därför finns det potentiella besparingar att göra på de relativt stora HVAC-systemen ombord när kryssningsfartyget seglar i farvatten där utomhus klimatet är liknande som det önskade inomhusklimatet eller under perioder då passagerarantalet är lågt. Enligt dem ska deras effektiviseringar erbjuda upp till 30 % mindre

energiförbrukning av HVAC systemet. Detta stöds med en studie de själva utfört år 2000 på ett större kryssningsfartyg byggt i Europa. Deras teknik baseras på behovsstyrning genom att övervaka passagerarflödet och beläggningen av varje område. Där varje publikt område går på ett tidsschema men använder CO2 sensor för att styra ventilation baserat på antal passagerare och diverse andra värmekällor ombord för att kunna rikta kylan till utrymmet där det är behövt.

*Hari Kulovaara (2014)* säger att vid byggnationen av kryssningsfartyget Quantum of the Seas har företaget varit innovativa vid konstruktionen av HVAC-systemet i hytter och publika utrymmen ombord även i byssan har de installerat ett behovsstyrt ventilationssystem. De kallar deras nuvarande HVAC-automation och dess mjukvara med tillhörande digitala termostater för en evolutionär utveckling. Hytterna är utrustade med intelligent styrning som även är kopplat till passagerarnas nyckelkort. Deras strategi har lett till att luftflödet i klimatanläggningen har reducerats jämfört med tidigare system.

*Halton Marine (2014)* påstår genom behovsstyrning av hytters klimat kunna erhålla energibesparingar upp till 35 % utan att förlora någon komfort. Deras strategi är uppdelad i en lokal styrning av hytterna och en mer avancerad styrning av AHU och VAV-enheterna till hytten. Med deras förnämnda strategi skall det lokala AC-systemet till vardera hytt återgå till ett förinställt "Stand-by" läge då passageraren drar ut sitt nyckelkort. Detta innebär att onödig kylning och ventilering undviks. I sitt "stand-by" läge förser det lokala AC-systemet hytten med tillräckligt mycket tilluft för att bibehålla en komfortabel miljö och för att snabbt kunna återinställa sig till passagerarens individuella inställningar så fort nyckelkortet senare är återinfört i hytten. Den lokala styrningen innefattar även en kommunikation mellan hyttens balkongdörr och dess AC-system för att undvika onödig kylning då uteluft strömmar in i hytten. Deras mer avancerade styrningsmetod är en kommunikation mellan AHU och hyttens kortläsare, balkongdörr-lägesgivare och termostat. Informationen som samlas upp från de lokala givarna analyseras för används för att kontrollera fläkthastigheten i AHU samt för att styra AHU donet för regleringen av värmning och kylning av hytten.

#### 5.4 Vilka för- och nackdelar finns med en behovsstyrd ventilation jämfört med en traditionell fast flödes ventilation?

Vid en sammanställning av de granskade studierna och artiklarna gällande för- och nackdelar av DCV-styrning gentemot konventionell styrning av HVAC-anläggningar fås följande:

Fördelar:

- Kostnadsbesparingar vid reducerad energikonsumtion (*Architectural Energy Corporation, 2007*).
- Ständig reglering för att bibehålla bra luftkvalitet (*Tom Lawrence, Ph.D., P.E., 2004*).
- Undviker över- och underventilering (*Mike Schell & Dan Inthout, 2001*).
- Eventuell implementering har en relativt låg payback tid (*ibid.*).
- Bra verktyg för att övervaka och kontrollera fördelning av ventilation mellan utrymmen (*ibid.*).
- Anpassningsbart till externa störningar som öppna fönster etc (*ibid.*).
- Den levererade mängden konditionerad luft blir mer exakt (*ibid.*).
- Anpassningsbart för användaren, enkla justeringar kan göras i dess inställningar om utrymmets syfte förändras (*ibid.*).
- Bra verktyg för avläsning av trender i utrymmen (*ibid.*).
- Relativt låg utrustningskostnad (*ibid.*).

Neckdelar:

- Exaktheten av mätningen med CO<sub>2</sub> sensorer kan vara bristande (*David S. Dougan & Len Damiano, 2004*).
- Försämring av sensorerna p.g.a. föråldring av deras upptagande ljuskälla (*ibid.*).
- CO<sub>2</sub>-sensorer kräver frekvent kalibrering (*ibid.*).
- Ej lämplig i milda klimat (*ibid.*).
- Bildas lätt mögel om luftfuktigheten blir för hög (*ibid.*).
- Risk för överventilering vid höga CO<sub>2</sub>-halter i utomhusluften. (*ibid.*).
- Onormalt hög aktivitet än förväntat i ett utrymme kan leda till högre energikonsumtion (*ibid.*).
- Missplacerade sensorer kan ge falska eller låg värden (*Marty Stipe, P.E., 2003*).

De potentiella möjligheterna till energioptimering distraherar ofta uppmärksamheten från betydelsen av systemets andra egenskaper. Aspekter som hälsa och produktivitet på personerna i utrymmena, ökade underhållskostnader eller övrigt skydd mot hälsofaror har emellanåt åsidosatts till bekostnad för en generellt kortsiktig kostnads- och energibesparing. DCV som strategi kan dessutom påverkas av störningar i form av andra avgivande källor än människor och beroende på CO<sub>2</sub> sensorernas placering kan de även påverkas av öppna dörrar, fönster, luftintag och -uttag samt i direkt anslutning till utrymmets besökare. HVAC-anläggningar som är behovsstyrda endast baserat på CO<sub>2</sub> kan få brister i kontroll över luftfuktigheten, och om denna överstiger 70% kan detta ge upphov till att mögel får fäste i

byggnadens lufttrummor och andra utrymmen. Det finns även en viss problematik gällande varierande utomhushalter av CO<sub>2</sub>, som bland annat kan bero både på byggnadens geografiska läge eller årstid. Den högre halten av CO<sub>2</sub> i utomhusluften leder in direkt till högre halter i inomhusluften. Vanligtvis används inte en referens mätning av CO<sub>2</sub> från utsidan och detta kan leda till överventilering och på så sätt högre energiuttag av klimatanläggningen. Men om en rimlig grad av noggrannhet i förhållandet mellan antalet besökare och ventilation lyckas uppnås finns det signifikanta energibesparingar som kan göras med hjälp av ett sådant system (David S. Dougan & Len Damiano, 2004).

## 6 Diskussion

I detta avsnitt diskuteras resultatet och metodvalet.

### 6.1 Resultat Diskussion

Det är svårt att säga vilken exakt påverkan en behovsstyrd klimatanläggning skulle ha ombord på ett kryssningsfartyg. Aspekterna för energi- och kostnadsbesparingar beror på en handfull punkter varav fluktuationer av människor, storleken på utrymmets designade ventilations flöde och klimatet verkar vara de mest betydelsefulla.

Det finns inga praktiska studier av denna teknik ombord på kryssningsfartyg att tillgå. Därför har diskussion och slutsats på grund av detta endast förankrats i de praktiska studier utförda på klimatanläggningar i land och produktmaterial av företag som påstår sig utan några offentliga studier kunna erbjuda kryssningsfartyg mer energieffektiva HVAC-anläggningar med hjälp av behovsstyrning. Men vid sammanställning av det resultat som denna litteraturstudie sammanställer av källorna i land har det visat sig att DCV är en framgångsrik strategi och att det kan generera energibesparingar. Enligt Architectural Energy Corporation (2007), Brandemuehl & Braun (1999), Halton Marine (2014), Kiehne (2008), Knud E. Hansen A/S (2013), Schell & Inthout (2001) finns det möjligheter på besparingar upp till 30% av energiförbrukningen. Dock är det svårt att utifrån detta avgöra vad för besparingar en implementering skulle resultera till ombord på ett kryssningsfartyg. Men en, enligt oss, väl genomförd studie visar att en behovsstyrd klimatanläggning visat sig som mest framgångsrik i områden där klimatet ofta är varmt och fuktigt. De mest positiva resultat har visat sig i längdgrad där verksamheten av kryssningsfartyg är som störst.

Användandet av DCV har visat sig varit som mest applicerbart och haft som störst potential till energibesparingar i typer av utrymmen som ofta förekommer på kryssningsfartyg. Det är främst typer av utrymmen där mängden personer varierar under dagarna. Dessa utrymmen nämns i de landbaserade källorna ofta som konferenslokaler, diskotek, isrinkar, restauranger, butiker och andra lokaler där folkmängden ofta brett varierar vilket är liknande utrymmen som kan återfinnas ett modernt kryssningsfartyg.

Målet med en implementering av den här tekniken skulle ligga i energibesparingar och av ekonomiska skäl men även på grund av miljöskäl och nya regler. En lyckad implementering av DCV skulle dock inte enbart innebära reducerade energikostnader genom lägre energikonsumtion. DCV kan potentiellt även innebära en bättre kontroll och högre kvalitet av inomhusluften ombord. Detta skulle inte bara förhindra gästerna från att få problem med koncentrationssvårigheter eller bli dåsiga, utan även personalen. Det skulle även minska förekomsten av ohälsosamma föroreningar. I de klimatanläggningar där CO<sub>2</sub>-sensorer används för att kontrollera kvalitén på inomhusluften kan även gästerna skyddas från att utsättas för ohälsosamt höga CO<sub>2</sub>-halter.



Reducering av kylbehovet som potentiellt kan medfölja DCV skulle även kunna möjliggöra optimering av kylanläggningen. De nuvarande relativt stora kylanläggningarna ombord är ofta dimensionerade efter att kunna klara av full kyleffekt under full beläggning av fartyget. Skulle däremot kyleffekten drivas efter behov, skulle mindre kylanläggningar kunna användas då fartygens alla utrymmen sällan används på en och samma gång. Detta skulle, förutom att ge utrymme för mer plats ombord, leda till ett reducerat användande av köldmedium vilket skulle gynna båda ekonomin och miljön. System som styrs efter mängden personer i ett visst utrymme ger även underlag för data av olika trender av folkströmmar ombord som i sin tur skulle kunna användas för enklare utvärderingar angående ombord tillvaron eller för utveckling av framtida klimatanläggningar.

Artikeln ”CO<sub>2</sub>-Based Demand Control Ventilation” som är skriven av David S. Dougan & Len Damiano (2004) är nämnvärt den enda av det ovan presenterade resultat som nämner de negativa aspekterna av DCV. De negativa aspekterna som diskuteras menar dock mestadels handla om CO<sub>2</sub>-sensorn snarare än styrningsprincipen DCV.

Ett ganska vanligt problem är att möjligheter till besparingar ofta har en tendens att vid implementering lämna potentiella brister i skuggan. Då CO<sub>2</sub>-halten anses vara ett bra index över luftkvalité används CO<sub>2</sub>-sensorer över en bred utsträckning i de flesta av behovsstyrda system som studien har visat. Dessa sensorer har tidigare dock visat sig ha tillkortakommanden i form av tekniska problem med noggrannhet vilket kan leda till felaktig ventilering och påverka utrymmets klimat negativt. Problemet med noggrannhet uppkommer främst då sensorernas upptagande ljuskälla försämras på grund av ålder vilket leder till felaktig monitorering, men problem kan även uppkomma i de fall då kalibrering inte har utförts med tillräckligt korta intervall.

DCV som strategi är dock under ständig utveckling och många av dessa problem är deklarerade i publiceringar där DCV och CO<sub>2</sub>-sensorer fortfarande behandlas som relativt ny teknik och i ett utvecklingsstadium som inte föreligger med dagens utrustning. Att nyckelkort styr möjligheten att använda belysning och klimatkontroll i rummen finns redan med stor utbredning inom hotell verksamheten iland. Möjligheten att stänga av belysning och reducera ventilation till minimum när hytten är tom bör även kryssningsfartyg kunna dra vinning av. Därför borde den här enkla typen av behovsstyrning av ventilation ses som ett bra komplement på kryssningsfartyg.

## **6.2 Metod Diskussion**

Valet att göra en litteraturstudie anses vara relevant för att kunna besvara den här typen av frågeställning på ett objektivt sätt, därför det ger en bild av vad flera olika källor presenterar kring samma ämne. Detta yrkar för studiens validitet. Men en negativ aspekt kring just denna litteraturstudie var hur få vetenskapliga källor det fanns kring den marina sidan av ämnet. Ytterligare en negativ aspekt vid litteraturstudier överlag är svårigheterna att bedöma och väga den insamlade informationen från källorna.

Källorna bedömdes efter trovärdighet och relevans. Även om delar av resultatet grundades i material från företag vilket kan ge en subjektiv bild så är det dock väl etablerade företag som faktiskt har levererat den här typen av system till kryssningsfartyg. En annan aspekt är att vi fick uppfattningen att det mesta skrivet kring behovsstyrning av klimatanläggningar är skrivet för någon intressent. Även de källor från andra universitet verkar vara beställda av en myndighet eller organisation som försökt skapa sig en bild kring tekniken. Detta vi tror kan ha bidragit till en subjektivare bild på samma sätt som informationen från ett företag. Vanligtvis är arbeten från andra universitet väl accepterade som källor då de granskats av fakulteten, medan företag antas vara mer subjektiva kring sin sak. Att källorna är av blandad bakgrund men ändå delar vissa slutsatser ger denna studie reliabilitet.

Intervjuer hade hjälpt för att få en bredare insikt överlag i ämnet, men för det inte säkert att reliabiliteten av resultatet hade blivit bättre då intervjuer lätt ger en mer subjektiv bild då informationen kommer från en person om än relevant och kunnig.

## 7 Slutsats

Syftet med studien var att se hur potentialen för behovsstyrd ventilation ombord på kryssningsfartyg ser ut.

Enligt en sammanställning av studiens resultat kan följande konstateras

- Kunskapen om DCV-anläggningar och parametrar som påverkar dem så som variationen i antalet personer i utrymmet, utomhusklimat och komponenter är väl studerat genom landbaserad forskning och användande från flertalet år tillbaka.
- De utrymmen som resultatet visat sig vara mest gynnsamma för användandet av DCV är utrymmen som ofta är förekommande på kryssningsfartyg och det finns stora fluktuationer av mängden människor i de olika utrymmena. Även utomhusklimatet där majoriteten av kryssningsdestinationer ligger talar för möjlig användning av behovsstyrning av klimatanläggningarna.

För att besvara huvudfrågan så kan det utifrån delsvaren sägas att det inte finns något som talar emot en implementering av DCV-anläggningar ombord på kryssningsfartyg då potential för både energi- och kostnadsbesparingar har visats i land efter liknade förutsättningar. Trots att inga konkreta vetenskapliga studier finns som styrker implementering ombord på kryssningsfartyg finns dock de redan installerade systemen ombord på ett fåtal kryssningsfartyg som stryker implementering.

### 7.1 Förslag på vidare arbete

Ett förslag på vidare arbete är att undersöka, med hjälp av en fallstudie, vilka energi besparingar som skulle kunna göras baserat från datan på ett verkligt kryssningsfartyg.

Vidare har det varit mycket diskussioner i artiklarna kring luftkvalitet och huruvida den påverkas av behovsstyrning av ventilationen, det skulle vara intressant att se en studie hur inomhus luftkvaliteten faktiskt är ombord på olika avdelningar av fartyg idag.

## 8 Referenser

- Andersson, C. (2011). *Energioptimering av HVAC-system i större passagerarfartyg*. Institutionen för sjöfart och marin teknik. Göteborg: Chalmers.
- Architectural Energy Corporation. (2007). *Design Briefs*. Hämtat från Energy Design Resources:  
[https://energydesignresources.com/media/1705/EDR\\_DesignBriefs\\_demandcontrolled\\_ventilation.pdf?tracked=true](https://energydesignresources.com/media/1705/EDR_DesignBriefs_demandcontrolled_ventilation.pdf?tracked=true) den 30 03 2016
- ASHRAE. (2012). *2012 ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment*. Tullie Circle, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Brandemuehl, M. J., & Braun, J. E. (1999). *The Impact of Demand-Controlled and Economizer Ventilation Strategies on Energy Use in Buildings*. ASHRAE Transactions. Hämtat från <https://customer.honeywell.com/resources/techlit/TechLitDocuments/63-0000s/63-7063.pdf> den 23 03 2016
- Burton, D. J. (2000). ASHRAE 62-1999 ventilation for acceptable indoor air quality, addendum n. *Occupational health & safety*.
- Coyle, J. J., Novak, R. A., Gibson, B., & Bardi, E. J. (2011). *Transportation: A Supply Chain Perspective*. Portland: Ringgold Inc.
- Cruise Industry News. (2014). *HVAC Improvements: Energy Savings and New Digital Thermostats on Quantum*. Hämtat från Cruise Industry News: <https://www.cruiseindustrynews.com/cruise-news/11874-hvac-improvements-energy-savings-and-new-digital-thermostats-on-quantum.html> den 28 04 2016
- Dougan, D. S., & Damiano, L. (2004). CO2-Based demand controlled ventilation, do risks outweigh potential rewards? *ASHRAE Journal*. Hämtat från <https://www.ashrae.org/File%20Library/docLib/.../ASHRAE-D-22751-20040930.pdf> den 14 03 2016
- Entergize. (2016). *Patented Entergize Key Card Technology*. Hämtat från Entergize: <http://www.entergize.com/keycardsystems.html> den 27 04 2016
- Florida-Caribbean Cruise Association. (2015). *FCCA Research & Statistics*. Hämtat från Florida-Caribbean Cruise Association: <http://www.f-cca.com/downloads/2015-Cruise-Industry-Overview-and-Statistics.pdf> den 26 04 2016
- Halton Marine. (2014). *HVAC solutions for refurbishments*. Hämtat från Halton: [https://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj77aTfpM\\_MAhXoJJ0KHdMqAnUQFgggMAE&url=https%3A%2F%2Fwww.halton.com%2Fdh%2FCACgmFfqGWrDQSKf0w8zBHSWDTKI4Uj1AqryDWyOSi-VEN8xon4kjibuq3FqeWB\\_iI8Cz38QrSvlp2iuJymiOJFC7Jw](https://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj77aTfpM_MAhXoJJ0KHdMqAnUQFgggMAE&url=https%3A%2F%2Fwww.halton.com%2Fdh%2FCACgmFfqGWrDQSKf0w8zBHSWDTKI4Uj1AqryDWyOSi-VEN8xon4kjibuq3FqeWB_iI8Cz38QrSvlp2iuJymiOJFC7Jw) den 28 04 2016
- Höst, M., Regnell, B., & Runesson, P. (2006). *Att genomföra examensarbete*. Lund: Studentlitteratur.
- Kanstad, S. O. (2013). *Energy Savings and Indoor Air Quality*. Hämtat från Axon Automation: <http://www.axonautomation.ca/Comag->

- IR/Demand%20Controlled%20Ventilation,%20Energy%20Savings%20and%20Indoor%20Air%20Quality.pdf den 06 03 2016
- Kiehne, T. (2008). *Green NAVAL SHIPS*. Hämtat från Center for Electromechanics: [https://www.utexas.edu/research/cem/Green\\_ship\\_pages/High\\_efficiency\\_HVAC.html](https://www.utexas.edu/research/cem/Green_ship_pages/High_efficiency_HVAC.html) den 16 04 2016
- Knud E. Hansen A/S. (den 29 November 2013). *State-of-the-art HVAC for Carnival Cruise Line*. Hämtat från Knud E. Hansen A/S: <http://www.knudehansen.com/news/news-from-knud-e-hansen/2013/state-of-the-art-hvac-for-carnival-cruise-line/> den 15 04 2016
- Lawrence, T. (2004). Demand-Controlled Ventilation and Sustainability. *ASHRAE Journal*. Hämtat från [https://www.ashrae.org/File%20Library/docLib/.../20061004\\_23133sustainability.pdf](https://www.ashrae.org/File%20Library/docLib/.../20061004_23133sustainability.pdf) den 05 03 2016
- McDowall, R. (2007). *Fundamentals of HVAC systems*. Amsterdam, Boston, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers eLearning.
- Nilsson, A. (2016).
- Nydal, R. (2002). *Praktisk Kylteknik*. Halmstad.
- Ravemark, D. (2004). *Comparative LCA on Marine air handling*. DANTES Project. Hämtat från <http://www.dantes.info/Publications/Publication-doc/Dantes%20-%20marine%20ventilation.pdf> den 21 04 2016
- Royal Caribbean International. (2016). *Royal Caribbean*. Hämtat från Våra Fartyg - Harmony of the Seas: <https://www.royalcaribbean.se/#!/vara-fartyg/fartyg/harmony-of-the-seas> den 26 04 2016
- Schell, M., & Inthout, D. (2001). Demand control ventilation using CO(2). *ASHRAE Journal*. Hämtat från [www.airtest.com/support/manual/reference/article2.pdf](http://www.airtest.com/support/manual/reference/article2.pdf) den 19 04 2016
- SOLAS. (2002). *FIRE PROTECTION, FIRE DETECTION AND FIRE EXTINCTION*.
- Stipe, M. (2003). *Demand-controlled Ventilation: A design guide*. Oregon: Oregon Office of Energy. Hämtat från <http://www.oregon.gov/ENERGY/CONS/BUS/DCV/docs/DCVGuide.pdf> den 23 04 2016
- The Cruise Lines International Association. (2015). *Environment*. Hämtat från Cruise Forward: <http://www.cruiseforward.org/docs/default-source/default-document-library/download-all-resources.pdf?sfvrsn=0> den 28 04 2016
- The Editors of Encyclopædia Britannica. (2014). *Willis Carrier*. Hämtat från Encyclopædia Britannica: <http://global.britannica.com/biography/Willis-Carrier> den 25 03 2016
- U.S. Department of Energy. (2012). *Demand Controlled Ventilation*. Hämtat från Building Energy Codes : [https://www.energycodes.gov/sites/default/files/documents/cn\\_demand\\_control\\_ventilation.pdf](https://www.energycodes.gov/sites/default/files/documents/cn_demand_control_ventilation.pdf) den 25 04 2016
- U.S. General Services Administration. (2016). *Green Proving Ground - HVAC*. Hämtat från U.S. General Services Administration: <http://www.gsa.gov/portal/category/106783> den 02 03 2016

- Valkeejärvi, K. (2006). *The ship's electrical network, engine control and automation*. (Wärtsilä Corporation) Hämtat från Gallois: [http://www.gallois.be/ggmagazine\\_2006/gg\\_03\\_05\\_2006\\_102.pdf](http://www.gallois.be/ggmagazine_2006/gg_03_05_2006_102.pdf) den 03 04 2016
- Webster, A. D., & Reynolds, G. L. (2005). *Air Quality in Airplane Cabins and Similar Enclosed Spaces*. (M. Hocking, Red.) Berlin: Springer Berlin Heidelberg. Hämtat från <http://link.springer.com/chapter/10.1007%2Fb107251#page-1> den 14 03 2016

