



# CHALMERS

---



## Stena Danicas värmebalans

Examensarbete inom Sjöingenjörsprogrammet

Markus Eliasson

Jonas Jansson



RAPPORTNR. SI-15/152

## Stena Danicas Värmebalans

MARKUS ELIASSON  
JONAS JANSSON

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

Stena Danicas Värmebalans  
The heat balance of Stena Danica

MARKUS ELIASSON  
JONAS JANSSON

© MARKUS ELIASSON, 2015.  
© JONAS JANSSON, 2015.

Rapport nr. SI-15/152  
Instituten för sjöfart och marin teknik  
Chalmers tekniska högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Sverige  
Telefon + 46 (0)31-772 1000

Omslag:  
Stena Danica på väg upp för Göta Älv för att anlöpa Masthuggskajen.  
(Foto: Jonas Jansson)

Tryckt av Chalmers Tekniska Högskola  
Göteborg, Sverige, 2015

## Stena Danicas Värmebalans

MARKUS ELIASSON

JONAS JANSSON

Instituten för sjöfart och marin teknik

Chalmers tekniska högskola

## Sammandrag

Stena Danica anslöts i december 2014 till Göteborgs fjärrvärmenät. Detta gjordes för att slippa använda fartygets oljeeldade pannor till fartygets uppvärmning, då fartyget befinner sig i hamn. På så sätt minskas bränslekostnaderna och utsläppen reduceras, samtidigt så klarar fartyget ändå av att hålla temperaturen i inredningen och systemen. Detta är ett mycket intressant projekt som är nytt för fartyg i linjetrafik och som i framtiden kan minska sjöfartens miljöavtryck. Det finns sedan tidigare fartyg inom andra branscher anslutna till fjärrvärmenät. De svenska isbrytarna är ett exempel på detta. Dessa fartyg har ingen fast tidtabell och ligger till kaj en stor del av året vilket gör det möjligt att använda sig av billigare och miljövänligare alternativ för uppvärmningen ombord.

Tidigare har besättningen ombord på Stena Danica inte kunnat mäta energiförbrukningen för oljepannan. Det nya fjärrvärmesystemet underlättar avläsning av den förbrukade energin, vilket gör det möjligt att se vilka de stora förbrukarna är ombord och var den inköpta värmen används.

Syftet med projektet är att utföra en fallstudie på Stena Danica för att senare kunna utföra en värmebalansberäkning. Värmebalansberäkningen kan sedan ligga till grund för att utföra ett energi-index i framtiden. Genom att göra en värmebalansberäkning så kan man hitta eventuella svagheter i klimatskalet och därefter komma med förslag till eventuella förbättringar.

Värmebalansen beräknas genom att addera energikällorna och subtrahera energiförlusterna innanför klimatskalet. Skillnaden som fås är den värmeenergi som behöver tillföras genom fjärrvärme eller med oljepannan för att bibehålla ett behagligt inomhusklimat.

Resultatet visar att Stena Danica har en god värmebalans med inte allt för stora förluster, där det finns lätta åtgärder för att spara värmen ombord. Genom att reglera ventilationssystemen så att mer värme behålls i systemet samt att sänka värmen i inredningen kan stora besparingar göras.

**Nyckelord:** fjärrvärme, Stena Danica, värmebalans, energi-index, klimatskal, transmission

## Abstract

In December 2014 the ferry Stena Danica was connected to the distributed heat network of Gothenburg. This was made in order to not run the vessels boilers while the ship was at port. This reduces the fuel consumption onboard while the vessel still keeps its interior temperatures at a normal level. This is a unique project that will save the harbors from unnecessary emissions and also reduce the vessels fuel consumption. There are other Swedish vessels connected to distribute heat systems, the Swedish icebreakers for instance. These vessels remain at port for long periods and therefore use the land based heating system in order to save fuel and to reduce the pollution.

Until now the vessel has not been able to measure the fuel consumption of the boilers but as the new system comes online the vessel will be able to monitor the consumption of the system.

The purpose of the project is to complete a case study in order to perform a heat balance calculation. This heat balance calculation can thereafter be used as a foundation to calculate the energy-index for the vessel and also locate any potential weaknesses in the system. Based on the result areas in need of improvement can be found to achieve a more efficient system with less losses.

The heat balance can be defined as the sum of the sources of heat energy subtracted with the heat losses inside the climate shell. The difference in the calculation is the required energy needed to sustain a normal indoor temperature within the climate shell.

The results show that Stena Danica has a satisfactory heat balance without any big losses and there are easy ways to save heat onboard. By regulating the ventilation systems to keep more heat and also lowering the temperature in the interior heat savings can be done.

**Keywords:** heat distribution, Stena Danica, heat balance, energy-index, climate shell, transmission

## **Förord**

Författarna skulle vilja tacka Ingemar Sörensson, superintendent på Stena Danica för sitt goda bemötande och vägledning. Vi vill även tacka den trevliga personalen ombord på Stena Danica som har varit väldigt hjälpsamma och bemötande. Sist men inte minst så vill vi tacka vår handledare Mats Jarlros för sin goda vägledning.

# Innehållsförteckning

<b>Sammandrag</b> .....	<b>i</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>ii</b>
<b>Förord</b> .....	<b>iii</b>
<b>1 Introduktion</b> .....	<b>1</b>
1.1 Syfte.....	2
1.2 Frågeställning.....	2
1.3 Avgränsningar .....	2
<b>2 Teori</b> .....	<b>3</b>
2.1 Ventilation och uppvärmning.....	3
2.2 Luftomsättning.....	3
2.2.1 Från- och tilluftssystem 1 med värmeåtervinning (FTX-system 1) .....	3
2.2.2 Från- och tilluftssystem 2 med värmeåtervinning (FTX-system 2) .....	4
2.2.3 Från- och tilluftssystem 3 med värmeåtervinning (FTX-system 3) .....	4
2.2.4 Pre-treatment och reheating .....	5
2.3 Värmeförluster .....	5
2.3.1 Transmission.....	5
2.3.2 Luftläckage .....	6
2.3.3 Ventilation .....	6
2.4 Värmetillskott.....	6
2.4.1 Solinstrålning.....	6
2.4.2 Soltimmar .....	6
2.4.3 Personer .....	6
2.4.4 Elektronik.....	6
2.4.5 Tappvarmvatten .....	7
2.5 Övriga värmeförluster samt värmetillskott.....	7
2.5.1 Väder och temperatur.....	7
2.5.2 Uppvärmning.....	7
<b>3 Metod</b> .....	<b>8</b>
3.1 Beskrivning av fartyget.....	8
3.2 Beskrivning av fastigheten .....	8
3.3 Uppdelning av fartygets utrymmen .....	8
3.3.1 Ventilation .....	9



FTX-system 1 .....	9
FTX-system 2 .....	9
FTX-system 3 .....	9
<b>3.4 Värmeförluster .....</b>	<b>10</b>
3.4.1 Transmission.....	10
3.4.2 Luftläckage .....	11
3.4.3 Temperatur.....	11
<b>3.5 Värmetillskott.....</b>	<b>11</b>
3.5.1 Solinstrålning.....	11
3.5.2 Personer .....	11
3.5.3 Elförbrukare.....	12
3.5.4 Tappvarmvatten .....	12
<b>3.6 Jämförelse .....</b>	<b>12</b>
<b>3.7 Redovisning av resultat .....</b>	<b>12</b>
<b>4 Resultat.....</b>	<b>13</b>
<b>4.1 Värmeförluster .....</b>	<b>13</b>
4.1.1 Värmeförluster via ventilation .....	13
4.1.2 Värmeförluster via luftläckage .....	13
4.1.3 Värmeförluster via transmission .....	14
<b>4.2 Värmetillskott.....</b>	<b>14</b>
4.2.1 Värmetillskott från solinstrålning.....	14
4.2.2 Värmetillskott från människor .....	15
4.2.3 Värmetillskott från tappvarmvatten och elektriska förbrukare .....	15
<b>4.3 Värmebalans .....</b>	<b>16</b>
<b>4.4 Värmebehov .....</b>	<b>17</b>
<b>4.5 Energieffektivitet.....</b>	<b>17</b>
<b>5 Diskussion.....</b>	<b>18</b>
<b>5.1 Jämförelse med fastighet .....</b>	<b>18</b>
5.1.1 Ventilation .....	18
5.1.2 Luftläckage .....	20
5.1.3 Transmission.....	20
5.1.4 Solinstrålning.....	20
5.1.5 Värmetillskott från människor .....	20
5.1.6 El och tappvarmvatten .....	21
<b>5.2 Metoddiskussion.....</b>	<b>21</b>

5.3	<i>Miljö och etik</i> .....	21
<b>6</b>	<b>Slutsatser</b> .....	<b>22</b>
	<b>Referenslista</b> .....	<b>23</b>

## Bilageförteckning

Bilaga 1 - Formelsamling

Bilaga 2 - Indata

Bilaga 3 - Värmebalans

Bilaga 4 - Ventilation och dimensioner

## Figurförteckning

Figur 1. Schematisk bild över värmebalans. ....	1
Figur 2. Från- och tilluftssystem 1 med värmeåtervinning genom regoterm. ....	3
Figur 3. Från- och tilluftssystem 2 med värmeåtervinning med regoterm och återcirkulation. .....	4
Figur 4. Från- och tilluftssystem 3 med värmeåtervinning genom återcirkulation. ....	4
Figur 5. Pre-treatment och reheating. ....	5
Figur 6. Däck 7: Uppdelning av FTX-systemen mellan olika lokaler. ....	9
Figur 7. Transmissionsberäkningar däck 7, FTX-system 2, 7.3. ....	10
Figur 8. Ventilationsförluster i jämförelse mellan Gripen 11 och Stena Danica. ....	13
Figur 9. Luftläckage i jämförelse mellan Gripen 11 och Stena Danica. ....	13
Figur 10. Transmissionsförluster i jämförelse mellan Gripen 11 och Stena Danica. ....	14
Figur 11. Värmetillskott genom solinstrålning i jämförelse mellan Gripen 11 och Stena Danica. ....	14
Figur 12. Värmetillskott genom personer i jämförelse mellan Gripen 11 och Stena Danica. .....	15
Figur 13. Värmetillskott genom el och tappvarmvatten i jämförelse mellan Gripen 11 och Stena Danica. ....	15
Figur 14. Presentation av Stena Danicas totala värmeförbrukare samt värmetillskott. ....	16
Figur 15. Presentation av värmebehovet för Stena Danicas tre ventilationssystem. ....	17
Figur 16. Energibesparing vid reglering av återcirkulationen för FTX-system 1-2. ....	17

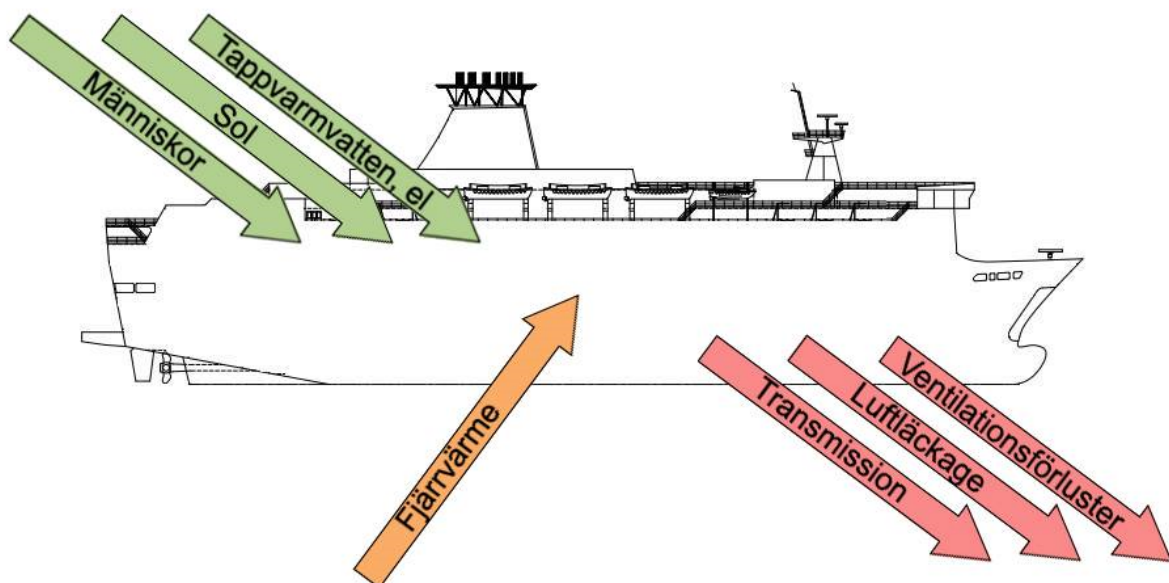


# 1 Introduktion

Stena Danica är det första fartyget i linjetrafik som har byggts om för att kunna anslutas till fjärrvärmenätet (Ovesen 2014). Detta gör det möjligt för fartyget att ligga till kaj och ta emot värme från landnätet vilket minskar fartygets egen värmeproduktion. Denna landanslutning är en del av EU-projektet Celsius (Sörensson 2015) som i framtiden förhoppningsvis kommer leda till att fler Europeiska hamnar börjar använda sig av fjärrvärme för uppvärmning av fartygen som lägger till i hamnarna. För Göteborgs del så innebär den här tekniska lösningen att emissionerna i hamnen minskar. Då utsläppen är höga i Göteborg kommer detta att gynna Göteborgs stad genom en bättre stadsluft och en friskare befolkning på längre sikt (Wisell & Nguyen 2011).

Genom att utföra en värmebalansberäkning får man fram en kartläggning av vart fjärrvärmeenergin tar vägen och förbrukas. En värmebalansberäkning bygger på att fartygets vämetillskott och värmeförluster behandlas för att få fram en värmebalans. Värmebalansen definieras genom att addera energikällorna och subtrahera med energiförlusterna innanför klimatskalet (Abel & Elmroth 2008) se figur 1. Ett klimatskal definieras som det som skyddar inomhusmiljön från utomhusmiljön.

Tidigare har inga mätningar gjorts på energitillförseln, men då Stena Line nu har exakta värden på hur mycket fjärrvärme som köps in till Stena Danica så är en värmebalansberäkning av stort intresse. Resultatet av värmebalansberäkningarna kan användas som underlag för att hitta förbättringsområden ombord och ta fram eventuella lösningar för att effektivisera systemet.



Figur 1. Schematisk bild över värmebalans.

## 1.1 Syfte

Arbetet syftar till att påvisa om Stena Danica använder värmeenergin som köps från fjärrvärmenätet på ett effektivt sätt, samt om det finns eventuella åtgärder som kan leda till ett mer effektivt värmesystem ombord. Resultatet kommer vara en värmebalansberäkning för fartyget och som senare även jämförs med en likvärdig fastighets värmebalansberäkning för att påvisa likheter och skillnader.

## 1.2 Frågeställning

### Huvudfråga

Hur ser effektiviteten ut kring användandet av den tillförda värmen, hur kan den förbättras samt vad kan göras för att minska de eventuella förlusterna?

### Delfrågor

- Skiljer sig värmebalansen åt mellan ett fartyg och en traditionell fastighet och om så är fallet hur skiljer de sig åt?
- Hur påverkar eventuella skillnader i val av uppvärmningssystem klimatskalets energieffektivitet?
- Vilka eventuella åtgärder kan utföras för att öka energieffektiviteten ombord?

## 1.3 Avgränsningar

Studier genomfördes på systemet för uppvärmningen ombord på Stena Danica och data användes för att genomföra en värmebalansberäkning på fartyget. Beräkningarna utfördes på fartyget när den låg vid Masthuggskajen och var ansluten till fjärrvärmenätet. Värmebalansen kommer därför bara att vara gällande när fartyget ligger till kaj och är baserad på förhållanden som råder vid dessa tidpunkter. Arbetet är avgränsat så att värmebalansen tas fram för fartygets inredning, det vill säga för däck 7 till 10.

## 2 Teori

En värmebalansberäkning består av många mindre beräkningar som sedan läggs samman för att få ett slutligt resultat. I detta kapitel förklaras alla dessa mindre delar som värmebalansberäkningen består av.

### 2.1 Ventilation och uppvärmning

Cirkulationen av luft i slutna utrymnen, som till exempel i byggnader eller ombord på fartyg, sköts av ventilationssystemet. Ventilationen är viktig i slutna utrymnen för att få ned halterna av gaser och partiklar som samlas i rummet. Föroreningarna förs bort med hjälp av ventilationen och skapar därmed ett behagligt inomhusklimat med frisk luft. Detta är ventilationens huvudsyfte men det går även att tillföra värme eller kyla till rummen med ventilationssystemet (Abel & Elmroth 2008).

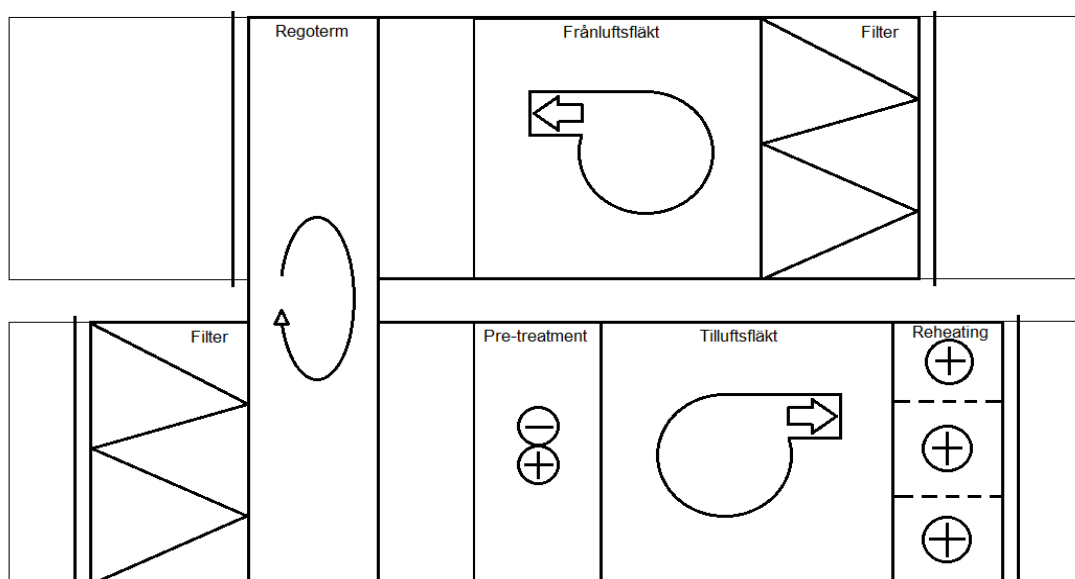
Den huvudsakliga värmeförseln till utrymmena ombord på Stena Danica sker med ventilationssystemet (Sörensson 2015).

### 2.2 Luftomsättning

Luftomsättningen för en vanlig villa får inte vara lägre än 0,35 l/s per m<sup>2</sup>. Detta för att den skall anses ha tillräckligt god kvalitet för att människor skall kunna vistas en längre period i utrymmet (Petersson 2009). Detta värde anses även relevant för utrymmena ombord då även de är utrymnen där människor vistas och lever i.

#### 2.2.1 Från- och tilluftssystem 1 med värmeåtervinning (FTX-system 1)

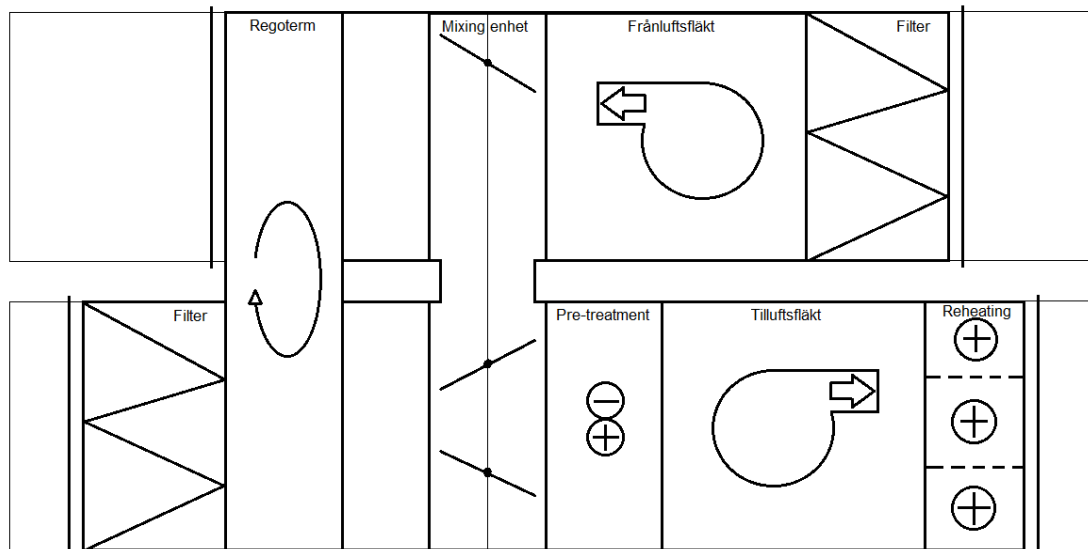
Ett FTX-system är ett från- och tilluftssystem kompletterad med en roterande värmeväxlare (regoterm) som återvinner värme ur frånluften (Abel & Elmroth 2008), se figur 2. Detta gör att energibehovet för att värma tilluften minskar och man får ett mer energieffektivt system. Detta så kallade regoterm-system används till vissa delar av passagerarutrymmena ombord men främst till hytter där kravet på luftens kvalitet är högre (Freidlitz 2015).



Figur 2. Från- och tilluftssystem 1 med värmeåtervinning genom regoterm.

### 2.2.2 Från- och tilluftssystem 2 med värmeåtervinning (FTX-system 2)

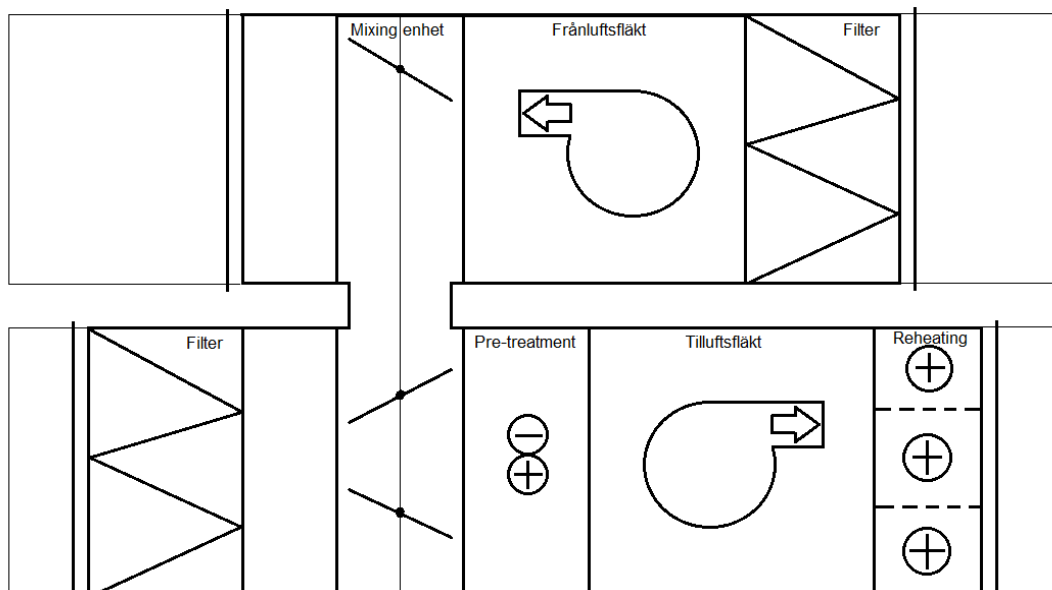
Genom att rena en del av frånluften och sedan låta den blandas med den nya tilluften så behålls en viss del av värmeenergin. Genom att göra på detta sätt minskar man värmebehovet för tilluften (Abel & Elmroth 2008). FTX-system 2, se figur 3, skiljer sig på det sättet att den varma frånluftens värme inte bara överförs till den nya luften med hjälp av en regoterm utan även att en del av frånluften blandas fysiskt med den nya tilluften. Detta system används på dem stora allmänna passageraryrorna ombord.



Figur 3. Från- och tilluftssystem 2 med värmeåtervinning med regoterm och återcirkulation.

### 2.2.3 Från- och tilluftssystem 3 med värmeåtervinning (FTX-system 3)

Detta system tillför ny luft till utrymmen och det sker genom en värmeåtervinning, det vill säga att man låter frånluften renas genom olika filter för att sedan blandas in med en viss procent med tilluften. På så sätt fångar man upp värme som annars skulle förlorats (Abel & Elmroth 2008), se figur 4.

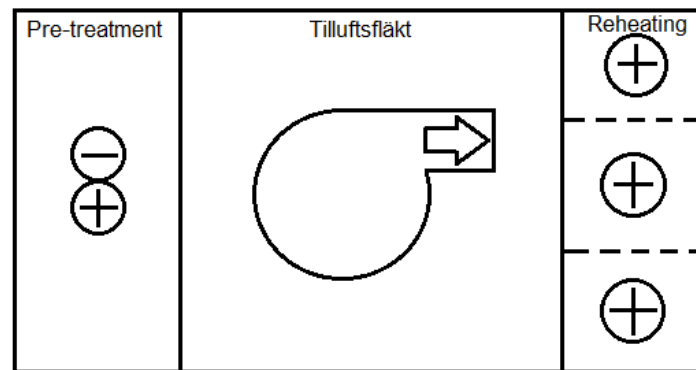


Figur 4. Från- och tilluftssystem 3 med värmeåtervinning genom återcirkulation.



### 2.2.4 Pre-treatment och reheating

Pre-treatment systemet som finns ombord förbehandlar tilluften och beroende på behov så värmer eller kyler den tilluften för att skapa rätt inomhusklimat. Reheatern gör det möjligt att variera hyttens temperatur via en termostat (Freidnitz 2015).



Figur 5. Pre-treatment och reheating.

## 2.3 Värmeförluster

Detta är den värme som går förlorad genom till exempel transmission, luftläckage och ventilation. Genom att göra förlusterna så små som möjligt krävs bara ett litet uppvärmningsbehov för att hålla utrymmena varma ombord.

### 2.3.1 Transmission

Transmission är den värme eller kyla som strålar eller leds ut ur ett klimatskal. Klimatskalet är den barriär som skyddar inomhusmiljön från utomhusmiljön. Värmetransporten genom klimatskalet är helt beroende av vad för material man väljer att använda i klimatskalet. Att välja material med goda isoleringsegenskaper medför att man får lägre värmetransporter genom klimatskalet och ett lägre energibehov för uppvärmning (Abel & Elmroth 2008).

#### Fönster

Fönster är en svaghet i klimatskalet eftersom det är svårare att få ned transmissionen för dessa än för det övriga klimatskalet, vilket kan leda till värmeenergiförluster genom fönstren. För att få ned transmissionen använder man sig av flerglas-fönster, vilket innebär att man placerar ett antal glasrutor framför varandra för att få ett isolerande luftlager mellan glasrutorna och får på så sätt ned transmissionen (Abel & Elmroth 2008).

#### Skott

Skottets syfte är att hålla kvar värmen eller kylan ombord på fartyget. Detta görs genom att isolera skotten med olika material för att få ned värmetransporten in eller ut från fartyget (Abel & Elmroth 2008). Ombord finns många olika isoleringsmaterial beroende på vart man befinner sig. Eftersom vissa platser anses extra farliga ur brandsynpunkt vill man att dessa platser ska klara av höga temperaturer utan att låta branden sprida sig vilket ställer stora krav på isoleringens egenskaper (SOLAS 2004).

### **2.3.2 Luftläckage**

Med luftläckageförluster avser man värmeförluster till följd av såväl luftläckage genom klimatskalet som vädring. Medan vädringen kan anses vara helt brukarbetingsad och därför svår att kvantifiera, är luftläckaget en direkt följd av hur lufttät man lyckats göra klimatskalet. Luftläckaget genom klimatskalets otätheter i dörrar, tak samt fönstrens skarvar tillsammans med ventilationssystemets frånluft skapar tillsammans den luftomsättning som sker på fartyget. Lufttätheterna skapar ett okontrollerat luftläckage i klimatskalet som för bort värme med luften, till skillnad från ventilationssystemet som ses som ett kontrollerat flöde (Abel & Elmroth 2008). Luftläckaget för en tryckskillnad på 50 Pa ska inte överstiga 0.8 l/sm<sup>2</sup> för bostäder och 1.6 l/sm<sup>2</sup> för övriga utrymmen. Luftläckaget för nybyggda hus är normalt i storleksordningen 4 % av det totala flödet i klimatskalet (Petersson 2009).

### **2.3.3 Ventilation**

Den värme som inte kan tas tillvara på i de roterande värmeväxlarna och den luft som inte återförs är förluster som kommer av ventilationen. Beroende på hur stora frånluftsflöden man har och hur väl värmeåtervinningen fungerar kan mycket värme förloras (Abel & Elmroth 2008).

## **2.4 Värmetillskott**

De olika värmetillskotten ombord utgörs av besättning, belysning, solstrålning, tappvarmvatten och olika elektrisk apparatur. Det leder till ett positivt värmetillskott på vintrarna men det kan bli en nackdel på sommaren när värmetillskottet måste föras bort (Freidnitz 2015).

### **2.4.1 Solinstrålning**

Solstrålningen kan bidra med mycket värmeenergi genom att tillåta att solstrålning kommer igenom klimatskalet, oftast genom fönsterrutor. Beroende på hur fönstren är placerade i förhållande till solstrålningen så varierar värmetillskottet. (Brown & Isfält 1969).

### **2.4.2 Soltimmar**

Solens upp- och nedgång och solens höjd varierar över året och var man befinner sig i Sverige. På vinterhalvåret är solen uppe betydligt färre timmar och infallsvinkel mot jorden är mindre. Detta medför att solen inte kan överföra samma energimängder som under sommaren då solen är uppe fler timmar och har en större infallsvinkel mot jorden (Brown & Isfält 1969).

### **2.4.3 Personer**

Personer ombord avger kroppsvärme som bidrar med ett värmetillskott. En människa avger mellan 50-100 watt beroende på ålder och aktivitet som den utövar (Petersson 2009).

### **2.4.4 Elektronik**

Belysning, köksutrustning och annan elektronisk apparatur tillför värmeenergi när dessa är i drift. Elektroniken är ofta koncentrerad kring vissa specifika platser så som köket eller casinot. Detta leder till att värmen inte alltid kan tillgodoses ombord då den är svår att sprida ut i resten av fartyget. I moderna byggnader försöker man välja utrustning med liten

värmeavgivning för att lättare hålla en konstant temperatur i byggnaden (Abel & Elmroth 2008).

#### **2.4.5 Tappvarmvatten**

Vatten som används ombord avger värme under transporten till och från förbrukaren. Den värme vattnet avger kan tillgodoräknas till byggnadens värmebehov (Abel & Elmroth 2008).

### **2.5 Övriga värmeförluster samt värmertilskott**

Ett fartyg och en fastighet måste även ha ett uppvärmningssystem som kan upprätt hålla inomhus temperaturen. Den värme som uppvärmningssystemet tillför är byggnadens värmebehov. Beroende av skillnaden mellan utomhus- och inomhustemperaturen kan utomhustemperaturen bidra med ökat värmertilskott eller ökade värmeförluster.

#### **2.5.1 Väder och temperatur**

Utomhustemperaturerna varierar mycket inom loppet av ett dygn och under hela året. Dessa olika temperaturer spelar stor roll för klimatskalets värme- eller kylbehov. Den lägsta temperaturen under dygnet uppstår i gryningen (Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut B 2014). Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) har sedan 1961 observerat och loggat dygnets och årets medeltemperaturer i Sverige. Normalvärdet är ett referensvärde som används för att karakterisera en ords klimat och detta för att kunna jämföra ett aktuellt värde med ett medelvärde från en lång period (Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut A 2009).

#### **2.5.2 Uppvärmning**

Uppvärmningen ombord på ett fartyg sker vanligast med luft som uppvärmningsmedium till skillnad från en fastighet som oftast använder vatten som uppvärmningsmedium.

Ett uppvärmningssystem för en fastighet kan använda sig av till exempel el, fjärrvärme, bergvärme och vissa fall oljeeldad panna för att värma det cirkulerande vattnet i fastigheten (Fredriksen & Werner 1993) Den värme som inte överförs till fastigheten från vattnet kommer att stanna i det cirkulerande systemet. När vattnet återvärms så har den en viss värme kvar som inte går till spillo utan är kvar i systemet.

Till skillnad från en fastighets uppvärmningssystem så är ett ventilationssystem primära uppgift att motverka luftföroreningar i utrymmet och inte uppvärmning av utrymmet (Abel & Elmroth 2008). Därför är det inte optimalt som uppvärmningssystem. När ett ventilationssystem är i drift med någon form av värmeutbyte så skapas det alltid en temperaturskillnad mellan till- och frånluft och denna skillnad utgör förlusterna i systemet. Därför avgör temperaturskillnaden samt flödet i systemet hur stor förlusten blir.

### **3 Metod**

Arbetet är i grunden en fallstudie (Denscombe 2009) som inkluderar fältstudier, muntliga källor samt vetenskapliga artiklar och läroböcker. Ombord på fartyget fördes en dialog med ansvarig personal för att fånga upp deras kunskap, tankar och idéer. Det teoretiska arbetet har grundas på vetenskapliga artiklar samt litteraturstudier. Värmebalansberäkningen har avgränsats till fartygets inredning och personalutrymmen på de övre däck.

Projektet har i stort utrett hur Stena Danica använder den energi som köpts av Göteborgs Energi. Arbetet har byggts på en analys av fartygets tre olika ventilationssystem, vilka utrymmen dessa respektive berör, hur utrymmena värms upp och hur värmen behålls i klimatskalet. Genom beräkningar och mätningar har man fått fram hur energieffektivt fartyget är system för system. Funktionen som systemen har varierar beroende på årstiden och även vilket uppvärmningsbehov eller nedkylningsbehov klimatskalet har.

Vissa antaganden har gjorts baserat på hur en beräkning på en byggnad genomförs. Fartyget har delats upp i sektioner baserat på de tre ventilationssystemens arbetsområden. De tre sektionerna har analyserats genom att studera isoleringsmaterialet i skotten, durk och tak för att göra en transmissionsberäkning. Fartygets fönster är en viktig faktor för transmissionen då den under sommarhalvåret bidrar till att värma upp rummet genom att släppa in solstrålning och under vinterhalvåret föra bort värme. Fönstertjockleken, antal glas och arean används för att få fram ett transmissionstal för fönstertyorna.

#### **3.1 Beskrivning av fartyget**

Stena Danica är en Ropax-färja som är byggd år 1983 på varvet Chdu Nord et de la Méditerranée, Frankrike (Freidlitz 2015). Färjan består av 12 däck och har en längd av 154,9 meter och en bredd på 28,28 meter. Färjan kan transportera 550 bilar och 2274 passagerare och den går mellan Göteborg och Fredrikshamn två gånger om dagen. Ett längre stopp sker vid Masthuggskajen mellan klockan 02.10 - 09.10 och det är under denna tid som Stena Danica är ansluten till fjärrvärmenätet (Freidlitz 2015).

#### **3.2 Beskrivning av fastigheten**

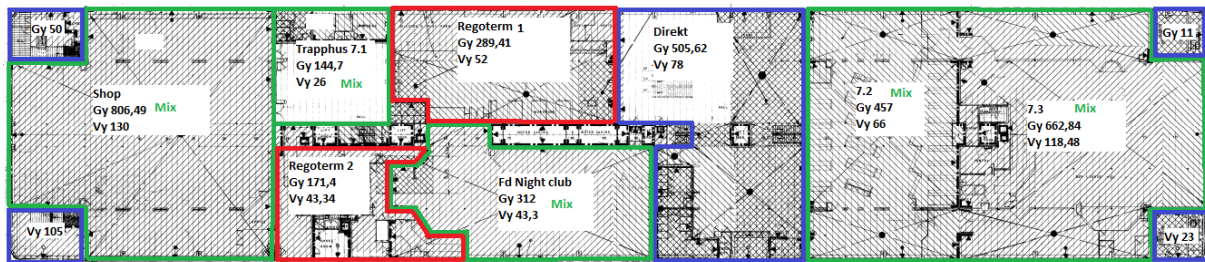
Fastigheten som Stena Danica är jämförd med är Gripen 11. Byggnaden står i Karlstad med ingångar från två gator, Herrgårdsgatan 20 och Norra Strandgatan 17. Gripen 11 har en area på 4300 m<sup>2</sup> varav den största delen består av ett gym på 2180 m<sup>2</sup>. Övrig yta upptas av kontor, affärslokaler och bostäder (Österbring, Eriksson & Trygg-Svensson 2010). Denna fastighet är en bra fastighet att jämföra med Stena Danica då dess innehåll liknar fartygets inredning. Gymmets öppna ytor kan jämföras med fartygets öppna passagerarytor och kontor samt bostäder kan ses som fartygets hytter samt personalutrymmen.

#### **3.3 Uppdelning av fartygets utrymmen**

Fartyget har som tidigare nämnts tre olika ventilationssystem. För att underlätta utförandet av värmebalansberäkningarna delades fartygets utrymmen upp utifrån vilket ventilationssystem

som var aktivt i utrymmet. Röd markering representerar FTX-system 1, grön markering FTX-system 2 och blå markering FTX-system 3 (För att se resterande däck se bilaga 4).

Exempel på hur information om FTX-system 2:s (grön) utrymmen har strukturerats upp kan ses i figur 7. Utrymmenas durkarea (Da) är uppmätt och listat samt skottets yta (Sa). Den redovisade skottytan i figur 6 är bara den yta som skyddar mot utomhusmiljön. Det värmeutbytet som sker genom skotten och dörrposter mellan de olika FTX-systemen har det inte tagits hänsyn till i värmebalansberäkningarna. När en yta har kartlagts så kan dess värmetilskott och värmeförluster beräknas.



Figur 6. Däck 7: Uppdelning av FTX-systemen mellan olika lokaler.

### 3.3.1 Ventilation

Som tidigare nämnt så har man ombord tre olika sorters ventilationssystem som verkar på inredningens olika utrymmen. De tre olika systemen fungera på olika sätt och kräver därför olika beräkningar. Luftflödena som går igenom de tre olika systemen hämtas från fartygets systemritningar.

#### *FTX-system 1*

Detta system verkar i hytter och miljöer där kraven på luftkvalitén är högre och där man också vill ha en värmeåtervinning från frånluften till tilluften. Eftersom systemet berör utrymmen där personer spenderar mycket tid är luftkvalitén och lufttemperaturen av stor vikt, vilket medför att systemet alltid är igång och jobbar på en hög prestanda.

#### *FTX-system 2*

Systemet berör till största del allmänna passagerarutrymmen. På dessa ytor ställs det inte så höga krav på luftkvalitén utan mest på att utrymmena håller en behaglig temperatur. Eftersom att dessa ytor är till största del tomma på folk under natten och morgonen drar man ned på fläktarnas effekt till 35 % för att minska luftomsättningen under dessa timmar (Freidnitz 2015). Mängden inblandad frånluft till tilluften varierar även beroende på den aktuella utomhustemperaturen. Mängden inblandad luft varierar mellan 0-50% av frånluften.

#### *FTX-system 3*

Detta system fördelas ut i trappuppgångar och vissa allmänna utrymmen, vilket gör det möjligt att dra ned på fläktarnas effekt till 35 % för att minska luftomsättningen när fartyget ligger till kaj och när folk inte är ombord. Inblandning av frånluft används i detta system för att återvinna energin i frånluften.

### 3.4 Värmeförluster

Nedan beskrivs hur värmeförlusterna ombord beräknades.

#### 3.4.1 Transmission

Isoleringsmaterialen som finns ombord i skott och durk varierar stort beroende på vilka egenskaper utrymmet kräver. Många av ytorna består till stor del av isoleringsmaterial med syfte att behålla värmen ombord medan vissa ytor även består av brandisolering. Då ingen relevant data för isoleringsmaterialens egenskaper kunnat påträffas utan enbart deras tjocklek och area har arbetet begränsats. I samråd med superintendent Ingemar Sörensson har istället isoleringsmaterialet ersatts med ett annat material RockWool FlexiBatts (RockWool AB 2015) samt att detta isoleringsmaterials tjocklek har minskats med 5 millimeter från den ursprungliga måtten från ritningarna. Detta för att kompensera för att det gemensamma materialet tros ha bättre egenskaper då detta är av ett modernare slag (Sörensson 2015).

Vidare studerades ritningarna för att ta fram den totala fönsterarean för respektive däck och FTX-system. Värmegenomgångskoefficienten för fönster har sedan fåtts från boken *Tillämpad Byggnadsfysik* (Petersson 2009).

U-värde, Däck 7, FTX-system 2, 7.3						
Yta	Area (m <sup>2</sup> )	Lamda (W/mK)	Tjocklek (m)	R-värdea (m <sup>2</sup> K/W)	U-värde (W/m <sup>2</sup> K)	Aria*U-värde (W/K)
Tak	662,8	0,0	0	0	0	
Skott, FlexiBatts	87,4	0,0	0,10	2,6	0	
Skott, stål	87,4	75,0	0,01	0,0	0,37	31,9
Golv, FlexiBatts	662,8	0,0	0,07	1,9	0	
Golv, stål	662,8	75,0	0,01	0,0	0,48	321,4
Fönster	48,0				3,3	158,4
					<b>TOT:</b>	<b>511,8</b>

**Figur 7. Transmissionsberäkningar däck 7, FTX-system 2, 7.3.**

I figur 7 visas ett exempel på hur beräkningar gjorts på transmissionsförluster för ytorna och materialet som skyddar däck 7, FTX-system 2, 7.3 från utomhusmiljön. För durk och skott som består av flera olika material beräknas ett värmegenomgångstal (U-värde) fram. U-värdet är ett tal som säger hur många watt som transporteras genom skottet per kvadratmeter och grad kelvin. Ett lågt U-värde innebär bra isoleringsegenskaper. I figur 7 ser man att skottet och durken består av FlexiBatts och stål och deras gemensamma U-värde är 0,37 och 0,48 för skottets respektive durkens. I sista kolumnen redovisas den förlorade värmeenergin i watt per kelvin. Detta tal multipliceras med skillnaden mellan inomhus- och utomhustemperaturen för den aktuella månaden för att få transmissionsförlusten för det specifika området.

### **3.4.2 Luftläckage**

Ombord så finns det ett antal dörrar på de övre däck som leder ut på promenaddäck. Då dessa oftast används av passagerare och öppnas sällan när fartyget inte är i trafik så antas dessa läckage vara minimala. Även andra luftläckage som fås av vädring anses vara obefintliga eftersom att fönstren är fasta och inte går att öppna. Läckage som sker genom skotten har också antagits små efter som att fartyget ska klara av alla sorters väder utan att släppa in vind och vatten, därför har luftläckaget satts till 0, 1 l/sm<sup>2</sup>.

### **3.4.3 Temperatur**

Utomhustemperaturen då Stena Danica ligger till kaj och är ansluten till fjärrvärmenätet anses vara lägre än medeltemperaturen och därför räknades denna fram med hjälp av ett medelvärde mellan månadens medeltemperatur och lägsta medeltemperatur (Sveriges metrologiska och hydrologiska institut C 2009) (Sveriges metrologiska och hydrologiska institut D-O 2014). Detta görs för att fartyget ligger där delvis under dygnets kallaste timmar. Därför kommer månadens medeltemperatur vara för varm och månadens lägsta medeltemperatur vara för kall. Därför gjordes en korrigering av dessa tal.

## **3.5 Värmetillskott**

Förutom den värme som tillkommer via fjärrvärmenätet och fartygets ångpannor så finns det indirekta värmetillskott som höjer temperaturen ombord.

### **3.5.1 Solinstrålning**

För att få ut värden på solinstrålningens påverkan på fartygets värmebalans sorterades fönstren upp efter vilket väderstreck de är riktade mot (Göteborgs Stad 2014). För att få ut den energin som solinstrålningen innehåller används tabeller som redovisar solens energiinnehåll under årets månader och dygnets klockslag beroende på solens infallsvinkel (Brown & Isfält, 1969).

Den varierande molnigheten under en månad har tagits med i beräkningarna genom att beräkna den procentuella fördelningen mellan klara, halvklara och mulna dagar under årets månader. Beroende på vilken molnighet det är så multipliceras solinstrålningens effekt med en molnighetsfaktor för att få fram den egentliga energin som strålar in genom fönstren (Petersson 2009). Eftersom att Stena Danica inte ligger till kaj alla dygnets soltimmar har bara de timmar som fartyget ligger till kaj räknats med. Hänsyn till omkringliggande byggnaders skuggning av fönstren har inte tagits.

### **3.5.2 Personer**

Besättningen ombord består av 100 personer. Under nattetid då fjärrvärmenätet är anslutet så kan det antas att större delen av besättningen sover eller ägnar sig åt lugna aktiviteter. Då åldern och aktiviteten för personalen varierar har vi satt värmeavgivningen till 80 Watt per person och timme.

### **3.5.3 Elförbrukare**

Hushållselen som förbrukas ombord har baserats på Boverkets värden för bostäder vilka är 2200 kWh per bostadslägenhet och år med ett tillägg på 22 kWh per kvadratmeter uppvärmd golvarea och år (Boverket 2003). Av hushållselen kan 80 % räknas som bidrag till byggnadens uppvärmning. Vid beräkningen så sattes antalet bostäder ombord till 50.

### **3.5.4 Tappvarmvatten**

Fartyget har ett stort behov av varmvatten för både personal och passagerare. Under tiden som fartyget är anslutet till fjärrvärmenätet så finns inga passagerare ombord och endast energibehovet för ombordpersonal beräknades. Fartygets hytter och totala durkarea användes vid beräkningarna av värmestillskottet av varmvattnet. Även här har Boverkets värden för energibehovet för tappvarmvatten använts som riktvärden ombord och dessa är 1800 kWh per bostadslägenhet och år med ett tillägg på 18 kWh per kvadratmeter uppvärmd golvarea (Boverket 2003). 20 % av energibehovet för tappvarmvatten kan tillgodoräknas för täckande av byggnadens värmeenergiebehov. Energiebehovet för tappvarmvatten har satts till förbrukningen för 50 bostäder på fartyget.

## **3.6 Jämförelse**

Efter att alla värmeförluster och värmestillskott beräknats kommer de att adderas samman och värmebalansstalet fås. Genom att dividera den totala energiförlusten med den totala arean fås ett lätt överskådligt tal som kan jämföras med andra byggnaders värmebalansstal. I detta projekt har värmebalansen jämförts med värmebalansen för byggnaden Gripen 11. Dessa siffror och värmebalansberäkning har hämtats från ett examensarbete vid Karlstads Universitet (Österbring, Eriksson & Trygg-Svensson 2010). En stor skillnad mellan Stena Danica och Gripen 11 är att Stena Danica använder sig av ventilationen för att täcka upp fartygets värmebehov medan Gripen 11 använder sig av vatten som värmebärande medium.

## **3.7 Redovisning av resultat**

För Stena Danica så har värmebalansberäkningarna gjorts för de timmar som fartyget ligger till kaj (02.10-09.10, 7 timmar). För att kunna jämföra Stena Danicas resultat med Gripen 11 har beräkningarna multiplicerats med 24/7, detta då beräkningar för Gripen 11 är angivna för 24 timmar. Resultaten är också angivna i kWh/m<sup>2</sup> för att kunna jämföra resultaten oberoende av skillnader i area. Antalet kvadratmeter avser durkarean på Stena Danica och för Gripen 11 avser detta golvarean, energitillförseln avser kilowattimmar per år.



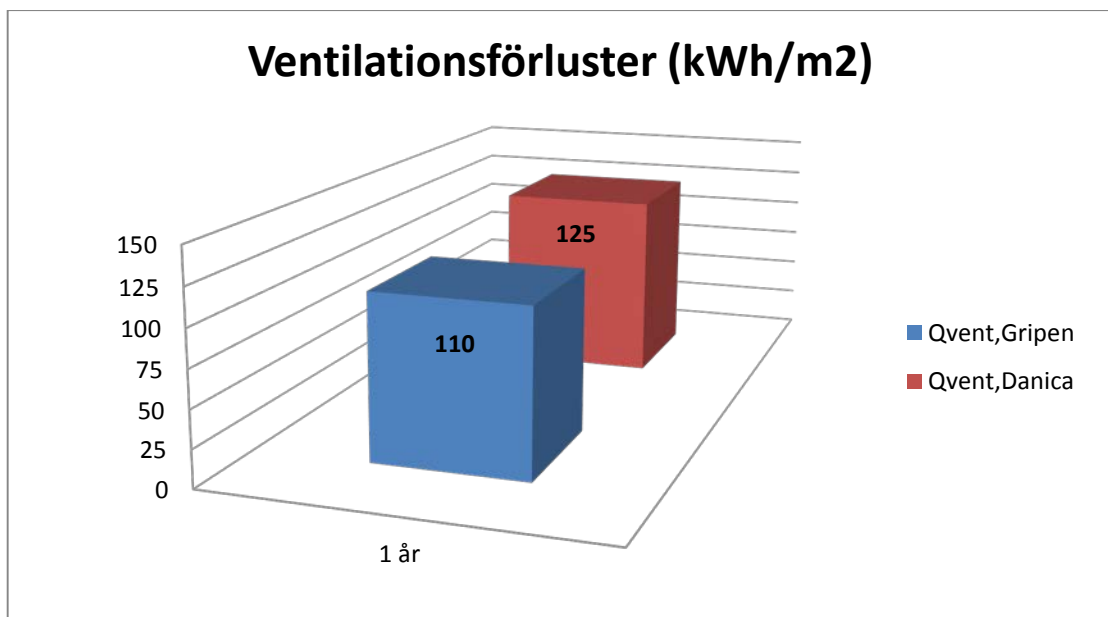
## 4 Resultat

Nedan presenteras resultatet för samtliga beräkningar och jämförelser med Gripen 11.

### 4.1 Värmeförluster

#### 4.1.1 Värmeförluster via ventilation

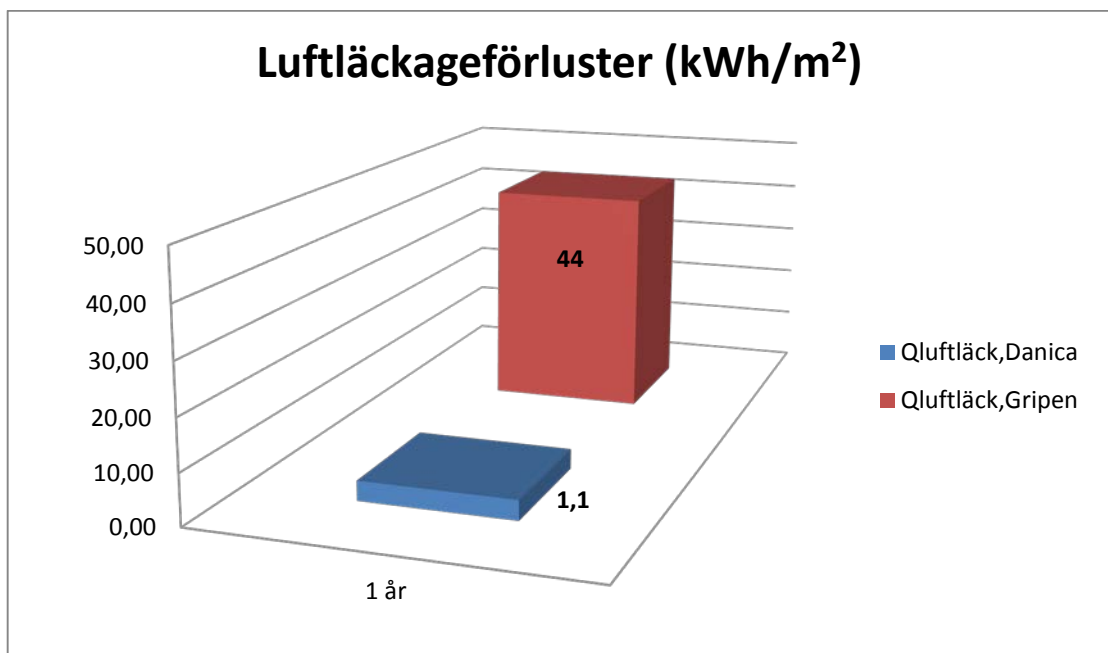
Resultatet i figur 8 visar ventilationsförlusterna för Gripen 11 och Stena Danica.



Figur 8. Ventilationsförluster i jämförelse mellan Gripen 11 och Stena Danica.

#### 4.1.2 Värmeförluster via luftläckage

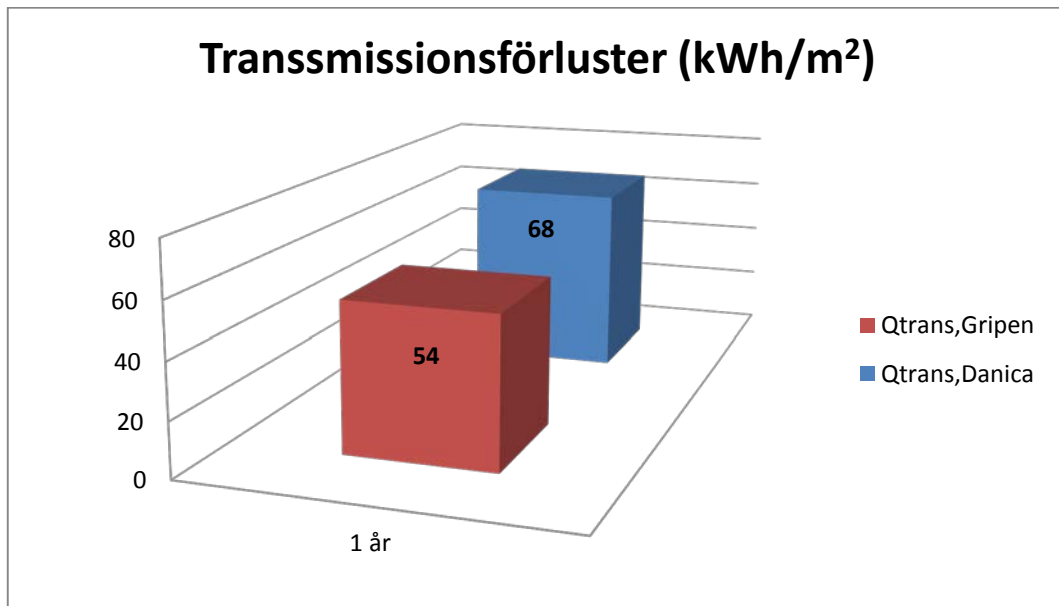
Figur 9 visar skillnaden i luftläckage mellan Gripen 11 och Stena Danica.



Figur 9. Luftläckage i jämförelse mellan Gripen 11 och Stena Danica.

### 4.1.3 Värmeförluster via transmission

Figur 10 visar skillnaden i transmissionsförluster för de två klimatskalen.

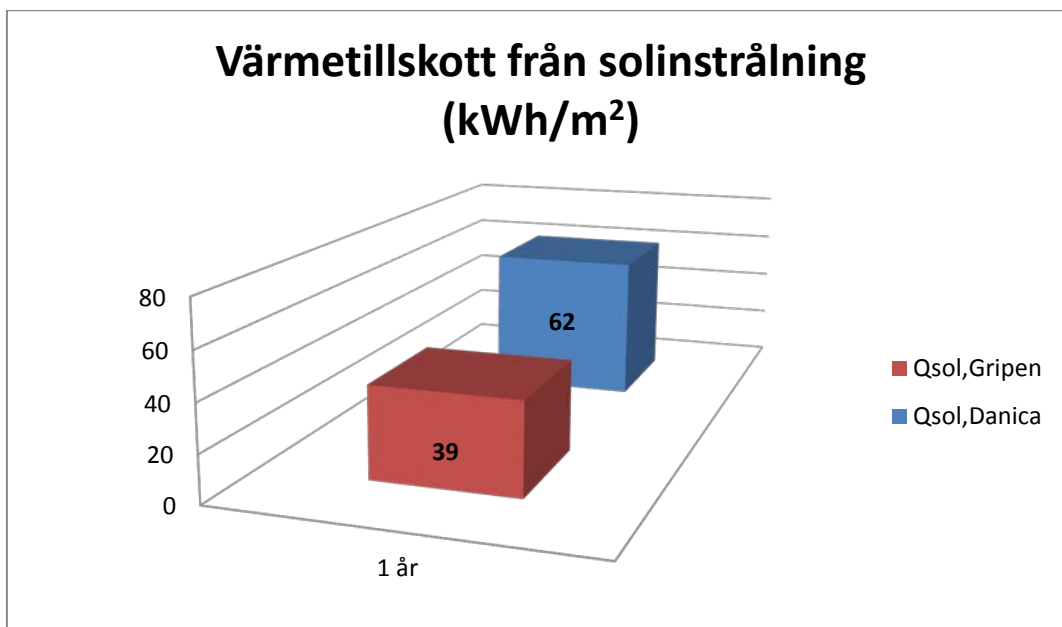


Figur 10. Transmissionsförluster i jämförelse mellan Gripen 11 och Stena Danica.

## 4.2 Värmetillskott

### 4.2.1 Värmetillskott från solinstrålning

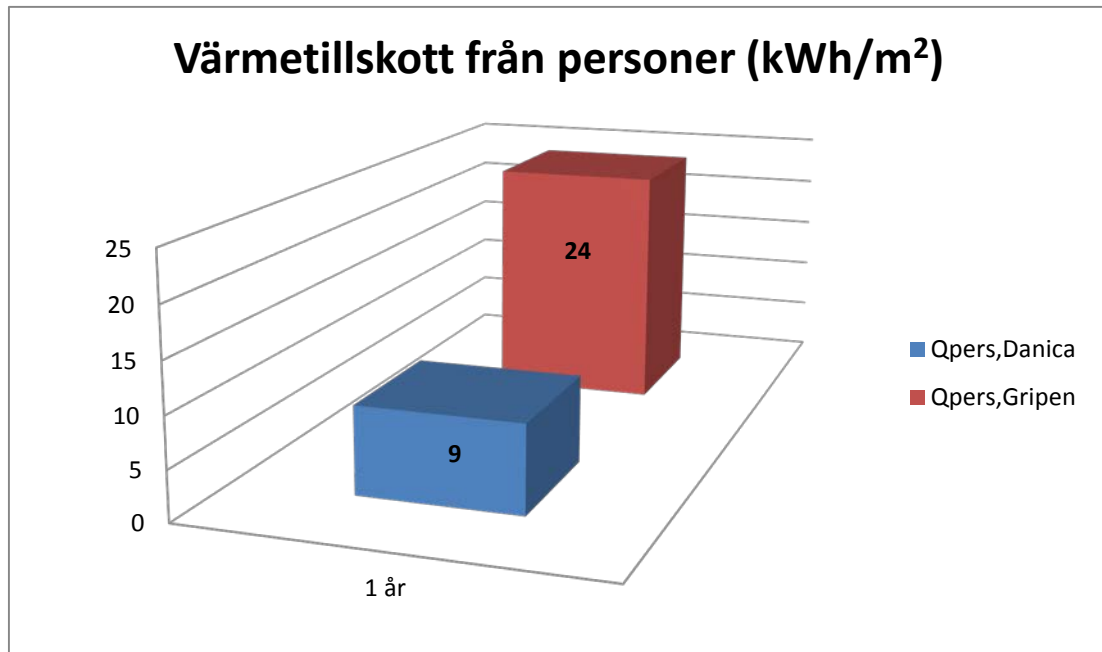
I figur 11 visas skillnaden i energin som tillförs till klimatskalen via solinstrålning.



Figur 11. Värmetillskott genom solinstrålning i jämförelse mellan Gripen 11 och Stena Danica.

#### 4.2.2 Värmetillskott från människor

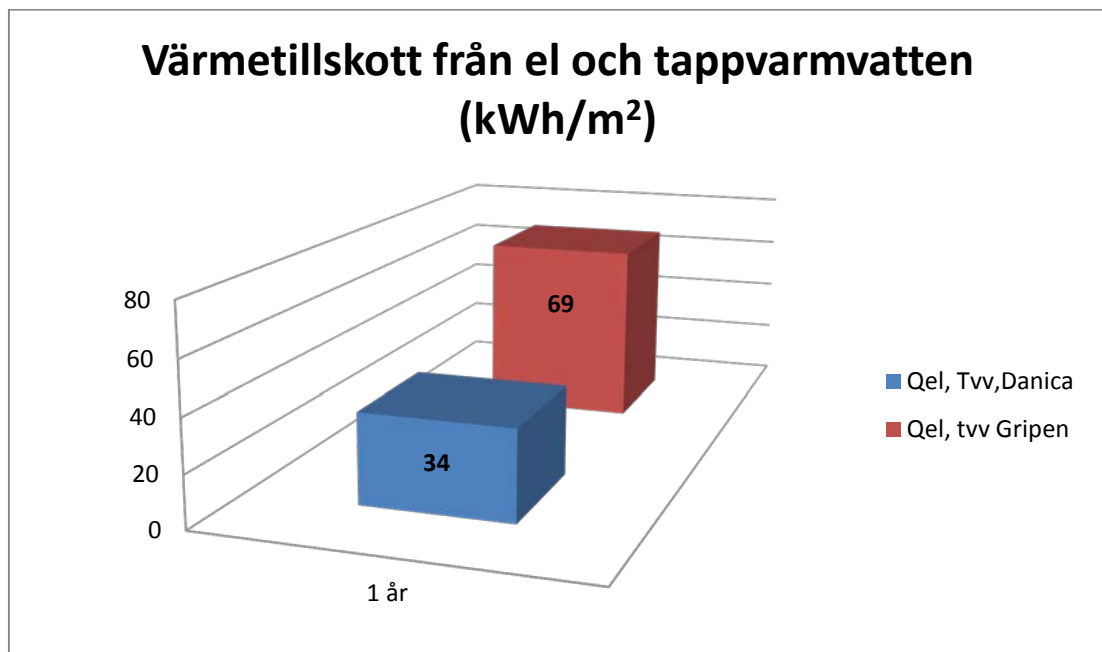
I figur 12 visas skillnaden i värmetillskott från människor i klimatskalen.



Figur 12. Värmetillskott genom personer i jämförelse mellan Gripen 11 och Stena Danica.

#### 4.2.3 Värmetillskott från tappvarmvatten och elektriska förbrukare

I figur 13 visas skillnaden i värmetillskott från tappvarmvatten och elektriska förbrukare för det två klimatskalen.

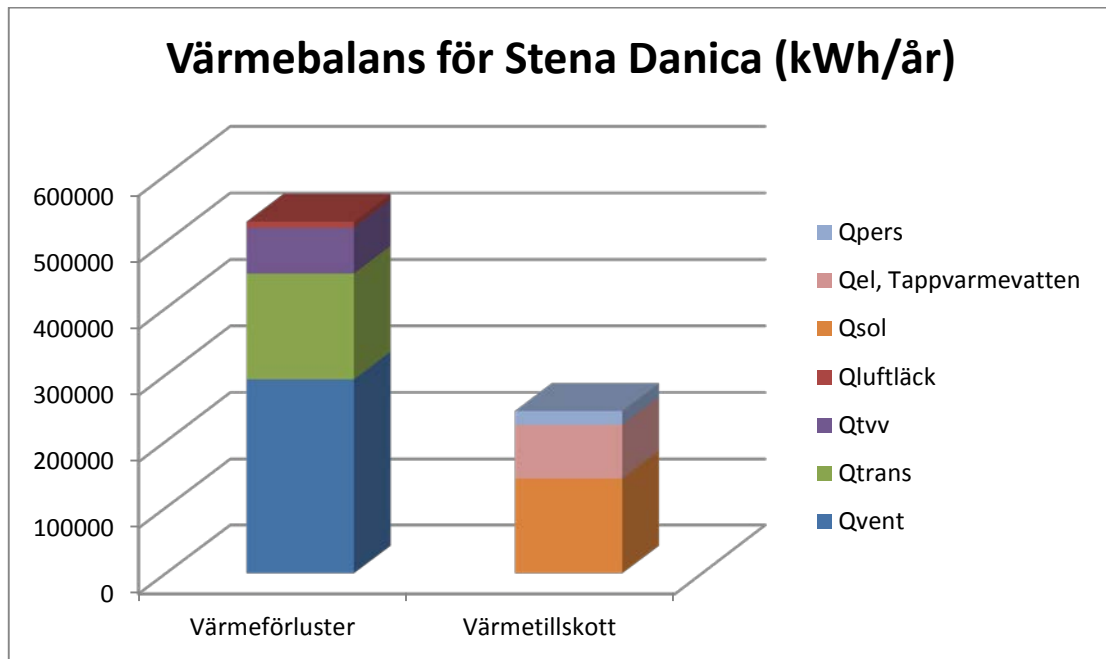


Figur 13. Värmetillskott genom el och tappvarmvatten i jämförelse mellan Gripen 11 och Stena Danica.

### 4.3 Värmebalans

Då fartygets samtliga värmeförbrukare samt värmetilskott jämförs så får vi ett slutgiltigt resultat i form av en värmebalans som kan avläsas i figur 14. Resultatet visar att de största förlusterna orsakas av ventilationen samt transmissionen. Det största värmetilskottet kommer från solinstrålningen. Värmebehovet för Stena Danica blir 35,5 kWh/m<sup>2</sup>.

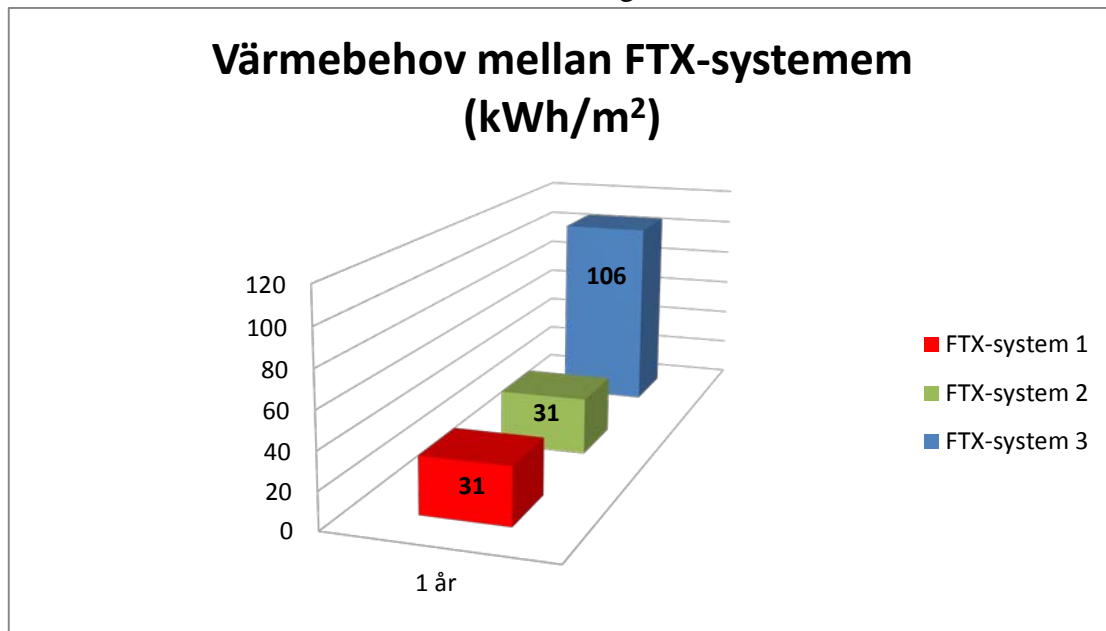
Värmebalansberäkningen är baserad på de 7 timmar per dygn som fartyget ligger till kaj. För en utförlig tabell av värmebalansberäkningarna se bilaga 3.



Figur 14. Presentation av Stena Danicas totala värmeförbrukare samt värmetilskott.

#### 4.4 Värmebehov

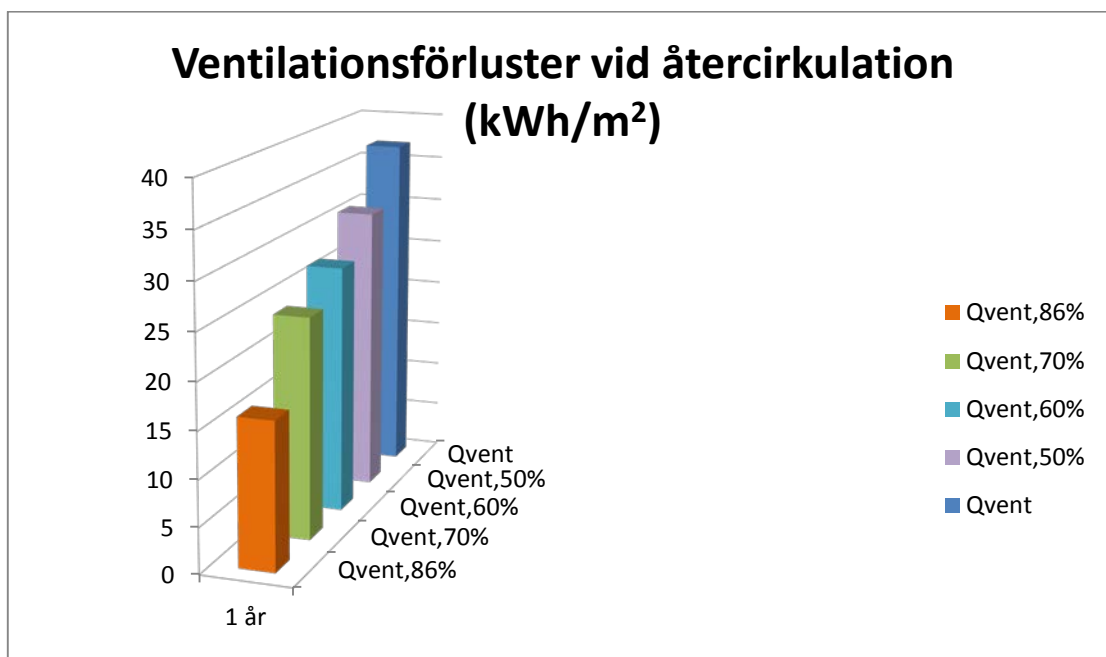
Här presenteras värmebehovet uppdelat mellan de tre olika ventilationsområdena ombord på Stena Danica, figur 15.



Figur 15. Presentation av värmebehovet för Stena Danicas tre ventilationssystem.

#### 4.5 Energieffektivitet

I figur 16 presenteras ventilationsförluster vid olika procenttal på återcirkulationen. Den största tillåtna återcirkulationen är 86 % för att fortfarande bibehålla en luftomsättning på 0.35 l/sm<sup>2</sup> utomhusluft vilket ger en minskad energiförbrukning på 56 %.



Figur 16. Energibesparing vid reglering av återcirkulationen för FTX-system 1-2.

## 5 Diskussion

I detta kapitel så diskuteras resultatet, för att komma fram till vad resultaten egentligen säger samt hur studien skulle kunnat göras annorlunda. Inledningsvis så är det viktigt att nämna att detta arbete har gjorts med en teoretisk bakgrund som är baserad på fastigheter.

### 5.1 Jämförelse med fastighet

En av de största skillnaderna mellan Gripen 11 och Stena Danica är valet av hur man värmer upp lokalerna. Att värma lokalerna med ventilationssystemet gör att man får större förluster än om man väljer att använda vattenburen värme vilket är fallet i Gripen 11. Förlusterna blir större för Stena Danica då man inte kan återvinna all värme i frånluften, vilket blir till rena värmeförluster. Värmebehovet för Gripen 11 förses med vattenburen värme vilket har en högre verkningsgrad än Stena Danicas ventilationssystem. Det medför att det blir en skillnad i hur energieffektiva de två byggnaderna är. Detta gör att Stena Danica behöver tillföra mer värmeenergi än Gripen 11.

Att jämföra resultaten rakt av kan också vara missvisande då resultaten för Gripen 11 är för hela dygnet medan värmebalansberäkningen för Stena Danica enbart är för 7 timmar under natten och morgonen. Resultatet kan variera då timmarna för fastigheten och fartyget inte har samma förutsättningar. Detta kommer leda till att resultatet inte blir helt exakt.

#### 5.1.1 Ventilation

Ventilationssystemet ombord på Stena Danica har mycket höga luftflöden vilket medför att det kräver stora mängder energi för att värma luften. För fastigheter är detta också ofta en källa till förluster då det ökade luftflödet leder bort värme. Som resultatet visar så är värmebehovet för ventilationssystemet på Stena Danica endast lite högre än för Gripen 11. Resultaten är snarlika trots fartygets och byggnadens olikheter i system och geografiska position. Gripen 11 har en lägre temperatur på sitt ventilationssystem, däremot så har Stena Danica en högre luftomsättning och en högre temperatur på sitt system. Något som borde leda till en högre energiförbrukning, men Stena Danica återcirkulerar mycket av sin varma luft vilket ger besparingar och ett effektivare system. Detta innebär att trots att Stena Danica har en högre temperatur och en högre omsättning så blir energibehoven väldigt lika.

Luftomsättningen ligger väldigt högt för alla ventilationssystem ombord på Stena Danica (se bilaga 2) jämfört med lägsta tillåtna luftomsättning för en villa som är  $0,35 \text{ l/m}^2$ . Varför Stena Danica väljer att ha en så stor luftomsättning beror antagligen på att luften värmer lokalerna. Vilket innebär att de måste hela tiden fylla på med ny varm luft för att klara av att hålla inomhustemperaturen i fartyget.

Återcirkulationen i Stena Danicas ventilationssystem kan ökas för att spara energi för fartyget. Detta medför att luftkvalitén blir sämre men energibesparingarna kan bli stora. Optimalt är att hitta en bra kompromiss mellan återcirkulation och luftens kvalitet. Här skulle små förändringar i hur man väljer att ställa in ventilationssystemet på nätterna kunna leda till stor energibesparing. Eftersom det finns två ventilationssystem med återcirkulering av frånluften,

skulle dessa system kunna återcirkulera en större del av frånluften när ingen vistas i lokalerna, vilket skulle leda till att förlusterna för ventilationssystem 2 och 3 skulle minska mycket. Om man låter fläktarna gå på 35 % effekt och även sätter återcirkuleringen på 86 % får man ett uteluftsflöde på över 0,35 l/sm<sup>2</sup>, vilket är riktlinjer för lägsta uteluftsflödet för lokaler (Petersson 2009). Detta skulle leda till att man sänker energiförbrukningen för hela ventilationssystemet från 37 kWh/m<sup>2</sup> till 16 kWh/m<sup>2</sup> per år vilket är en minskning på 56 %. I figur 16 visas skillnaden i energiförbrukning mellan att köra ventilationssystemet 2 och 3 på normal återcirkulation jämfört med att reglera återcirkulationen.

Stena Danica skulle också kunna lagra upp värme i inredningen genom att höja temperaturen någon grad när fartyget närmar sig kaj, det vill säga lagra upp värmen ombord. När passagerarna har lämnat fartyget så kan temperaturen vara något högre än vanligt, detta gör att när fjärrvärmens kopplas in så behöver inte systemet gå på lika hög effekt för att upprätthålla den normala temperaturen, vilket kommer minska energiförbrukningen för fartyget. Det finns dock nackdelar med denna lösning. Det kan upplevas som obekvämt för passagerarna att vistas i den högre inredningstemperaturen. Temperaturhöjningen kommer att ske med spillvärmerna från huvudmaskinerna vilket kan betraktas som gratis värme. Sedan kopplas avgaspannan ur när huvudmaskinerna går på en låg last då fartyget närmar sig Masthuggskajen och oljepanna kopplas in, vilket skulle innebära att man höjer inredningstemperaturen med hjälp av oljepannan istället vilket skulle få en negativ effekt på energieffektiviteten. Enligt de temperaturmätningar som genomförts är temperaturen redan högre än den rekommenderade inomhustemperaturen. Detta skulle kunna ses som att fartyget i dagsläget redan lagrar upp värme i lokalerna under dess gång men detta förutsätter att det låter temperaturen sjunka under tiden de ligger till kaj.

En rekommenderad inomhustemperatur ligger på 20-21°C (Boverket, 2003). Detta innebär att Stena Danica ligger lite högt med sin inomhustemperatur på 21,8°C. Mätningarna på inomhustemperaturen har dock skett när Stena Danica har varit i trafik vilket innebär att det tillkommer en hel del värmestillskott från passagerare och elektronik och mycket annat som inte är ombord eller påslaget i hamn. Detta skulle kunna innebära att klimatet är behagligt och inom rekommendationen när fartyget ligger till kaj. Är temperaturen för hög även nattetid så kan man sänka temperaturen på ventilationssystemen FTX – system 2 och/eller FTX - system 3 när Stena Danica ligger till kaj.

Som resultatet visar i figur 15 så har FTX-system 3 ett mycket högre värmebehov än övriga två system. Detta beror till stor del på grund av att systemet har ett högre luftflöde på en mindre yta och saknar en regoterm, detta ger en stor luftomsättning och ökade förluster. Genom att sänka temperaturen på system 2 och 3 så minskas energiförbrukningen och samtidigt så kan temperaturen i utrymmet minska. Temperaturen är som tidigare nämnt lite hög för utrymmet (21,8 °C), så en temperatursänkning är möjlig utan att få en negativ inverkan på rummets miljö. Luftflödena för FTX-system 3 är högre än för övriga system, och eftersom större delen av fartygets inredning består av öppna ytor så kan det antas att systemens tilluft blandas i utrymmena. Detta kan utnyttjas då temperaturen för det system med lägst verkningsgrad kan sänkas, i detta fall FTX-system 3. Temperaturen i inredningen

kommer troligen fortfarande att hålla 20-21 °C tack vare luftutbytet mellan lokalerna men uppvärmningen blir mer effektiv.

### **5.1.2 Luftläckage**

Som resultatet påvisar så har Stena Danica ett mycket lågt luftläckage i jämförelse med Gripen 11. Det låga luftläckaget beror till stor del på att fartygets klimatskal har betraktats som mycket tätt. Detta för att Stena Danica är som de flesta fartyg konstruerat för att klara de tuffa väderförhållandena som kan råda till havs och detta innebär även att läckaget ut från fartyget blir väldigt lågt.

### **5.1.3 Transmission**

Eftersom temperaturen utanför klimatskalet är under större delen av året lägre än innanför klimatskalet så kommer det skapas en förlust i form av transmission. Som resultatet visar så blev transmissionsförlusterna lite högre för Stena Danica då man räknar med hela dygnet för fartyget. Durkens yta på Stena Danica har i beräkningarna antagits vara utomhustemperatur, något som inte är helt korrekt. Under däck 7 så finns det bildäck som har skott och durk som skyddar mot utomhusklimatet, värme strålar från omslutande däck, samt från avgaspannor och avgasledarna som passerar genom mittsektionen på utrymmet. Detta gör att man kan anta att bildäcket har en högre temperatur än utomhusklimatet, en temperaturskillnad som kan skilja sig flera grader. Då större delen av durken på däck 7 är det tak vi har på bildäcket så är det en väldigt stor beräknad kontaktyta som har en felaktig temperatur. Utomhustemperaturen har antagits för utrymmet under däck 7 då en normalårskorrigerings för bildäcket inte finns. Hade data för den korrekta temperaturen för kontaktytan funnits så hade detta påvisat ett minskat transmissionstal för Stena Danica.

### **5.1.4 Solinstrålning**

Solinstrålningen påverkar värmebalansen då den tillför värme till klimatskalet. Värmetillförseln påverkas av antalet fönster, deras storlek, typ av fönster samt antalet soltimmar som ytan blir utsatt för. Som resultatet påvisar så är värmetillskottet från solinstrålning lite högre för Stena Danica, trots att Gripen 11 utnyttjar fler av dygnets soltimmar. Resultatet kan ifrågasättas då fartygets beräknade timmar är dem med minst solinstrålning och till stor del nattetid, dock vara korrekt då fartyget har fler fönster än vad Gripen 11 har och Gripen 11 har en stor del av sina fönster i nordlig riktning samt att de har 3-glasfönster på alla fönster vilket släpper in mindre värmestrålning i byggnaden.

Detta kan vara intressant i byggnadsfasen av en fastighet att placera fönster i genomtänkta väderstreck för att ta tillvara på värmeenergi eller undvika för mycket värmeenergi. Men detta är svårt att applicera på fartyg som ständigt förflyttar sig.

### **5.1.5 Värmetillskott från människor**

Värmetillskottet från människor kommer som förväntat att skilja sig stort när man jämför Gripen 11 och Stena Danica. Som tidigare nämnt så har fartyget en besättning på 100 personer som är ombord under nattetid. På Gripen 11 så vistas fler människor i lokalerna och dem är även mer aktiva. Resultatet påvisar att Gripen 11 har ett högre värmetillskott från människor än vad Stena Danica har.



### **5.1.6 El och tappvarmvatten**

Varmvattnet som cirkulerar i ledningar samt all elektronik som är på bidrar till ett värmetillskott i klimatskalet. Fastighetens värmetillskott är som resultatet påvisar, mycket högre än för Stena Danica. Gripen 11 består dels av kontorslokaler men även av ett väldigt stort gym, det kan då antas att byggnaden med sina träningslokaler har en större varmvattenförbrukning än vad Stena Danica har. De beräkningarna som har gjorts för Stena Danica är för nattetid och morgonen då fartyget inte har några passagerare och en låg aktivitet. Större delen av personalen sover och det finns endast 100 personer ombord, resultatet är därför normalt.

## **5.2 Metoddiskussion**

Valet av metod grundas sig först och främst på beräkningar för fastigheter vilket påverkar metodens validitet. För vissa aspekter är inte metoden optimal då vi applicerar beräkningarna som är utvecklade för fastighet på ett fartyg. För arbetet har det medfört att reliabiliteten av beräkningarna har försämrats. Till exempel så ligger fartyget aldrig i exakt samma position som dagen innan, vissa faktorer som är konstanta vid beräkningen av en fastighet varierar när man applicerar dem på ett fartyg. Dygnet medeltemperatur går inte att använda då fartyget ligger vid Masthuggskajen under dygnets kallaste timmar. Projektets avgränsning har lett till att värdena behövt multiplicerats med 24/7 för att kunna jämföra med Gripen 11. Detta har medfört att beräkningarna inte representerar alla variationer som sker under ett dygn. Utan bara timmarna mellan klockan 02.10 – 09.10.

För att få en bättre validitet i jämförelse mellan Stena Danica och Gripen 11 skulle man tagit fram värmebalansen som råder mellan klockan 02.10 – 09.10 för Gripen 11. Man skulle även kunnat välja en annan fastighet som är närmare belägen Masthuggskajen för att få en mer rättvis jämförelse.

## **5.3 Miljö och etik**

Ur en miljösynpunkt har författarnas resultat synliggjort svagheter och styrkor i Stena Danicas värmebalans. Denna kunskap har lett fram till några förslag på förändringar som kan genomföras ombord på Stena Danica för att minska hennes energiförbrukning för uppvärmningen ombord vilket är positivt i en miljösynpunkt.

Ur en etisk synvinkel är vissa av förslagen bättre än andra då vissa förslag kan innebära en sämre miljö för passagerare och personal ombord. Detta gör att förslagen måste utvecklas och testas fram i samråd med dem som befinner sig ombord för att bibehålla en godtagbar inomhusmiljö. Då Stena Danica nu använder sig av fjärrvärme som är billigare och miljövänligare än att använda sig av oljepannan skulle man kunna ställa högre krav på Stena Danica att förbättra sin luftkvalitet genom att minska återcirkulationen.

## 6 Slutsatser

Vid en första anblick på värmebalansen så är resultatet väldigt lika för Gripen 11 och Stena Danica. Men valet av uppvärmningssystem skiljer sig åt mellan de olika klimatskalen. Energiförbehovet för de två är väldigt lika, men resultatet har uppnåtts på olika sätt. Stena Danica har en högre luftomsättning och har en högre temperatur som ska uppnås via ventilationen, men tar bättre tillvara på den uppvärmda luften via återcirkulering. Slutresultatet blir ett energiförbehov som är väldigt likvärdigt mellan klimatskalen.

Hur ser effektiviteten ut kring användandet av den tillförda värmen ut och hur kan den förbättras samt vad kan man göra för att minska de eventuella förlusterna? De förslag som har lagts fram är något som kan prövas ombord för att göra fartyget mer energieffektivt. Den stora utmaningen är att hitta ett mellanläge där luftens kvalitet och energieffektivitet fungerar optimalt. Då gränsen överskrids så kommer inomhusklimatet att bli av en dålig kvalitet vilket kan leda till en sämre miljö för passagerare och personal.

Genom att använda avgaspannorna och höja inomhustemperaturen några grader innan fartyget lägger till gör att Stena Danica inte behöver använda lika mycket av den köpta värmen för att hålla en tillräckligt hög inomhustemperatur under natten. Ett problem kan vara att avgaspannorna inte kan köras när maskinerna ligger på en låg last, det vill säga när fartyget kör sakta. Detta innebär att värmen måste börja lagras innan fartyget börjar sänka farten. Om detta är möjligt att genomföra är något som måste testas ombord för att se hur inomhusmiljön blir för människorna ombord på fartyget.

Slutsatsen är att fartyget har en god värmebalans när resultatet jämförs med en fastighet. För att göra fartyget mer energieffektivt på ett enkelt och billigt sätt så är regleringar av ventilationssystemet den bästa metoden. Genom att ändra återcirkulationen i de tomma utrymmena och reglera inomhustemperaturen så kan energiåtgången minskas.

Avslutningsvis så har detta examensarbete öppnat upp möjligheten att genomföra en energiindexberäkning för Stena Danica vilket är något som genomförs på många fastigheter i Sverige. Detta arbete kan då verka som en grund för fortsatt arbete inom energieffektivitet för fartyg.

## Referenslista

1. Abel, E. och Elmroth, A. (2008) *Byggnaden som system*. 2., rev. uppl. Stockholm: Formas.
2. Boverket. (2003) *Termiska Beräkningar*. Upplaga 1. AB Danagårds Grafiska.
3. Brown, G. och Isfält, E. (1969) *Instrålning från sol och himmel i Sverige under klara dagar*. Stockholm: Statens institut för byggnadsforskning. (rapport: 19:1969).
4. Denscombe, M. (2009) *Forskningshandboken: För småskaliga forskningsprojekt inom samhällsvetenskaperna*. Lund: Studentlitteratur AB.
5. Freidlitz, B-Å. (1:e Maskinist, Stena-Line) muntlig källa, 6 april 2015.
6. Fredriksen, S och Werner, S. (1993) *Fjärrvärme*. Lund: Studentlitteratur.
7. Göteborgs Stad (2014) *Göteborg & skärgårdens officiella turistkarta* [karta]
8. International Maritime Organization. (2004) *SOLAS consolidated edition 2004*. London: International Maritime Organization.
9. Ovesen, M. (2014) *Stena Danica först i världen med fjärrvärme*, <http://www.sjofartstidningen.se/stena-danica-forst-varlden-med-fjarrvarme/> (2015-03-04)
10. Petersson, B-Å. (2009) *Tillämpad byggnadsfysik*. Lund: Studentlitteratur AB.
11. Rockwool AB (2015). *FlexiBatts*. <http://www.rockwool.se/produkter/u/2011.product/1732/byggisolering/flexibatts> (2015-05-10).
12. Sveriges metrologiska och hydrologiska institut A. (2009) *Hur beräknas normalvärden?*. <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/hur-beraknas-normalvarden-1.4087> (2015-05-04).
13. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut B. (2014) *Temperaturen lägst i gryningen*. <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/temperaturen-lagst-i-gryningen-1.3922> (2015-04-01).
14. Sveriges metrologiska och hydrologiska institut C. (2009) *Textfil med normalvärden för temperatur för perioden 1961-1990*. [http://data.smhi.se/met/climate/time\\_series/month\\_year/normal\\_1961\\_1990/SM\\_HI\\_month\\_year\\_normal\\_61\\_90\\_temperature\\_celsius.txt](http://data.smhi.se/met/climate/time_series/month_year/normal_1961_1990/SM_HI_month_year_normal_61_90_temperature_celsius.txt) (2015-04-21).
15. Sveriges metrologiska och hydrologiska institut D. (2014) *Normaldygnets mintemperaturs medelvärde i januari* <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/normaldygnets-minimitemperaturs-medelvarde-i-januari-1.4034> (2015-04-21).
16. Sveriges metrologiska och hydrologiska institut E. (2014) *Normaldygnets mintemperaturs medelvärde i februari* <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/normaldygnets-minimitemperaturs-medelvarde-i-februari-1.4036> (2015-04-21).
17. Sveriges metrologiska och hydrologiska institut F. (2014) *Normaldygnets mintemperaturs medelvärde i mars* <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/normaldygnets-minimitemperaturs-medelvarde-i-mars-1.4038> (2015-04-21).

18. Sveriges metrologiska och hydrologiska institut G. (2014) *Normaldygnets mintemperaturs medelvärde i april*  
<http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/normaldygnets-minimitemperaturs-medelvarde-i-april-1.4040> (2015-04-21).
19. Sveriges metrologiska och hydrologiska institut H. (2014) *Normaldygnets mintemperaturs medelvärde i maj*  
<http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/normaldygnets-minimitemperaturs-medelvarde-i-maj-1.4062> (2015-04-21).
20. Sveriges metrologiska och hydrologiska institut I. (2014) *Normaldygnets mintemperaturs medelvärde i juni*  
<http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/normaldygnets-minimitemperaturs-medelvarde-i-juni-1.4048> (2015-04-21).
21. Sveriges metrologiska och hydrologiska institut J. (2014) *Normaldygnets mintemperaturs medelvärde i juli*  
<http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/normaldygnets-minimitemperaturs-medelvarde-i-juli-1.4050> (2015-04-21).
22. Sveriges metrologiska och hydrologiska institut K. (2014) *Normaldygnets mintemperaturs medelvärde i augusti*  
<http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/normaldygnets-minimitemperaturs-medelvarde-i-augusti-1.4052> (2015-04-21).
23. Sveriges metrologiska och hydrologiska institut L. (2014) *Normaldygnets mintemperaturs medelvärde i september*  
<http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/normaldygnets-minimitemperaturs-medelvarde-i-september-1.4054> (2015-04-21).
24. Sveriges metrologiska och hydrologiska institut M. (2014) *Normaldygnets mintemperaturs medelvärde i oktober*  
<http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/normaldygnets-minimitemperaturs-medelvarde-i-oktober-1.4056> (2015-04-21).
25. Sveriges metrologiska och hydrologiska institut N. (2014) *Normaldygnets mintemperaturs medelvärde i november*  
<http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/normaldygnets-minimitemperaturs-medelvarde-i-november-1.4058> (2015-04-21).
26. Sveriges metrologiska och hydrologiska institut O. (2014) *Normaldygnets mintemperaturs medelvärde i december*  
<http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/normaldygnets-minimitemperaturs-medelvarde-i-december-1.4060> (2015-04-21).
27. Sörensson, I. (Superintendent, Stena-Line) muntlig källa, 20 februari 2015.
28. Wisell, T. och Nguyen, H. (2011) *Nulägesbeskrivning (år 2011) av luftkvaliteten i Göteborgs-området inför byggande av västlänken.*  
[http://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planobygg.nsf/vyFiler/V%C3%A4stl%C3%A4nken%20-%20j%C3%A4rnv%C3%A4gstunneln-Plan%20-%20samr%C3%A5d-Nul%C3%A4gesbeskrivning%20av%20luftkvalit%C3%A9n/\\$File/09NulagesbeskrivningAvLuftkvaliten.pdf?OpenElement](http://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planobygg.nsf/vyFiler/V%C3%A4stl%C3%A4nken%20-%20j%C3%A4rnv%C3%A4gstunneln-Plan%20-%20samr%C3%A5d-Nul%C3%A4gesbeskrivning%20av%20luftkvalit%C3%A9n/$File/09NulagesbeskrivningAvLuftkvaliten.pdf?OpenElement) (2015-03-20)

29. Österbring, M. och Eriksson, P. och Trygg-Svensson, S. (2010) *Energibesparing åt Klöver AB*. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:324078/FULLTEXT01.pdf> (2015-05-10).

## Bilaga 1. Formelsamling

### *Värmeväxlarens verkningsgrad*

$$\eta = (T_{\dot{a}} - T_{ute}) / (T_{inne} - T_{ute})$$

### *Temperatur efter värmeväxlare*

$$T_{vvx} = T_{ute} + \eta * (T_{inne} - T_{ute})$$

### *Värmebehov för ventilationen*

$$Q_v = T * V * O_{luft} * \left(\frac{cp}{3600}\right) * (T_{inne} - T_{efter\ vvx})$$

### *Återluftsgraden*

$$k = (V_{till} - V_{ute}) / V_{till}$$

### *Luftens entalpi*

$$h = cp * T$$

### *Temperatur efter återluftföringen*

$$T_{\dot{a}} = T_{ute} + (h_{från} - h_{ute})$$

### *Transmission*

Värmeförluster transmission:

$$Q_t = U * A * (T_{inne} - T_{ute})$$

### *U-värde*

$$U = 1/R_T$$

### *Total R värde*

$$R_t = R_{si} + \sum R_i + R_{se}$$

$$R_{si} = 0,13$$

$$R_{se} = 0,04$$

$$R_i = R_{i1} + R_{i2} + R_{i3} + R_{i4} + R_{i5} \dots$$

### *Luftläckage*

$$Q_{Luftläck} = \frac{\text{Luftläckage}}{1000} * A * \frac{cp}{3600} * T * (T_{inne} - T_{ute})$$

### *Elförbrukare*

$$Q_{el} = ((R_{el} * a) + (b_{el} + A) * 0,8)$$

### *Tappvarmvatten*

$$Q_{Tappvarmvatten} = ((R_{tvv} * a) + (b_{tvv} + A) * 0,2)$$

### **Personer**

$$Q_{\text{Pers}} = n * 80$$

### **Värmebalans**

$$Q_{\text{värmebalans}} = Q_t + Q_l + Q_v + Q_{\text{tvv}} - Q_{\text{tillskott}} - Q_{\text{sol}} - Q_{\text{vå}}$$

### **Beteckningar**

$Q_{\text{värmebalans}}$  = Energi behov vid normal och avsedd användning av fartyget.

$Q_{\text{trans}}$  = Värmeförluster på grund av transmission genom fartygets omslutande ytor.

$Q_{\text{luftläck}}$  = Värmeförluster på grund av luftläckage genom otätheter i klimatskärmen.

$Q_{\text{vent}}$  = Värmebehov för ventilation, räknad som uppvärmning av uteluft till innetemperatur.

$Q_{\text{tvv}}$  = Värmebehov för uppvärmning av tappvarmvatten.

$Q_{\text{vå}}$  = Värme som återvinns genom ventilationsvärmexlare.

$Q_{\text{tillskott}}$  = Värmetillskott som kan tillgodoräknas för att ersätta värmeförluster i fartyget från så kallade internlaster såsom värme från personer.

$Q_{\text{sol}}$  = Värmetillskott från solstrålning genom fönster som kan tillgodogöra.

$R$  = Materialets värmemotstånd

$\lambda$  = Lambdavärde, ju lägre siffra desto högre isoleringsvärde

$\eta$  = Verkningsgrad

$n$  = Antal personer

$T$  = Tiden (h)

$C_p$  = Volymetrisk värmekapacitet ( $J/m^3 * K$ )

$A$  = Area ( $m^2$ )

$T_{\text{inne}}$  = Temperaturen inomhus ( $^{\circ}C$ )

$T_{\text{ute}}$  = Temperaturen utomhus

$O_{\text{luft}}$  = Luftomsättningen/timme

$b_{\text{tvv}}$  = Tillägg per kvadratmeter (18 kWh)

$a$  = Antal byggnader

$R_{\text{tvv}}$  = Referensbyggnad (1800 kWh)

$R_{\text{el}}$  = Referensbyggnad (2200 kWh)

$b_{\text{el}}$  = Tillägg per kvadratmeter (22 kWh)

## Bilaga 2. Indata

Specifik värmekapacitet för luft.

Cp-luft (J/m <sup>3</sup> C)	Cp-luft(J/Kg*C)	q(Kg/m <sup>3</sup> )
1194,95	1005	1,19

U-Värden

	Lamda (W/mK)	U-värde (W/m <sup>2</sup> K)
Stål	75	
Stenull	0,037	
Fönster		3,3

Molnhetsfaktor.

Solinstrålningsstyrka beroende på moln	
	Procent genomsläpp
Klara dagar multipliceras med molnfaktorn	1
Halvklara dagar multipliceras med molnfaktorn	0,65
Mulna dagar multiplicera med molnfaktorn	0,25

Lägsta- och medeltemperatur för årets månader.

Lägsta- och medeltemperatur	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	nov	dec
Medeltemperatur per månad. (°C)	-4	-4	-2	1	6	11	12	12	10	6	1	-2
Medel lägsta temperatur på månad (°C)	-0,9	-0,9	2	6	11,6	15,5	16,6	16,2	12,8	9,1	4,4	1

Värden för tappvarmvatten.

Tappvarmvatten		
Vanlig bostad (kW/h)	Antal byggnader	Tillägg per m <sup>2</sup> (kW/m <sup>2</sup> )
1800	50	18

Värden för el.

EI		
Vanlig bostad (kW/h)	Antal byggnader	Tillägg per m <sup>2</sup> (kW/m <sup>2</sup> )
2200	50	22

Verkningsgraden för regotermen.

Regoterm	
Procentuell verkningsgrad (%)	65









### Data presentation för FTX-system 3.

FTX-system 3													
	Jan	Feb	Mars	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	TOT
Q <sub>vent</sub> (kWh/mån)	5417	5337	5755	5035	3960	2688	2437	2345	2861	3762	5267	4981	49845
Q <sub>luftläck</sub> (kWh/mån)	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
Q <sub>trans</sub> (kWh/mån)	1816	1640	1632	1326	973	619	562	576	754	1067	1382	1670	14018
Q <sub>tvv</sub> (kWh/mån)	352	318	352	341	352	341	352	352	341	352	341	352	4144
TOT värmeförluster (kWh/år)													68012
Q <sub>sol</sub> (kWh/mån)	10	190	827	1245	2171	2393	2070	1438	921	457	104	1	-11827
Q <sub>pers</sub> (kWh/mån)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q <sub>el</sub> , Tappvarmevatten (kWh/mån)	415	374	415	401	415	401	415	415	403	415	401	415	-4881
TOT värmestillskott (kWh/år)													-16707

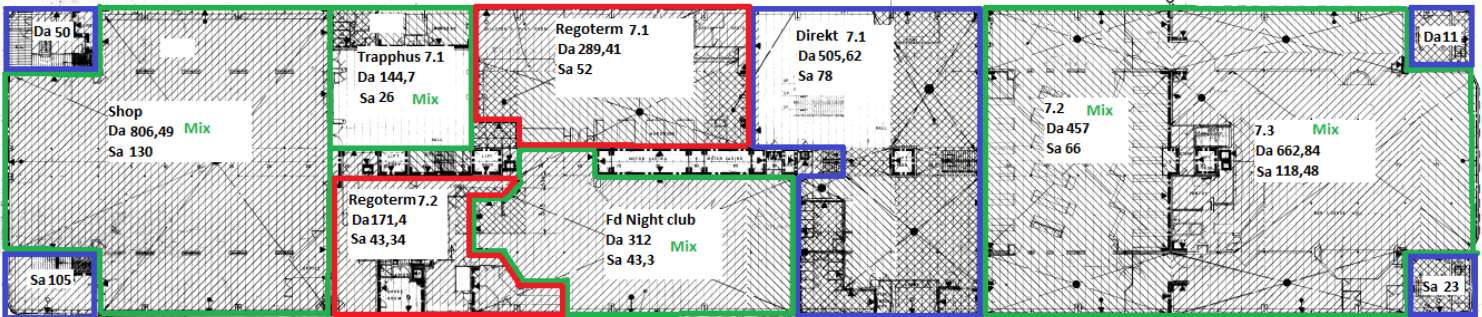
### Data presentation för samtliga FTX-system.

TOT													
	Jan	Feb	Mars	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	TOT
Q <sub>vent</sub> (kWh/mån)	34134	32582	34172	29177	22457	14955	13556	13302	16581	22337	28696	30921	292869
Q <sub>luftläck</sub> (kWh/mån)	1196	1080	1016	873	641	408	370	380	496	703	826	1100	9088
Q <sub>trans</sub> (kWh/mån)	20484	18501	18414	14959	10981	6989	6335	6504	8501	12037	15613	18836	158155
Q <sub>tvv</sub> (kWh/mån)	5801	5240	5801	5614	5801	5614	5801	5801	5614	5801	5614	5801	68301
TOT Värmeförluster (kWh/år)													528413
Q <sub>sol</sub> (kWh/mån)	101	1953	9000	13486	27401	31253	26949	17683	10233	4710	1017	13	-143800
Q <sub>pers</sub> (kWh/mån)	1736	1568	1736	1680	1736	1680	1736	1736	1680	1736	1680	1736	-20440
Q <sub>el</sub> , Tappvarmevatten (kWh/mån)	6832	6171	6832	6612	6832	6612	6832	6832	6612	6832	6612	6832	-80443
TOT Värmestillskott (kWh/år)													-244683
Resultat: (kWh/år)													283730

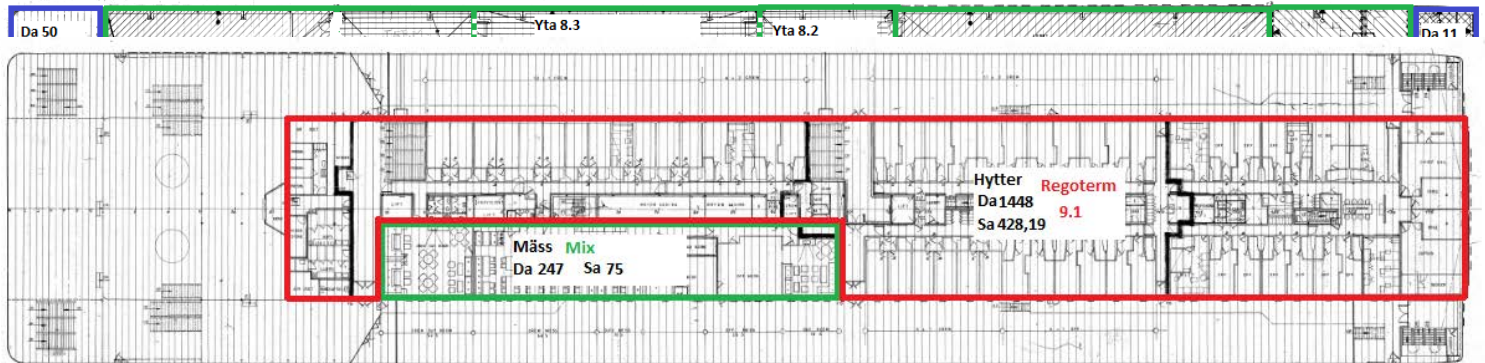
# Bilaga 4. Ventilationssystem och dimensioner

Da = Durkens area i kvadratmeter  
Sa = Skottets area i kvadratmeter

Däck 7



Däck 8



Däck 9

