



UPPSALA  
UNIVERSITET

STS14018

Examensarbete 30 hp  
Juni 2014

# Elanslutning av fartyg i hamn

- en studie om förutsättningar och konsekvenser  
för Köpings och Västerås hamn

---

Emma Thulin



UPPSALA  
UNIVERSITET

Teknisk- naturvetenskaplig fakultet  
UTH-enheten

Besöksadress:  
Ångströmlaboratoriet  
Lägerhyddsvägen 1  
Hus 4, Plan 0

Postadress:  
Box 536  
751 21 Uppsala

Telefon:  
018 – 471 30 03

Telefax:  
018 – 471 30 00

Hemsida:  
<http://www.teknat.uu.se/student>

## Abstract

Elanslutning av fartyg i hamn – en studie om förutsättningar och konsekvenser för Köpings och Västerås hamn

### **Shore-side electricity for ships in ports - a study of conditions and consequences for the ports of Köping and Västerås**

*Emma Thulin*

The purpose of this thesis is to investigate the possibilities for shore side electricity in the ports of Västerås and Köping. A technical solution to connect the vessels to the local grid is suggested and the investigation is also aiming at an understanding of how the environment is affected by the use of shore side electricity. Furthermore, the costs of shore side electricity are considered.

The maximum power demand of a vessel visiting the ports today is relatively small, but the ships visiting the ports in the future might have a larger power demand. The suggested dimension for the system is 5 MW and the result shows that the shore side electricity requires the power distribution to the ports to be expanded. The most useful solution in the ports is to connect the ships with 12 kV from a connection box in a pit at the quay.

The investigation of the costs shows that it is cheaper for the ships to use electricity compared to the marine fuel. Without a frequency converter the installation costs for shoreside electricity is less expensive since the frequency converter corresponds to approximately 70 % of all the installation costs.

By connecting only a few vessels with long visiting time in port tons of pollution can be reduced when the shoreside electricity is generated from renewable sources. Even with electricity generated partly from fossil fuel over 90 % of the pollutions can be reduced by using shoreside electricity.

Handledare: Kjell Lindmark  
Ämnesgranskare: Mikael Bergkvist  
Examinator: Elisabet Andrésdóttir  
ISSN: 1650-8319, UPTec STS14 018

# Populärvetenskaplig sammanfattning

Sjöfartens utsläpp av luftföroreningar är ett växande problem och i hamnstäder är ofta sjöfarten den största källan till luftföroreningar. Ett sätt att minska utsläpp i hamn är att ansluta fartyg till landström och låta fartygens energibehov försörjas via elnätet istället för av marint bränsle.

Syftet med detta examensarbete är att utreda förutsättningarna för att ansluta fartyg till landström i Västerås och Köpings hamn och arbetet har utförts hos Mälarenergi Elnät AB. En teknisk lösning har tagits fram för de båda hamnarna och miljöpåverkan och kostnader har undersökts.

Då landström blir mer ekonomiskt ju oftare och längre per besök det används valdes de fartyg som besöker hamnarna flest gånger under ett år ut för detaljstudier. De utvalda fartygen besökte tillsammans hamnarna 177 gånger under år 2013 och motsvarade 26 % av hamnarnas totala anlöp.

De fartygstyper som är bäst lämpade att ansluta till landström är kryssningsfartyg och roro-fartyg då dessa fartyg alltid lägger till på samma sätt vid kaj och inte behöver några kranar för lossning. I Mälarhamnar anlöp tankfartyg, torrlastfartyg och bulklastfartyg. Dessa typer av fartyg kräver fler flexibla anslutningspunkter då de kan lägga till på olika sätt vid kaj samt kan behöva kranar för lossning. Kryssnings- och tankfartyg är de fartygstyper som har högst effektbehov i hamn medan torrlast- och bulklastfartyg har ett lägre effektbehov. Containerfartyg har varierande effektbehov beroende på om de fraktar kylcontainrar eller inte. Fartygen som anlöp hamnarna i Västerås och Köping idag har ett relativt lågt effektbehov, men i framtiden kan större fartyg med högre effektbehov angöra hamnarna då farleder i Mälaren kommer breddas. I framtiden förväntas även kylfartyg kunna besöka hamnarna, vilket innebär att effektbehovet kommer bli större i framtiden. Detta innebär att den tekniska lösningen har dimensionerats större än för dagens behov.

Det finns två möjliga sätt att ansluta fartyg till landström, antingen via en kran som lyfter upp anslutningskabeln till fartyget eller via anslutningspunkter vid kajen som fartygens anslutningskabel viras ner till. Den bästa tekniska lösningen i hamnarna i Västerås och Köping bedöms vara att ansluta fartygen med 12 kV via nedgrävda anslutningspunkter vid kajen. Denna lösning påverkar arbetet i hamnarna så lite som möjligt, samt möjliggör anslutning för flera olika sorters fartyg. Då de vanligaste fartygen idag är torrlastfartyg, och i framtiden även förväntas vara kylfartyg, bedöms flera nedgrävda anslutningspunkter vara den bästa lösningen. I Köping innebär detta sex anslutningspunkter och i Västerås åtta stycken anslutningspunkter. Den totalt tillgängliga effekten idag i hamnarna bedöms inte vara tillräcklig för att klara av det ökade effektbehov som landström medför och resultatet visar att kraftkapaciteten fram till både Västerås och Köpings hamn behöver förstärkas via två parallella kablar till hamnarnas nätstationer.

Totalkostnaden för landström inkluderar installation, ombyggnad av fartyg och elförbrukning. Resultaten visar att det är billigare att driva fartygen med elektricitet jämfört med marint bränsle, även vid ett relativt högt elpris. Idag finns en skattereduktion på elektricitet för fartyg som ligger i hamn, vilket gör det ännu mer ekonomiskt lönsamt att använda landström framför marint bränsle. Resultatet visar att

de fartyg som ofta anlöper hamnen och ligger länge vid kaj har mest att vinna på att ansluta till landström.

Fartyg kan använda frekvensen 50 Hz eller 60 Hz, vilket gör att en frekvensomriktare måste användas om fartyg som använder 60 Hz skall kunna anslutas till elnätet. Frekvensomriktaren motsvarar cirka 70 % av den totala investeringskostnaden, vilket innebär att det är betydligt billigare att installera landström utan frekvensomriktare. En landströmsanläggning utan frekvensomriktare innebär dock att alla fartyg inte kommer kunna anslutas och att anslutningen kan komma att användas mindre.

Känslighetsanalysen visar främst att kostnad för utsläpp av koldioxid är den parameter som påverkar den totala kostnaden mest. Beroende på vilket kalkylvärde för koldioxid som används kan kostnaderna skilja på miljontals kronor. Känslighetsanalysen visar också att en höjning av priset på marint bränsle och elektricitet inte påverkar den ekonomiska kalkylen nämnvärt.

Resultaten visar att enbart genom att ansluta ett fåtal fartyg till landström minskar stora mängder luftföroreningar. Om elektriciteten genererats med förnyelsebara energikällor reduceras utsläppen helt och hållet, men även om elektriciteten genererats med en viss andel fossilt bränsle kan över 90 % av luftföroreningarna minskas. Landström kan därför starkt bidra till att minska utsläpp av luftföroreningar i städerna vilket är positivt både ur hälsosynpunkt och ur samhällsekonomisk synvinkel. En analys av hur större fartyg, som förväntas anlöpa hamnarna i framtiden, påverkar utsläppen visar att dessa fartyg bidrar till ökade utsläpp av luftföroreningar i hamnarna. Detta innebär att miljövinsterna med att ansluta fartyg till landström i framtiden kommer vara större än vad de är idag.

# Förord

Detta examensarbete avslutar mina studier på civilingenjörsprogrammet System i Teknik och Samhälle vid Uppsala Universitet. Examensarbetet har utförts på Mälarenergi Elnät AB under vårterminen 2014.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Kjell Lindmark som bidragit med kunskap och varit ett stort stöd under hela examensarbetets gång. Vidare vill jag tacka Mikael Pettersson vid Mälarhamnar för svar på frågor om hamnar och fartyg. Tack även till övrig personal vid Mälarhamnar som bidragit med information och rundvisning i Västerås hamn. Ett tack riktas också till Per Sjögren vid Ystad hamn för rundvisning i hamnen och svar på frågor om landström. Ett stort tack till min ämnesgranskare Mikael Bergkvist för råd och uppföljning under arbetets gång. Till sist vill jag rikta ett tack till alla som under arbetets gång ställt upp på intervjuer och bidragit med information.

Emma Thulin

*Uppsala, juni 2014*

# Innehållsförteckning

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 Inledning</b>                                                     | <b>4</b>  |
| 1.1 Syfte                                                              | 5         |
| 1.2 Avgränsningar                                                      | 5         |
| <b>2 Bakgrund</b>                                                      | <b>5</b>  |
| 2.1 Luftföroreningar                                                   | 5         |
| 2.2 Marina bränslen och teknik för att minska fartygens utsläpp        | 7         |
| <b>3 Teori och metod</b>                                               | <b>8</b>  |
| 3.1 Litteraturstudie                                                   | 9         |
| 3.2 Modell för utsläpp från fartyg i hamn                              | 9         |
| 3.3 Ekonomisk kalkyl                                                   | 13        |
| 3.3.1 Kostnader för installation av landström                          | 13        |
| 3.3.2 Elförbrukning                                                    | 13        |
| 3.3.3 Kostnader för att driva hjälpmotorerna med marint bränsle i hamn | 14        |
| 3.3.4 Kostnader för att bygga om fartyg                                | 14        |
| 3.3.5 Miljökostnader                                                   | 15        |
| 3.4 Uppdragsgivarens influenser                                        | 17        |
| <b>4 Fartyg</b>                                                        | <b>17</b> |
| 4.1 Fartygstyper                                                       | 17        |
| 4.2 Energiförsörjning ombord                                           | 18        |
| 4.3 Fartygstypernas olika förutsättningar att anslutas till landström  | 19        |
| <b>5 Landström</b>                                                     | <b>20</b> |
| 5.1 Systemkomponenter                                                  | 21        |
| 5.1.1 I land                                                           | 21        |
| 5.1.2 Ombord på fartyget                                               | 22        |
| 5.1.3 Anslutning                                                       | 22        |
| 5.2 Barriärer och drivkrafter för landström                            | 24        |
| <b>6 Hamnar med installerad landström</b>                              | <b>25</b> |
| 6.1 Europa                                                             | 25        |
| 6.1.1 Göteborg                                                         | 25        |
| 6.1.2 Ystad                                                            | 26        |
| 6.1.3 Rotterdam                                                        | 26        |
| 6.1.4 Lübeck                                                           | 27        |
| 6.1.5 Oslo                                                             | 27        |
| 6.1.6 Piteå                                                            | 28        |
| 6.2 Nordamerika                                                        | 28        |
| 6.3 Sammanfattning av landström i andra hamnar                         | 29        |

|                                                     |           |
|-----------------------------------------------------|-----------|
| <b>7 Mälarhamnar AB</b>                             | <b>29</b> |
| 7.1 Köpings hamn                                    | 29        |
| 7.2 Västerås hamn                                   | 31        |
| 7.3 Fartygen i hamnarna                             | 32        |
| 7.3.1 De mest lönsamma fartygen för landström       | 34        |
| 7.3.2 Fartygens tekniska förutsättningar            | 36        |
| 7.4 Mälarprojektet                                  | 37        |
| <b>8 Elnätet</b>                                    | <b>40</b> |
| 8.1 Befintligt elnät                                | 40        |
| 8.1.1 Västerås hamn                                 | 40        |
| 8.1.2 Köpings hamn                                  | 41        |
| 8.2 Förslag på teknisk lösning för landström        | 42        |
| 8.2.1 Överväganden                                  | 42        |
| 8.2.1.1 Anslutning                                  | 42        |
| 8.2.1.2 Effektdimensionering                        | 43        |
| 8.2.1.3 Förstärkning och utbyggnad av elnätet       | 44        |
| 8.2.2 Västerås hamn                                 | 44        |
| 8.2.3 Köpings hamn                                  | 45        |
| <b>9 Utsläpp</b>                                    | <b>45</b> |
| 9.1 Utsläpp vid användning av marint bränsle        | 46        |
| 9.2 Utsläpp vid användning av landström             | 46        |
| 9.3 Jämförelse                                      | 46        |
| <b>10 Ekonomiska konsekvenser</b>                   | <b>47</b> |
| 10.1 Kostnad för att generera el med hjälpmotorena  | 47        |
| 10.2 Kostnad för att generera el med landström      | 48        |
| 10.3 Kostnad för utsläpp                            | 49        |
| 10.4 Kostnad för installation av landström i land   | 51        |
| 10.5 Sammanfattning av de ekonomiska konsekvenserna | 52        |
| <b>11 Känslighetsanalys och framtidsscenario</b>    | <b>53</b> |
| 11.1 Kostnad för koldioxid                          | 53        |
| 11.2 Kostnad för marint bränsle                     | 53        |
| 11.3 Kostnad för elektricitet                       | 55        |
| 11.4 Framtida scenario                              | 56        |
| 11.4.1 Utsläpp                                      | 56        |
| 11.4.2 Kostnader                                    | 57        |
| <b>12 Diskussion</b>                                | <b>58</b> |
| 12.1 Förutsättningar för landström                  | 58        |
| 12.2 Miljövinster                                   | 59        |
| 12.3 Kostnader                                      | 60        |
| 12.4 Teknisk lösning                                | 61        |
| 12.5 Avslutande diskussion                          | 61        |

|                                               |           |
|-----------------------------------------------|-----------|
| <b>13 Slutsatser</b>                          | <b>62</b> |
| 13.1 Förslag till vidare studier              | 62        |
| <b>Referenslista</b>                          | <b>64</b> |
| Tryckta källor                                | 64        |
| Elektroniska källor                           | 69        |
| Personlig kommunikation                       | 71        |
| <b>Bilaga 1: Punktdiagram över liggetider</b> | <b>73</b> |
| <b>Bilaga 2: Tabeller</b>                     | <b>78</b> |
| <b>Bilaga 3: Beräkningar</b>                  | <b>82</b> |

# 1 Inledning

I en allt mer globaliserad värld spelar transporter en viktig roll för att överföra varor och efterfrågan på transporter ökar då ekonomin växer. Sjöfarten är en viktig del av Sveriges utrikestransporter och en betydande del av landets export och import transporteras med lastfartyg och färjor (Sjöfartsverket, 2007). Transportsektorn har en betydande klimatpåverkan och dess utsläpp växer snabbare än inom andra sektorer, vilket gör att transportsektorn svarar för en större andel av de globala koldioxidutsläppen (Kommerkollegium, 2012).

En av samhällets stora utmaningar är att minska utsläppen av växthusgaser, men även att minska utsläpp av kväveoxider och svaveldioxid är en viktig uppgift då dessa föroreningar påverkar både ekosystem och människors hälsa negativt (Eyring et al, 2009). EU har som målsättning att minska utsläpp av växthusgaser med 20 % till 2020, men internationell sjöfart är den enda sektorn som inte omfattas av EU:s mål om att minska utsläppen (European Environment Agency, 2013).

De senaste åren har sjöfarten uppmärksamats som ett växande problem både av myndigheter och av forskare då dess utsläpp bidrar till förorening av luft och hav världen över. Framtida scenario visar att en signifikant minskning av utsläpp är nödvändigt då sjöfartshandeln väntas växa i framtiden (Eyring et al, 2009). Om ingen förändring sker väntas utsläppen från sjöfarten mer än fördubblas år 2050, vilket inte är förenligt med det internationella tvågradersmålet, vilket innebär maximalt två graders temperaturökning (European Commission, 2014a).

Jämfört med utsläppskällor i land har vissa av fartygens utsläpp mindre påverkan på hälsa och miljö då en del av utsläppen sker långt från befolkade platser och känsliga ekosystem, men i hamnstäder är utsläpp från fartyg ofta den dominerande källan till luftföroreningar (Eyring et al, 2009). En studie av Corbett et al (2007) visar att utsläpp från sjöfart leder till att cirka 60 000 personer dör i hjärt-kärlsjukdomar och lungcancer varje år vid kustlinjen runt Europa och Asien.

När fartyg ligger i hamn stängs vanligtvis huvudmotorerna av och hjälpmotorerna används för att generera elektricitet till fartygets belysning, ventilation, pumpar, kranar och annan utrustning som behövs för att lasta och lossa fartygets last. Hjälpmotorerna använder marint bränsle vilket bidrar till utsläpp av föroreningar och växthusgaser och ett sätt att minska dessa utsläpp är att ansluta fartyget till landström. Genom att ansluta fartyget till elnätet när fartyget ligger vid kaj kan hjälpmotorerna stängas av, vilket gör att utsläppen kan minska då fartyget ligger i hamn (Hall, 2010).

För att möjliggöra anslutning till landström behöver investeringar göras både i land och på fartyg. Enligt Martelin, Fazlagic och Skinner (2010) kan den totala effektkonsumtionen för alla fartyg i en stor hamn under ett år jämföras med effektkonsumtionen för vissa utvecklingsländer. I land behöver ofta elnätet förstärkas för att kunna försörja fartygen med elektricitet. Fartygen behöver ofta anpassas för att kunna ta emot landström, då det idag är ovanligt att fartyg är utrustade för anslutning av landström. Installering av landström kan därför leda till höga investeringskostnader, men det leder också till stora miljövinster då minskade utsläpp leder till en bättre miljö i och runt hamnen.

Halva Sveriges befolkning bor inom 15 mils radie från Västerås och Köping vilket innebär att hamnarna i Köping och Västerås har stora utvecklingsmöjligheter

(Mälarhamnar, 2013). En utökad aktivitet i hamnen i framtiden kan leda till fler utsläpp av luftföroreningar och landström skulle kunna vara ett alternativ för att värna om befolkning och miljö samtidigt som hamnaktiviteterna kan utökas.

## 1.1 Syfte

Syftet med examensarbetet är att undersöka de tekniska och de ekonomiska förutsättningarna, samt de miljömässiga konsekvenserna att ansluta fartyg i Köping och Västerås till elnätet när de ligger i hamn. Syftet är även att ta fram en landströmslösning för Köping och Västerås hamn där de ekonomiska aspekterna samt miljövinster skall redovisas.

Syftet besvaras genom följande frågeställningar:

- Vilka förutsättningar finns för att bygga ut för landström i Köpings och Västerås hamn?
- Vilka fartyg som besöker hamnen är lämpade att anslutas till elnätet?
- Vilka miljövinster kan landström bidra till?
- Vilka är kostnaderna för att bygga ut för landström?
- Hur kan en teknisk lösning för landström se ut för hamnarna i Köping och Västerås?

## 1.2 Avgränsningar

Denna studie är avgränsad till systemet i land och tar inte hänsyn till de tekniska och elektriska systemen ombord på fartygen. Då systemen ombord på fartygen kan se olika ut har det avgränsats från studien och fartygen antas vara anpassade, eller kunna anpassas, för att ta emot landström. En kort beskrivning av ett generellt system ombord återfinns dock i kapitel 5.2 för att ge en inblick i hur energiförsörjningen ombord ser ut.

## 2 Bakgrund

Att utforma en anläggning för högspänningsanslutning i kombination med fartygens speciella förutsättningar är en teknisk utmaning och trots en utformad standard för landström finns flera hinder för att implementera landström. En del aktörer föredrar andra tekniker för att minska utsläpp och uppfylla lagkrav, medan andra ser landström som en effektiv teknik. I detta kapitel presenteras en bakgrund till varför landström är en relevant och aktuell lösning på problem som sjöfarten ställs inför.

### 2.1 Luftföroreningar

Om bebyggelse planeras i närheten av en hamn skall luftföroreningar kartläggas och miljö kvalitetsnormer skall tas hänsyn till av myndigheter (Länsstyrelsen Västmanlands län, 2007). Hamnar kan starkt bidra till regionala utsläpp av föroreningar och utsläpp från fartyg består främst av partiklar (PM), kväveoxider ( $\text{NO}_x$ ), Svaveldioxid ( $\text{SO}_2$ ), koldioxid ( $\text{CO}_2$ ) och kolväten (Fridell, 2009). Utsläpp av koldioxid och svaveldioxid beror i huvudsak på bränsletyp, medan utsläpp av kväveoxider beror på förbränningsprocessen. Utsläppen av kväveoxider beror därmed i stor utsträckning på vilken typ av motor som används (Entec, 2002b). Utsläpp av partiklar är starkt beroende av bränslets svavelinnehåll (European Environment Agency, 2013). Föroreningarna beskrivs närmare längre fram i detta kapitel. Även övrig hamnverksamhet bidrar till

luftföroreningar och källan till dessa utsläpp är främst maskiner, transporter inom hamnen, pumpar, ventiler och utrustning där last hanteras i bulk. Lagring av petroleum i cisterner bidrar också till utsläpp till luft (Länsstyrelsen Västmanlands län, 2007).

Landström kan inte helt eliminera luftföroreningar från fartyg i hamn eftersom fartygets ångpanna behöver används för uppvärmning, men landström kan minska mängden luftföroreningar. Hur stor reduktionen blir beror på typ av motor, teknik och bränsle som förbränns (Tetra Tech, 2007). Fördelen med att använda landström framför andra tekniker för att minska utsläpp är att landström dessutom minskar både buller och vibrationer i hamnområdet. (Martelin, Fazlagic och Skinner, 2010). Hur mycket buller minskar beror dock på fartygstypen (Jivén, 2004).

Användning av landström förflyttar utsläppen från fartygen till kraftbolagen. Beroende på energikälla kan utsläpp därför både öka och minska vid användning av landström. Om energin levererad från hamnen till fartyget kommer från till exempel ett kolkraftverk kommer istället utsläpp av koldioxid öka jämfört med om hjälpmotorerna används istället. Från en studie som studerade ett fiktivt kryssningsfartyg som anslöt till landström och lade till i Southampton, Oslo, Köpenhamn, Stockholm, Tallinn, S:t Petersburg, Helsingfors och Zeebrugge var resultatet att det sammanlagda koldioxidutsläppet kunde minskas om man inte anslöt till landström utan använde hjälpmotorerna i S:t Petersburg och Tallinn. Att använda landström i Tallinn gav ökade koldioxidutsläpp på grund av Estlands fossilberoende och stora transmissionsförluster. Samma studie visade att koldioxidutsläpp kraftigt kan minskas genom att använda landström i Norge, då landets vattenkraft gör att koldioxidutsläppen blir minimala. Landströmsanslutning kan därmed generera minskade koldioxidutsläpp i många länder, men inte i alla. I länder som Kina, Indonesien och Ryssland innebär det en förlust att ansluta till landström, då det blir mindre koldioxidutsläpp att använda hjälpmotorerna istället för att ansluta till landström (Hall, 2010).

Kvävedioxider är ett problem i många städer och den största utsläppskällan är trafik. Kvävedioxid är giftigt och kan bland annat försvåra astma. Beräkningar visar att om kvävedioxidkoncentrationen ökar med  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ökar antalet för tidiga dödsfall med 12-14 % (SMHI, 2012a). Utsläpp av kväveoxider leder även till ökad risk för surt regn, vilket i sin tur kan påverka den ekologiska tillväxten. I kvävefattiga områden kan utsläppen leda till att främmande arter etablerar sig och utsläpp av kväveoxider bidrar även till övergödning och ozonbildning (Mellin och Creutzer, 2014). De rådande internationella reglerna för sjöfartens kvävedioxidutsläpp är inte lika strama som reglerna för utsläpp av svaveldioxid och sjöfartens kväveoxidutsläpp förväntas öka (Miljömål, 2010). I Östersjöområdet är utsläppen av kväveoxider från sjöfarten cirka 370 000 ton per år (Sjöfartsverket, 2009). Utsläpp av kväveoxider från sjöfarten är relativt höga eftersom marina motorer arbetar under hög temperatur och tryck utan att använda teknologi som reducerar avgaser (Eyring et al, 2009). Sjöfartsverket har dock tagit fram en handlingsplan för reduktion av kväveoxider (Sjöfartsverket, 2009).

Utsläpp av svaveldioxid har minskat från landbaserade källor, men sjöfarten står idag för en betydande del (SMHI, 2012b). Utsläpp av svaveldioxid från sjöfart är ofta höga på grund av det höga svavelinnehållet i bränslet då svavelhalten i bränslet är proportionerligt mot mängden svaveldioxid som släpps ut vid förbränning (Eyring et al, 2009). Människors hälsa påverkas av svaveldioxid både i gas- och partikelform och studier visar att en minskning av svaveldioxid leder till hälsoförbättringar även vid en låg koncentrationsform (SMHI, 2012b).

Partiklar (PM) delas in efter storlek, där grova partiklar har en diameter mindre än 10  $\mu\text{m}$  och fina partiklar som har en diameter på 2,5  $\mu\text{m}$ . Det är svårare för kroppen att göra sig av med små partiklar och dessa anses generellt vara farligare än stora partiklar. Partiklar påverkar människors hälsa i form av ökade hjärt- och kärlsjukdomar och andningsrelaterande sjukdomar. 5000 personer beräknas dö i förtid i Sverige som en konsekvens av partiklar. Fina partiklar beräknas förkorta medellivslängden i Europa med nio månader (SMHI, 2012c). Studier i USA visar att hjärt- och lungsjukdomar ökar i städer som har högre värden av  $\text{PM}_{10}$  än medelsnittet. Andra studier visar effekter i form av nya fall av luftrörskatarr och förvärrad astma efter dagar med förhöjda  $\text{PM}_{10}$ -värden (Martuzzi, Krzyzanowski och Bertollini, 2003).

Koldioxid är inte giftigt och påverkar inte den lokala miljön negativt, men påverkar däremot den globala uppvärmningen (Fiadomor, 2009).

## 2.2 Marina bränslen och teknik för att minska fartygens utsläpp

Fartyg använder marina bränslen som framställs ur råolja via destillation. Råoljan kan innehålla olika mängd svavel vilket bland annat beror på berggrunden. Svavelhalten påverkar priset på bränsle, då bränslet generellt blir dyrare ju lägre svavelhalt som finns i bränslet. På lång sikt väntas priset på råolja öka, medan det på kort sikt är konjunkturberoende. De marina bränslena brukar delas in i residualolja och destillat. Destillat brukar i sin tur delas in i MGO (marin gasolja) och MDO (marin dieselolja). Residualolja har högre svavelinnehåll än destillat (Trafikanalys, 2013).

Sedan 2010 gäller EU:s svaveldirektiv som innebär att alla fartyg som ligger vid kaj inom EU måste använda bränsle med maximalt 0,1 % svavelinnehåll eller ansluta till landström. Byte till lågsvavelhaltigt bränsle måste ske så fort som möjligt efter att fartyget lagt till vid kaj och undantaget från detta är fartyg som stänger av sina hjälpmotorer och ansluter till landström vid kaj. Fartyg som färdas i Östersjön, Nordsjön och Engelska kanalen får inte använda bränsle där svavelhalten överstiger 1 % och kraven skärps år 2015 då svavelhalten sänks till 0,1 % (European Commission, 2014b). När de strängare kraven träder i kraft år 2015 väntas efterfrågan på lågsvavelhaltigt bränsle öka och många prognoser pekar då på att priset för detta bränsle kommer öka (Trafikanalys, 2013).

Då bränsle med låg svavelhalt är dyrt finns några alternativ utöver landström för att uppfylla kraven på lågt svavelinnehåll:

- En skrubber är en form av rökgasrening som renar bränslet, vilket gör att ett bränsle med högre svavelhalt kan användas även i hamn. Denna metod genererar dock svavel som kan leda till ökad avfallshantering för hamnarna och även om svavelutsläppen reduceras kommer fortfarande utsläpp av kväveoxider och koldioxid kvarstå (Port of Oslo, 2012).
- En katalysator kan användas för att rena avgaserna, men detta används relativt lite inom sjöfart (Fridell, 2009). Enligt vissa bedöms katalysatorrening vara en dyrare investering än landström, men har fördelen att miljöpåverkan blir mindre under hela fartygets resa och inte bara i hamn (Vinnova, 2012). Andra menar att det i vissa fall kan vara mer kostnadseffektivt att använda katalysator framför landström (Sveriges Hamnar, 2013).
- Flytande naturgas, LNG, är ett bränsle som ger färre koldioxidutsläpp och som inte innehåller svavel. Nackdelen med LNG är att utsläpp av metan ökar, vilket

gör att de minskade koldioxidutsläppen inte ger en lika stor miljövinst eftersom metan likväl som koldioxid påverkar den globala uppvärmningen. På äldre fartyg kan det dessutom vara svårt att hitta utrymme ombord för bränslet och LNG är framför allt en lösning för nybyggda fartyg där extra utrymme kan modifieras från början. En annan svårighet är att få tillgång till bränslet i hamn då LNG inte är lika vanligt förekommande som andra marina bränslen (IMO, 2009).

- Nya typer av bränslen kan bli aktuella i framtiden, som till exempel DME, som inte innehåller svavel (Vinnova, 2012).

### 3 Teori och metod

Denna studie består av två delstudier. Den första delen består av en beskrivande och utforskande del som syftar till att beskriva och förstå hur något fungerar (Höst, Regnell och Runeson, 2006). I denna del av arbetet beskrivs hur landström fungerar och har implementerats i andra hamnar. Den andra delen har ett problemlösande syfte som avser att hitta en lösning till ett identifierat problem (Höst, Regnell och Runeson, 2006). Denna del av arbetet består av att hitta en teknisk lösning för landström i Västerås och Köpings hamn.

Metodiken har varit vad Höst, Regnell och Runeson (2006) benämner som aktionsforskning, vilket är en typ av fallstudie. Ett fenomen observeras för att sedan identifiera ett problem som skall lösas och efter detta tas ett förslag på lösning fram, som sedan implementeras. Efter detta skall lösningen utvärderas. I denna studie har hamnarnas förutsättningar och problematiken kring landström studerats och ett förslag på lösning har tagits fram, men implementering och utvärdering ligger utanför uppsatsens ram.

Metoden till denna uppsats kan delas in i tre delar som består av en litteraturstudie, en kostnads- och miljökalkyl och en teknisk utformning av landström i hamnarna. För kalkylberäkningarna samlades data in från olika aktörer, så som rederier, hamnar, elbolag och företag. Den mest centrala informationen gällde fartygen som anlöper hamnarna och för att få information skickades en enkät med frågor ut till rederier och fartyg angående teknisk information om fartyg som anlöpte hamnarna flest gånger under år 2013. Svarsfrekvensen var endast 30 % och då hade även vissa svar utelämnats, men en del information kunde dock hämtas från rederiernas hemsidor och från Bureau Veritas onlineregister.<sup>1</sup> För de fartyg där ingen information alls kunde erhållas användes schablonvärden från vetenskapliga artiklar och böcker, vilka presenteras längre fram i detta kapitel. För att kunna studera vilka fartyg som lade till vid hamnarna flest gånger, samt hur länge de låg vid kaj behövdes statistik från hamnarna. Dessa data har samlats in för ett annat syfte än för denna studie och bör därför utvärderas kritiskt. Statistiken handlar om registerdata, det vill säga data som samlats in för ett syfte och är tillgängligt i obearbetat format (Höst, Regnell och Runeson, 2006). Anlöpsrapporten från hamnarna innehåller information om samtliga fartygs anlop under 2013, bland annat tidpunkter för ankomst och avgång, fartygens last och vilken hamndel fartyget angjorde. Denna statistik anses trovärdig då det är viktigt för hamnarna att ha tillgång till korrekta siffror. Statistiken har bearbetats för uppsatsens

---

<sup>1</sup> Bureau Veritas Registers är ett onlineregister över fartyg.  
<http://www.veristar.com/portal/veristarinfo/about-veristar>

syfte och i vissa fall har extremvärden plockats bort, vilka redovisas längre fram i uppsatsen.

### 3.1 Litteraturstudie

Inledande var en litteraturstudie nödvändig för att få kunskap kring ämnet. Huvudsyftet var att få förståelse för tekniken samt att ta del av andra hamnars implementering av landström för att skapa en uppfattning kring tekniska lösningar, svårigheter och vanliga problem. Litteraturstudier leder till påbyggnad av befintlig kunskap och minskar risken att tidigare lärdomar försummas (Höst, Regnell och Runeson, 2006). Genom att ta del av liknande projekts erfarenheter kan liknande problem undvikas vid utformning av nya anläggningar för landström.

Landström är ett begränsat ämne i den vetenskapliga litteraturen och främst har information hämtats från olika tekniska rapporter samt doktorsavhandlingar och masteruppsatser. När landström skall implementeras i en hamn behöver en förstudie göras om förhållandena i den specifika hamnen och dessa rapporter ligger till stor grund för denna uppsats litteraturstudie. Rapporterna anses vara trovärdiga då de legat till grund för utbyggnad av landström som senare implementerats och fungerat. Övrig information om landström har hämtats från internet och genom personlig kontakt med personal i hamnar och ombord på fartyg.

Inom de närliggande områdena till landström finns det desto mer information att hämta från vetenskapliga artiklar, framför allt när det handlar om utsläpp och miljöpåverkan från sjöfart. Dessa källor håller hög trovärdighet då de granskats vetenskapligt, men det finns många aspekter där det inte råder konsensus bland forskare. Detta ställer krav på motivering och urval, vilket diskuteras vidare i kapitlen nedan.

### 3.2 Modell för utsläpp från fartyg i hamn

Vetenskapligt diskuteras det hur utsläpp från fartyg skall mätas och debatten handlar främst om huruvida statistik över sålt bränsle är representativ för att beräkna utsläpp och huruvida motordata är representativt för att mäta energiförbrukning och utsläpp. Vissa anser att data över aktivitet och förflyttning bör användas för modellering, medan andra anser att data från motorer är bättre indata för modellering av utsläpp (Dalsøren et al, 2009).

För att beräkna utsläpp från fartyg är bränslekonsumtion en viktig faktor, men att beräkna bränslekonsumtion för fartygets hjälpmotorer innebär ofta osäkerhet. En osäkerhet är till exempel att det är svårt att veta om fartygen aktivt lossar och lastar i hamn, eller om de passivt ligger vid kaj. Fartyg har även olika effektbehov och sätt att sköta driften ombord, vilket också skapar osäkerheter för motorns last (IMO, 2009). Bränslekonsumtion kan i huvudsak beräknas på två sätt:

- Baserad på aktivitetsdata. Denna metodik innebär att bränslekonsumtionen estimeras beroende på olika fartygstyper. Motorns bränslekonsumtion estimeras genom att multiplicera antalet fartyg inom en viss kategori med den genomsnittliga motoreffekten för att uppskatta installerad effekt per fartygstyp. Effekttuttaget estimeras sedan genom att multiplicera den installerade effekten med drifttimmarna och den genomsnittliga lastfaktorn för motorn. Sedan multipliceras effekttuttaget med värdet för bränslekonsumtionen för motorn inom varje fartygskategori.

- Baserad på bränslestatistik. Denna metod bygger på hur mycket bränsle som sålts och kräver mycket specifik data som inte alltid är tillgänglig för alla fartyg. Bränslestatistik innebär också begränsningar i form av exakthet och rapportering, vilket gör att estimeringen är behäftad med en viss osäkerhet. Studier visat att aktivitetsbaserad data ofta predikterar högre värden av bränslekonsumtion än data baserad på bränslestatistik (IMO, 2009).

Det finns ingen statistik över hur stor mängd bränsle fartyg använder när de ligger vid kaj i Sverige, utan enbart hur mycket bränsle som har sålts i Sverige (Fridell, 2009). Statistik över sålt bränsle bygger på att bränslet förbrukas över hela fartygets färd och kan därmed vara svårare att tillämpa då bara förbrukat bränsle i hamn är relevant och därför har aktivitetsbaserad metodik använts i denna studie.

I enlighet med (Bailey och Browning, 2006) kan utsläppen till luft då fartygen ligger vid kaj beräknas med ekvationen

$$E = P * LF * A * EF \quad (1)$$

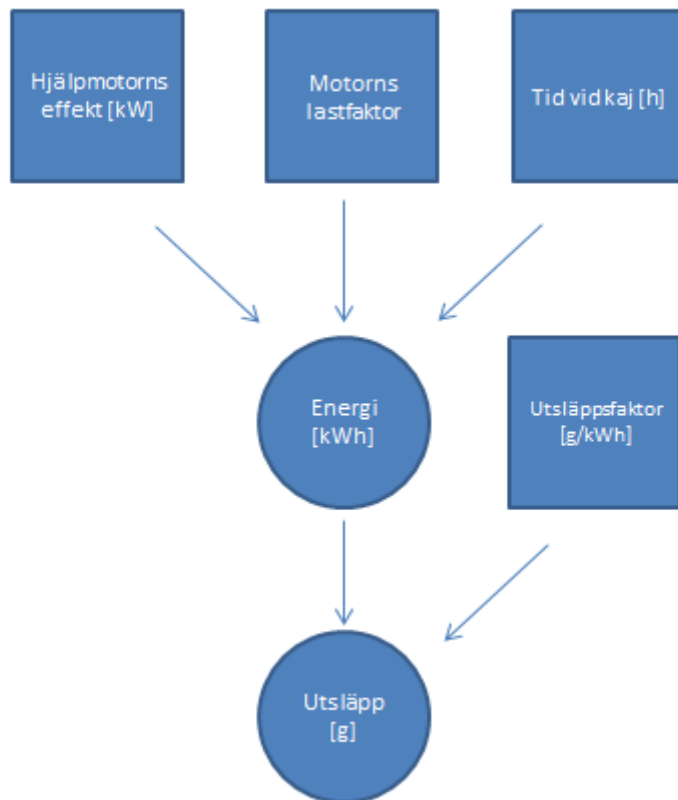
där P är motorns uteffekt i hamn. Då detta är svårt att uppskatta har genomsnittliga värden från Alexandersson et al (1993) används för olika typfartyg. Dessa typfartyg presenteras närmare i kapitel 5. Det bör beaktas att Alexandersson et al (1993) är en något äldre källa, men den används i flera hamnars miljörapporter och anses därmed trovärdig även då det är många år sedan källan publicerades.

LF är lastfaktorn, vilket är den procentuella effekten av fartygets totala effekt. I denna rapport har medelvärdet från två olika studiers lastfaktorer för hjälpmotorer använts och dessa presenteras i tabell 1.

A är timmar vid kaj och för detta värde har medelvärdet för liggetid används. Att använda medelliggetid i hamn leder till en viss osäkerhet i data, då det inte är möjligt att veta om fartygen aktivt lossar och lastar under denna tid, eller ligger passiva vid kaj. Skulle fartygen ligga helt passivt vid kaj kan en felaktighet i beräkningar av utsläpp uppstå, då det är möjligt att fartygen inte använder hjälpmotorerna under denna tid och därmed inte släpper ut några föroreningar. Trots detta har medelliggetiden från dessa beräkningar använts som grund, med motiveringen att fartyg och rederier inte tjänar på att fartygen ligger passiva i hamn och det borde därmed vara rimliga värden.

EF är utsläppsfaktorer och dessa värden har hämtats från Onshore power supply (2013) och Entec (2010).

Metodiken för att estimerar utsläpp i hamn baserat på aktivitetsdata sammanfattas i figur 1.



Figur 1. Schematisk bild över beräkning av utsläpp från fartyg enligt Bailey och Browning (2006), egen bearbetning.

Hjälpmotorns lastfaktor är svår att uppskatta och varierar beroende på fartygets typ och storlek. I denna uppsats har ett medelvärde från två olika studier används. Som tabell 1 visar är lastfaktorena relativt lika för de flesta fartygstyperna, men undantaget är tankfartyg där värdena skiljer sig och därför har ett medelvärde använts.

Tabell 1. Uppskattade lastfaktorer för hjälpmotorer vid kaj.

| Fartygstyp               | Bailey och Browning <sup>2</sup> | Dalsøren et al <sup>3</sup> |
|--------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Bulklastfartyg           | 0,22                             | 0,2                         |
| Containerfartyg          | 0,17                             | 0,2                         |
| Kryssningsfartyg         | 0,64                             | -                           |
| Torrlastfartyg           | 0,22                             | 0,2                         |
| Roro-fartyg <sup>4</sup> | 0,30                             | 0,2                         |
| Kylfartyg <sup>5</sup>   | 0,34                             | 0,2                         |
| Tankfartyg               | 0,76                             | 0,4                         |

<sup>2</sup> Källa: Bailey och Browning, 2006.

<sup>3</sup> Källa: Dalsøren et al, 2009.

<sup>4</sup> Roro står för roll-on-roll-off-fartyg, vilket är ett fartyg med rullande last.

<sup>5</sup> Dessa fartyg kallas även för reefer-fartyg.

Utsläppsfaktorer varierar dels mellan olika bränsletyper, men också mellan olika studier, vilket gör att de bidrar med en osäkerhet till modellen. Utsläppsfaktorer från olika studier med olika svavelhalt i bränslet visas i tabell 2.

*Tabell 2. Utsläppsfaktorer för hjälpmotorerna vid kaj, g/kWh.*

| <b>Bränsle</b>                              | <b>NO<sub>x</sub></b> | <b>PM<sub>10</sub></b> | <b>PM<sub>2,5</sub></b> | <b>SO<sub>2</sub></b> | <b>CO<sub>2</sub></b> |
|---------------------------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| MGO, Svavelhalt 0,5 % <sup>6</sup>          | 13,9                  | 0,37                   | 0,34                    | 2,05                  |                       |
| Residualolja, Svavelhalt 2,7 % <sup>7</sup> | 12,47                 | 0,8                    | 0,8                     | 12,30                 |                       |
| MGO svavelhalt 0,1 % <sup>8</sup>           | 13,0                  | 0,3                    | 0,3                     | 0,9                   | 690                   |

Som tabell 2 visar skiljer sig värdena åt och det är framför allt värdet på svaveldioxid som skiljer sig åt beroende på svavelhalt. I den här uppsatsen används värdena från Entec (2010) eftersom det idag är krav på att använda ett bränsle med maximalt 0,1 % svavelhalt i hamn i Sverige. Detta beskrivs mer utförligt i kapitel 3.

Utsläppsfaktorer för elektricitet har hämtats från Onshore power supply (2013) och visas i tabellen nedan.

*Tabell 3. Utsläppsfaktorer för generering av elektricitet, g/kWh (Onshore power supply, 2013).*

| <b>Källa</b>          | <b>NO<sub>x</sub></b> | <b>PM</b> | <b>SO<sub>2</sub></b> | <b>CO<sub>2</sub></b> |
|-----------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|
| Naturgas              | 0,35                  | 0         | 0,02                  | 402                   |
| Kol                   | 0,41                  | 0,0033    | 0,37                  | 902                   |
| Vind/vatten/kärnkraft | 0                     | 0         | 0                     | 0                     |
| EU-mix                | 0,19                  | 0,0009    | 0,1                   | 335                   |

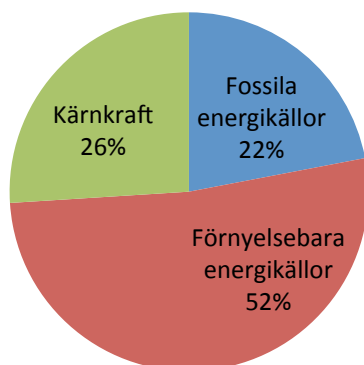
Som tabell 3 visar skiljer sig utsläppen åt beroende på källa, vilket innebär att utsläppen i hamn kan reduceras olika mycket beroende på elektricitetens ursprung. Antagandet att elektricitet från vind/vatten/kärnkraft inte ger några utsläpp alls kan eventuellt ses som en generalisering, men detta antagande har använts vid tidigare studier om landström (Vinnova, 2012). För beräkningarna i denna rapport används en mix av olika energikällor baserad på Mälarenergis ursprungsmärkning av elektricitet för år 2012 och denna fördelning visas i figur 2.

<sup>6</sup> Källa: Bailey & Browning, 2006.

<sup>7</sup> Källa: Entec. 2005.

<sup>8</sup> Entec, 2010.

## Elektricitetens ursprungsfördelning



Figur 2. Ursprungsmärkning av el för år 2012 (Mälarenergi, 2014).

I undergruppen fossila energikällor ingår gas, kol, olja och torv. Här antas att hälften av den fossila energin kommer från gas och hälften från kol. De exakta källorna i undergruppen förnyelsebara energikällor är inte kända och här antas denna grupp inte innebära några utsläpp, likt alternativet Vind/vatten/kärnkraft från Onshore power supply (2013). Hur stora utsläppsfaktorerna blir med dessa antaganden visas i bilaga 2.

De verkliga utsläppen kan variera beroende på bland annat lufttemperatur, underhållsstatus, bränsle- och kylvattentemperatur med mera (MariTerm, 2001).

### 3.3 Ekonomisk kalkyl

Statistik för antal anlöp, medelliggetid vid kaj och typ av fartyg har använts för att beräkna kostnader. Priser för marint bränsle och elektricitet varierar ständigt vilket gör det svårt att beräkna kostnader och eventuell vinst. Dessa kostnader är dock viktiga att ta hänsyn till för att utreda om utbyggnad av landström är lönsamt eller inte.

Följande parametrar har ingått i kostnadsanalysen för landström:

- Kostnad per år för att installera landström.
- Elförbrukning då fartyget ligger i hamn.
- Kostnader för marint bränsle som används i hamn.
- Kostnader för utsläpp av föroreningar till luft.

#### 3.3.1 Kostnader för installation av landström

I den generella investeringskostnaden för landström ingår kostnader för transformator, ställverk, kablar, uttag, underhåll, anslutningsavgift och eventuell frekvensomriktare. Uppgifter om kostnader har hämtats från Mälarenergi, företag och rapporter.

#### 3.3.2 Elförbrukning

De operativa kostnaderna består av elpris, elskatt, konsumtion samt sparade underhållskostnader för fartygets hjälpmotorer som inte behöver användas då fartyget

ansluts till landström (Vinnova, 2012). Enligt Onshore Power Supply (2014a) är medelvärdet av underhållskostnaderna för fartygets hjälpmotorer 1,6 euro per timme och hjälpmotor. Euron var i medelvärde 8,7 kronor under perioden april 2013-april 2014 (European central bank, 2014). Underhållskostnaderna för en motor var därför under denna period 13,9 kronor per timme. Den årliga kostnaden för att ansluta fartyget till landström är

$$\text{Kostnad} = \text{antal anlöp} * \text{medelliggtid} * \text{maskineffekt} * \text{lastfaktor} * \text{elpris} \quad (2)$$

där antalet anlöp är antalet gånger som fartyget lagt till vid hamnen under ett år, medelliggtid är den genomsnittliga tiden vid kaj för varje fartyg mätt i timmar, maskineffekt är fartygets motors effekt mätt i kilowatt och elpris är kostnaden för elektricitet mätt i kronor per kilowattimme.

### 3.3.3 Kostnader för att driva hjälpmotorerna med marint bränsle i hamn

Kostnaden för att driva hjälpmotorerna med marint bränsle vid kaj är

$$\text{Kostnad} = \text{medelkonsumtion av bränsle} * \text{medelliggtid} * \text{bränslekostnad} \quad (3)$$

där medelkonsumtion av bränsle i hamn mäts i ton per timme och bränslekostnaden mäts i kronor per ton.

### 3.3.4 Kostnader för att bygga om fartyg

Systemet ombord har avgränsats från studien, men i detta kapitel åskådliggörs vilka summor en ombyggnation av ett fartyg rör sig om. Kostnader för att bygga om fartygen kan bli höga, framförallt om en transformator måste byggas ombord. Nya fartyg som direkt byggs anpassade till landström innebär ofta en lägre kostnad än att bygga om ett äldre fartyg (Theodoros, 2012).

De komponenter som behövs på fartyget är (Vinnova, 2012):

- Uttag för kabel mellan fartyget och land
- Högspänningsställverk
- Högspänningskabel till högspänningsställverk
- Transformator
- Brytare

I tabellen nedan visas uppskattade kostnader för ombyggnad av olika fartygstyper från Vinnova (2012).

Tabell 4. Investeringskostnader för anpassning av landström (Vinnova, 2012).

| Typ av fartyg   | Effektbehov | Bruttodräktighet <sup>9</sup> | Total investering [kr] | Årlig investering <sup>10</sup> [kr] |
|-----------------|-------------|-------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| Roro-fartyg     | 1,5 MVA     | 25 000                        | 4100 000               | 560 000                              |
| Containerfartyg | 7 MVA       | 75 000                        | 5000 000               | 680 000                              |
| Tankfartyg      | 7 MVA       | 75 000                        | 5000 000               | 680 000                              |

### 3.3.5 Miljökostnader

Samhället kan göra besparingar då landström används eftersom luftföroreningar från det marina bränslet bidrar till kostnader för sjukvård, för tidig död och arbetskraftsbortfall. Detta är externa kostnader som skall bekostas av samhället och inte av fartygen som orsakat luftföroreningarna och det finns olika metoder för att räkna dessa kostnader. Landström leder också till besparingar av kostnader för buller och minskad påverkan på ekosystem och byggnader. Fridell (2009) ser landström som en bra affär för staten då samhället får minskade kostnader i form av bland annat sjukvård.

Kostnader för luftföroreningar i tätortsmiljö är summan av kostnaderna för regionala och lokala effekter. I tabellerna nedan visas de rekommenderade värdena för lokala och regionala effekter från ASEK (Arbetsgruppen för samhällsekonomiska kalkyl- och analysmetoder inom transportrådet).

Tabell 5. Rekommenderad värdering av utsläppens lokala effekter, kr/exponeringsenhet (Trafikverket, 2012).

| Ämne            | Kr/exponeringsenhet |
|-----------------|---------------------|
| PM              | 732                 |
| SO <sub>2</sub> | 21                  |
| NO <sub>x</sub> | 2,5                 |

Tabell 6. Rekommenderad värdering av utsläppens regionala effekter, kr/kg (Trafikverket, 2012).

| Ämne            | Kr/kg |
|-----------------|-------|
| NO <sub>x</sub> | 107   |
| SO <sub>2</sub> | 36    |

För att beräkna lokala effekter av luftföroreningar bestäms först antalet exponeringsenheter per kg utsläpp via ekvationen

$$\text{Exponering} = 0,029 * FV * B^{0,5} \quad (4)$$

där parametern FV är ventilationsfaktor för tätorten och B är tätortens befolkningsmängd. Sveriges olika ventilationszoner visas i figur 3 (Trafikverket, 2012).

<sup>9</sup> Bruttodräktighet är ett enhetslöst jämförelsetal som används för att ange ett fartygs inneslutna volym.

<sup>10</sup> Baserat på 10 års avräkningstid och 6 % ränta.



Figur 3. Ventilationszoner (Trafikverket, 2012).

Ventilationsfaktorerna sammanfattas i tabell 7.

Tabell 7. Ventilationsfaktorer (Trafikverket, 2012).

| Ventilationszon | Ventilationsfaktor, FV |
|-----------------|------------------------|
| 1-2             | 1,0                    |
| 3               | 1,1                    |
| 4               | 1,4                    |
| 5               | 1,5                    |

För att beräkna värdet uttryckt i kr/kg multipliceras tätortens exponering med varje ämnes värde per exponeringsenhet, från tabell 5. För tätorter skall även de lokala effekterna adderas (Trafikverket, 2012).

Inom vetenskapen råder det delade meningar om hur koldioxidutsläpp skall hanteras i samhällsekonomiska kalkyler. Då utsläpp av växthusgaser kan få långsiktiga effekter är det dock rimligt att försöka beräkna hur ett projekt förändrar utsläpp av växthusgaser. Det råder ingen konsensus om exakt vilket värde (kr/kg koldioxid) som skall användas.

Ett för högt kalkylvärde kan kanske verka gynnsamt, då projekt som reducerar koldioxid skulle bli lönsamma snabbare, men problemet är att det skulle leda till felaktig resursallokering vilket gör att fler resurser behövs för att uppnå ett mål och skulle i förlängningen försvåra en utveckling mot ett hållbart samhälle. Brännlund (2008) genomförde en jämförande studie om kostnader för koldioxidutsläpp och medelvärdet som erhöles från sammanställningen var 0,14–0,20 kr/kg koldioxid. Det är vanligt förekommande att använda ASEK:s rekommendation, vilket är 1,45 kr/kg koldioxid (Trafikverket, 2012). Detta värde kan dock ses som ett extremvärde i jämförelse med Brännlunds studie. I den här rapporten används ASEK:s värde eftersom det är vanligast förekommande i liknande projekt, medan Brännlunds värde används som känslighetsanalys.

### 3.4 Uppdragsgivarens influenser

Detta examensarbete har utförts med Mälarenergi Elnät AB som uppdragsgivare. Fördelen med att skriva uppsats med en uppdragsgivare är att det finns ett intresse för att få ett aktuellt och intressant ämne undersökt. Det ger även goda förutsättningar för stark empiri och tillgång till material, samt möjligheten att lösa ett konkret problem. Ett vanligt problem är dock att arbetets problematisering kan bli lidande när man skriver uppsats hos en uppdragsgivare, då problemformuleringen oftast är formulerad från början (Paulsson, 1999). Ämnet och problemet till examensarbetet var formulerat av Mälarenergi Elnät, men problemformuleringen var bred och behövde därför både brytas ner och modifieras under arbetets gång. Uppsatser med uppdragsgivare tenderar att hamna på en lägre abstraktionsnivå, vilket ur akademisk synvinkel är en nackdel. För studien är det viktigt att resultaten generaliseras och går upp i abstraktionsnivå och inte bara löser ett specifikt problem åt ett företag (Paulsson, 1999). Detta ställer krav på att utforma uppsatsen så det generella perspektivet inte glöms bort. I denna studie undersöks landström generellt, där Västerås och Köpings hamn illustrerar ett exempel för hur landström kan implementeras. Resultaten från studien kan även vara till hjälp för hamnar som liknar Västerås och Köpings hamn och som vill undersöka möjligheterna att implementera landström. Tidigare har studier genomförts för mycket stora hamnar, som till exempel Rotterdam och Göteborgs hamn. Det förekommer också att enskilda företag använder landström i mindre hamnar, som i till exempel Piteå. Den här studien bidrar med ett mellanting av dessa två ytterligheter, då möjligheter för landström undersöks i två mindre hamnar utan samarbete med ett specifikt rederi eller företag.

## 4 Fartyg

I detta kapitel beskrivs kort olika typer av fartyg, hur energiförsörjning går till ombord på ett fartyg samt varför de olika fartygstyperna har olika förutsättningar för att anslutas till landström.

### 4.1 Fartygstyper

Sveriges fartygsflotta skiljer sig åt när det gäller bruttodräktighet, lastkapacitet, maskin och bränsleförbrukning vilket gör det svårt att definiera typfartyg. För att definiera typfartyg är det därför rimligt att dela upp fartygen efter deras funktion (Sjöfartsverket, 2003). De aktuella fartygstyperna i denna uppsats presenteras i tabell 8.

Tabell 8. Olika fartygstyper och deras funktion (Transportstyrelsen, 2008).

| Typ av fartyg    | Beskrivning                                                                       |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Tankfartyg       | Transporterar flytande last som till exempel olja, ammoniak och gas.              |
| Bulklastfartyg   | Transporterar torr bulklast som till exempel kol och spannmål.                    |
| Torrlastfartyg   | Transporterar olika typer av gods, fristående eller förpackat.                    |
| Containerfartyg  | Undergrupp till torrlastfartyg där lastutrymmet är utrustat för containrar.       |
| Rorofartyg       | Undergrupp till torrlastfartyg där lasten rullas ombord på däck.                  |
| Kylfartyg        | Undergrupp till torrlastfartyg som transporterar livsmedel i kyllda lastutrymmen. |
| Kryssningsfartyg | Transporterar passagerare för nöjesresor.                                         |

De tre vanligaste fartygstyperna är bulklastfartyg, tankfartyg och containerfartyg (Dalsøren et al, 2009). Containerhandeln tar en allt större del av sjöfartshandeln och består till stor del av varor med högt värde. Tankfartyg svarar för cirka en tredjedel av sjöfartens totala bränsleanvändning. Containerfartygen svarar också mot cirka en tredjedel av bränsleförbrukningen, men består av färre antal fartyg. Containerfartygen är därmed mer bränsleintensiva än tankfartyg (Kommerskollegium, 2012).

VTI (Statens väg- och transportforskningsinstitut) har delat in fartyg i sju olika kategorier efter bruttodräktighet och hjälpmotorns effekt. Indelningen av de sju kategorierna bygger på statistik från 10 000 anlöp i Göteborgs hamn. Den insamlade statistiken från denna datainsamling sammanfattas i tabell 9 (Alexandersson et al, 1993).

Tabell 9. Insamlad statistik om typfartyg (Alexandersson et al, 1993).

| Fartygstyp | Bruttodräktighet | Hjälpmotorernas uteffekt [kW] |
|------------|------------------|-------------------------------|
| 1          | 300-1000         | 230                           |
| 2          | 1000-2500        | 346                           |
| 3          | 2500-4500        | 520                           |
| 4          | 4500-8000        | 786                           |
| 5          | 8000-12000       | 1122                          |
| 6          | 12000-21000      | 1447                          |
| 7          | 21000-           | 1770                          |

## 4.2 Energiförsörjning ombord

Fartyg sköter energiförsörjningen ombord med hjälp av huvudmotorn som används till fartygets framdrivning, hjälpmotorerna som genererar elektricitet och med en ångpanna som används för uppvärmning. Det finns även en nödgenerator, men det används sällan (Alexandersson et al, 1993).

Elektriciteten ombord används till drift av motorer, belysning, kommunikation, navigationssystem och andra delsystem. Elanvändningen ombord har generellt ökat då fartygen blivit större och användningen av elektronik ombord ökar. Spänningen bestäms av installerad effekt, förbrukning och det största effektbehovet. Traditionellt har distribution av lågspänning varit vanligast ombord, men då effektbehovet ökat har medelhög spänning blivit vanligare (Andersson, 1999).

Fartyg har normalt ett delat ställverk där var sida matas av en, två eller tre generatorer för att skapa redundans i systemet. För ytterligare redundans kan generatorerna delas upp i två oberoende system placerade i olika utrymmen för att öka säkerheten. Fartyget har oftast två till fyra hjälpmotorer som var och en är kopplade till en generator. Hjälpmotorerna kan startas från kontrollrummet och infasning av generatorerna till fartygets elnät sker med hjälp av en kontrolltavla som distribuerar elektriciteten till olika förbrukningspunkter. Då motorn går med rätt varvtal har generatoren och nätet samma frekvens och magnetiseringsströmmen i magnetpolarna regleras så tomgångsspänningen är den samma som nätspänningen. Inkoppling bör sedan göras då generatorns spänning är lika stor och motriktad nätspänningen (Andersson, 1999).

### 4.3 Fartygstypernas olika förutsättningar att anslutas till landström

De flesta fartyg använder 60 Hz, men fartyg som enbart trafikerar Europa kan använda 50 Hz (Vinnova, 2012). En sammanställning över frekvensfördelning mellan olika fartygstyper visas i tabell 10.

*Tabell 10. Frekvens för olika fartygstyper (Ericsson och Fazlagic, 2008).*

| Typ av fartyg     | 50 Hz | 60 Hz |
|-------------------|-------|-------|
| Container < 140 m | 63 %  | 37 %  |
| Container > 140 m | 6 %   | 94 %  |
| Tankfartyg        | 20 %  | 80 %  |

Enligt Tetra Tech (2007) kan tiden i hamn variera mellan flera timmar till flera dagar beroende på typ och storlek på fartyget. En del fartyg har kranar och annan utrustning ombord som kan kräva högre effekt när fartyget skall lossas och lastas (IMO, 2009). De allra bäst anpassade fartygen att ansluta till landström är fartyg i linjetrafik som ofta besöker hamnen och som ansluter till ett fast kajläge (Sveriges Hamnar, 2013). Det är därför lättare att bygga ut landström för tankfartyg, kryssningsfartyg och roro-färjor eftersom de oftast lägger till vid samma kaj och på samma sätt varje gång, samt inte använder kranar. Vid containerterminaler där fartyg inte alltid lägger till i samma position behövs fler flexibla anslutningspunkter. Vid dessa hamnar är även kajen utrustad med räls, vilket gör att ytan vid kaj blir väldigt begränsad för utbyggnad av landström (World ports climate initiative, 2014a).

Då torrlastfartyg har ett lågt effektbehov och litet behov av elektricitet i hamn bör en kostnads-nyttö-analys utföras för dessa typer av fartyg för att se om landström är lönsamt. Förstudier har visat att miljövinsterna från dessa fartyg är mycket små i relation till investeringen som måste göras (Port of Oslo, 2012).

Bulklastfartyg hyrs ofta ut och schemaläggs efter behov, vilket gör att det kan vara mindre vanligt förekommande att samma fartyg frekvent besöker samma hamn. Hjälpmotorernas effekt för ett bulklastfartyg varierar mellan 150-300 kW, men eftersom många fartyg har kranar eller transportband för självlastning ombord är fartygets effektbehov vid hamn sannolikt högre (Pratt och Harris, 2013).

Fördelen med att frakta gods med container istället för bulklast är att godset kan lossas snabbare om det är förpackat i containrar. Gods fraktat i containrar kan lossas under en

dag eller mindre, medan samma gods fraktat som bulklast kan ta mer än en vecka att lossa. Effektbehovet vid kaj kan variera väldigt mycket för containerfartyg, beroende på om det finns kylcontainrar ombord. Effektbehovet kan därför variera mellan 0,5 – 8 MW för ett containerfartyg. Många containerfartyg kör ett regelbundet schema vilket gör att det är vanligt att fartygen återkommer till samma hamn flera gånger om året (Pratt och Harris, 2013).

Tankfartyg använder stora pumpar vid kaj för att lossa last och dessa pumpar är vanligtvis ångdrivna, men nyare fartyg driver istället pumparna med elektricitet, vilket gör att effektbehovet i hamn därför kan öka med en faktor tio. Effektbehovet för ett tankfartyg i hamn kan därför variera mellan 550-800 kW om pumparna drivs med ånga och 8 MW om pumparna drivs med elektricitet (Pratt och Harris, 2013). Tankfartyg lägger vanligtvis till i oljehamnar som är explosionsklassade områden och därför har särskilda krav kring säkerhet. Detta ställer höga krav på utformning av landströmsutrustning i dessa områden (Vinnova, 2012).

## 5 Landström

En stor utmaning med landström är att stora fartyg behöver stora mängder elektricitet, vilket gör att flera kablar måste användas för att ansluta fartyget till lågspänning. Att ansluta 15-20 kablar är inte effektivt, framför allt inte för fartyg som bara ligger vid kaj en kortare period. Genom att ansluta fartyg med högspänning är det dock möjligt att föra över elektriciteten via färre kablar, vilket gör tekniken mer effektiv (Port of Oslo, 2012).

International Standards Organization, International Electrotechnical Commission och Institute of Electrical and Electronics Engineers har tillsammans tagit fram en internationell standard för landström, även kallat HVSC (High Voltage Shore Connection). Standardens huvudsakliga syfte är att garantera säkerheten vid landström samt att säkerställa att det finns en kompatibilitet mellan fartyg och hamnars utrustning för högspänning. Syftet är också att fler fartyg skall kunna anslutas om systemen ser likadana ut. Standarden gäller system som levererar spänning större än 1000 V och det finns ingen standard för system med lågspänning (IEC/ISO/IEEE 80005-1, 2012). Standarden kan dock inte garantera att alla fartyg kan anslutas till alla kajer då spänning, frekvens och kopplingar kan skilja sig åt trots standarden. Standarden har heller inte fastställt om anslutningspunkten skall vara på fartyget eller kajen (Sveriges Hamnar, 2013).

Den internationella standarden behandlar riktlinjer om:

- Systemet i land. Den nominella spänningen ska vara 6,6 och/eller 11 kV galvaniskt separerad från elnätet på land. Om fartyg med lägre effektbehov skall anslutas kan överväganden göras om att märka systemet lägre.
- Systemet ombord på fartyget.
- Anslutningsutrustning och gränssnitt.
- Halvledare och omriktare. Frekvens i land och på fartyg ska överensstämma, annars skall en frekvensomriktare användas.
- Transformatorer.

- Säkerhetsföreskrifter, kontroll, övervakning, koppling och effektregering (IEC/ISO/IEEE 80005-1, 2012).

## 5.1 Systemkomponenter

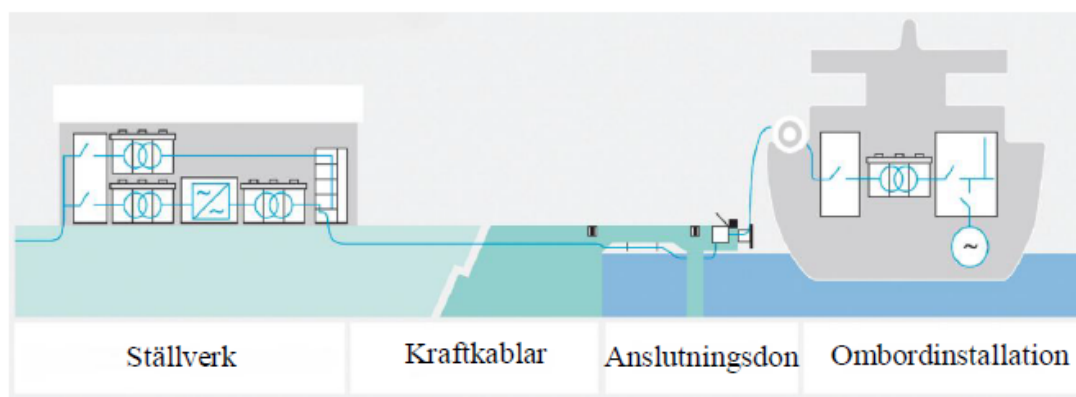
Varje hamn som skall installera landström behöver oftast anpassas efter sina specifika förutsättningar. Trots att det finns en standardisering för landström så gäller den inte fartygsdesign, vilket gör att nästan varje installation blir unik (Martelin, Fazlagic och Skinner, 2010).

### 5.1.1 I land

Storleken på en hamns strömtillförsel kan jämföras med en mindre fabriks strömtillförsel. De flesta hamnar har effekt för att klara av att hantera till exempel kranar, avlastning, kylning och värme samt 2-3 MW för extra behov. Då varje fartygs effektbehov i vissa fall kan vara över 2 MW innebär det att hamnen ofta inte kan hantera landström utan att förstärka nätet (Martelin, Fazlagic och Skinner, 2010).

Figur 4 visar en schematisk bild över hur ett system för landström ser ut. Många landströmslösningar har även en transformator vid varje anslutningspunkt på kajen, dels för galvanisk separation så att jordningsfel ombord inte kan skada elnätet i land och tvärt om, och dels för att transformera ner spänningen.

Varje fartygsanslutning kräver brytare och jordning. Kommunikationssystem gör att personal i land kan koppla in kablar och synkronisera och består vanligen av en dator ombord och en dator i land. Ställverket kan ta upp mycket yta, men det kan placeras långt från kajen, vilket gör att den ofta begränsade ytan precis vid kajen inte behöver påverkas (Martelin, Fazlagic och Skinner, 2010).



Figur 4. System för landström (Olsson, Älgsjö och Westlund, 2013).

Ett stort problem är att fartyg har olika spänning och frekvens, där fartyg från Europa normalt använder 230 V och 50 Hz, varav fartyg från till exempel USA använder 120 V och 60 Hz. För att kunna ansluta fartyg av en annan frekvens än det lokala nätets frekvens behövs därför en frekvensomriktare (Port of Oslo, 2012). En frekvensomriktare omvandlar växelspanning från en frekvens till en annan frekvens (Alfredsson, 1994). Vid anslutning av landström omvandlar frekvensomriktaren 50 Hz till 60 Hz. Teoretiskt finns det två möjliga sätt att placera frekvensomriktaren. Den ena lösningen innebär att man har en frekvensomriktare centralt placerat i ställverket som möjliggör att både 50 Hz och 60 Hz kan matas ut, vilket illustreras i figur 4. Den andra

lösningen innebär istället att man har en frekvensomriktare vid varje kajplats, vilket kräver investeringar i flera frekvensomriktare och leder till högre kostnader (Prat och Juandó, 2012).

### **5.1.2 Ombord på fartyget**

Att bygga om och anpassa fartyg till landström kan ta mellan en och flera veckor. För containerfartyg och ro-ro-färjor förvaras vanligtvis kabeln ombord på fartyget och viras ner via en spole till kajen, där den sedan ansluts. På kryssningsfartyg finns oftast kablarna istället i land och lyfts upp av en kran för att anslutas ombord (Martelin, Fazlagic och Skinner, 2010). Fartygets transformator är relativt stor och då utrymme är en begränsande faktor på fartyg kan det vara en utmaning att hitta tillräckligt med plats för att placera transformator och eventuella kablar ombord (Tetra Tech, 2007).

### **5.1.3 Anslutning**

Att ansluta till landström kan ta mellan fem till trettio minuter och kabeln kan hanteras antingen av personal ombord eller i land. Det pågår även utredning om möjligheten att automatisera anslutningen av kabeln (Martelin, Fazlagic och Skinner, 2010). Systemet till anslutningskabeln bör vara utformad så anslutning går snabbt och säkert. Man behöver förutse och anpassa systemet för möjliga rörelser från fartyget som kan vara relaterade till fartygets vikt och hur djupt det ligger. Kabelsystemet får heller inte störa förtöjning eller lastning vid kajen (Cuculić, Vučetić och Tomas, 2011). Anslutningen överför inte bara effekt, utan även kommunikation mellan fartyg och land via fiberoptik, vilket är inbäddat i anslutningskabeln (IEC/ISO/IEEE 80005-1, 2012).

När anslutningskabeln inte används rullas den in och förvaras antingen ombord eller i land (Tetra Tech, 2007). Om kabeln förvaras ombord installeras anslutningspunkter med ett eller fler uttag vid kajen. Dessa uttag placeras oftast separat i nedgrävda kabelbrunnar med körbara lock (Cuculić, Vučetić och Tomas, 2011). Figur 5 visar hur en anslutningspunkt i en nedgrävd brunn kan se ut. Utformningen av anslutningspunkterna ser olika ut och är alltid kundanpassade. Brytare kan antingen placeras vid uttaget eller centralt i ett ställverk. Att placera brytare vid uttaget är inte lika vanligt som en central placering och det tar upp större yta vid kaj (Wiksborg, 2014). Det behöver finnas ett anslutningsuttag efter varje 50-70 meter längs kajen för att undvika att långa kablar behöver användas, då dessa kan vara i vägen för fartygets förtöjningslinor (Vinnova, 2012).



*Figur 5. Nedgrävd anslutningspunkt som används då anslutningskabeln förvaras ombord (Cavotec, 2014).*

Om kabelsystemet förvaras i land finns det på fartyget en anslutningspanel bestående av brytare, skyddsrelä, jordningskabel och kontrollsystem (Cuculić, Vučetić och Tomas, 2011). Förvaras kabeln ombord finns istället en panel i land bestående av brytare, skyddsrelä, anslutning och kontrollsystem (Martelin, Fazlagic och Skinner, 2010). Varje uttag måste kunna kopplas från och jordas då inget fartyg är anslutet (Vinnova, 2012).

Om kabeln placeras i land kan kranen både vara fast och mobil. I figur 6 visas hur en lösning med en fast kran kan se ut. Att placera kabelsystemet i land anses av många vara den bästa lösningen då det om kranen är mobil kan ge en mer flexibel lösning som gör att anslutningen kan ske lättare vid olika platser på kajen, samt för att uttag vid kajen är mycket mer känsliga för väder och fukt och inte kan placeras lika långt från havet som den mobila kabellösningen (Cuculić, Vučetić och Tomas, 2011).



*Figur 6. Kabelsystem som förvaras i land vid Ystad hamn (Författarens bild).*

Som säkerhetsåtgärd finns det två typer av nödstopp. Om fartyget förflyttas förbi varningsområdet för rörelse framåt initieras en signal från fartyget till land. Om fartyget förflyttas förbi den absoluta gränsen för rörelse framåt initieras en brytning från land (IEC/ISO/IEEE 80005-1, 2012). Det är mycket viktigt att det finns säkerhetssystem som kan bryta, om fartyget skulle driva bort från kajen eller om personal skulle glömma att koppla ur landanslutningen (Sjögren, 2014).

## 5.2 Barriärer och drivkrafter för landström

EU-direktivet 2003/96/EC behandlar skatt på energi och elektricitet. Detta direktiv gör det möjligt för medlemsstater att få skattereduktion på elektricitet till fartyg i hamn och i Sverige och Tyskland har man implementerat denna skattereduktion (Radu och Grandidier, 2012). År 2011 sänktes energiskatten på elektricitet för fartyg anslutna till landström från 28,0 öre/kWh till 0,5 öre/kWh och gäller för fartyg i yrkesmässig sjöfart med lägsta spänningen 380 V (Regeringens proposition 2009/10:144).

Skattereduktionen är en drivkraft som kan göra anslutning till landström kostnadseffektivt jämfört med att använda marint bränsle i hamn.

Den internationella standarden för landström kan också ses som en drivkraft. Förhoppningen med standardiseringen är att minska barriärer för landström och att utbyggnaden skall öka. Då fler installationer ser likadana ut ökar sannolikheten att fler fartyg kan anslutas i fler hamnar vilket ökar lönsamheten för alla inblandade aktörer.

En barriär för att inte fler hamnar använder landström i Europa beror främst på de höga kostnaderna. Generellt kan man säga att ju fler timmar per år som landström används, desto lägre blir kostnaden per enhet av utsläppt förorening och om högspänning finns tillgänglig vid hamnen så blir investeringskostnaderna per kaj lägre (Theodores, 2012). Att bygga en ny terminal och anpassa den till landström beräknas bli billigare och även underlätta den tekniska designen jämfört med att anpassa en existerande terminal (Fiadomor, 2009). Att elnätet ofta behöver byggas ut är en kostnad som gör att alla hamnar inte har råd att investera i landström och då energikostnaderna är relativt höga är anslutning till landström inte heller alltid kostnadseffektivt (Giulia et al, 2011). Hur kostnaderna för landström skall fördelas mellan hamnar, rederier och övriga aktörer är inte fastställt och varken en hamn eller ett rederi kan motivera investeringar i dyr utrustning utan garanti att systemet kommer fungera under en lång tid (Martelin, Fazlagic och Skinner, 2010). Många rederier anser generellt att landström kostar för mycket, att det krävs för mycket resurser att ha kapacitet för både diesel och elektricitet ombord och att det finns flera säkerhetsfrågor kring anslutningen (Fiadomor, 2009). Om bara fåtalet hamnar erbjuder landström blir det heller inte lika intressant för rederier att investera i landström (Zanetti Libera, 2013). Avsaknad av standardisering för fartyg kan också ses som ett problem då fartyg som byggs på olika platser i världen har olika spänning och frekvens (Giulia et al, 2011).

Modelleringar visar att förbrukningen av bränsle i hamn är cirka 5 % av den totala konsumtionen och att utsläpp i hamn motsvarar 2-6 % av de totala utsläppen (Dalsøren et al, 2009). Landström kan därför ses som en åtgärd som inte påverkar fartygets utsläpp särskilt mycket, men det är framför allt utsläpp i närheten av befolkade områden som påverkar människors hälsa mest, även om dessa utsläpp är små sett till fartygets hela resa.

## 6 Hamnar med installerad landström

Även om landströmsanslutningar till högspänning är en fullt utvecklad teknik används den relativt lite och få fartyg är anpassade för landström. Globalt sett används landström med högspänning mycket i Kalifornien och i delar av Europa, men lite i övriga delar av världen (Ballini, 2013). Flera hamnar världen över undersöker dock möjligheterna att implementera landström (Onshore power supply, 2014b). I detta kapitel presenteras hur landström implementerats i ett antal städer runt om i världen.

### 6.1 Europa

EU vill globalt se en minskning av utsläpp från fartyg och det tidigare nämnda svaveldirektivet är en del i detta arbete (European Commission, 2014b). I svaveldirektivet uppmuntrar EU hamnarna i Europa att erbjuda landström då detta minskar utsläpp till luft (Official Journal of the European Union, 2012).

#### 6.1.1 Göteborg

År 1989 började två av Stena Lines färjor att anslutas till landström via lågspänning i Göteborgs hamn och år 2000 byggdes en anläggning med högspänning i hamnen. Vid denna tidpunkt var intresset för landström från europeiska hamnar väldigt lågt. År 2011 stod en ny anläggning klar med frekvensomriktare, vilket gör det möjligt att ansluta fartyg oavsett dess frekvens. Anläggningen var ett samarbete mellan Göteborgs hamn och Stena Line och innebar att alla fem av Stena Lines passagerar- och fraktfartyg nu

kan använda landström i hamnen. Göteborgs hamn var en av de första i världen att erbjuda landström med högspänning och var tredje fartyg i hamnen kan nu anslutas till landström. Hamnens ambition är att bli den första ro-ro-terminalen i världen att erbjuda landström till samtliga besökande fartyg (Wilske, 2012). Idag kan fartyg anslutas till landström vid fem av hamnens kajer med 6,6 kV eller 11 kV (Göteborgs hamn, 2013).

Generellt hade ingen del av hamnen kapacitet att försörja fartyg med elektricitet då de var utformade så att fartygens elektricitet skulle genereras ombord på fartygen via fartygens hjälpmotorer. Man valde att bygga en ny central station och att placera frekvensomriktare centralt i ställverket, istället för att förse varje kaj med en frekvensomriktare. Med två parallella frekvensomriktare och dubbla skenor kan både 50 och 60 Hz levereras samtidigt (Vinnova, 2012).

### **6.1.2 Ystad**

Ystad Energi har investerat fem miljoner kronor i form av förändring av nätstruktur samt två parallella kablar från deras mottagningsstation och Ystad hamn har investerat 35 miljoner kronor i utbyggnad av landström till Ystad hamn. I hamnen behövdes en ny fördelningsstation byggas för att klara av det nya effektbehovet som landström medför (Svensk Energi, 2013). Fyra kajer har landanslutning och hamnens ställverk matar el till kajplatserna efter behov. I ställverket finns en frekvensomriktare som möjliggör anslutning av fartyg med 50 och 60 Hz vid samma kaj. Anläggningen kan leverera 10 MW, varav hälften med 60 Hz och hälften med 50 Hz. Kablar går ut till färjelägena från stationen och kabeln som kopplas till färjan finns tillgänglig via en kran. Kranen sitter fast i ett betongblock och kan röras i sidled. I hamnen ansluts nu ro-ro/passagerarfartyget Skania dagligen till landström. Anslutningen sköts helt och hållet från fartyget som kan styra kranen ombord och som via radio kommunicerar så att ställverket känner av vilket fartyg som ska anslutas och ställer in rätt fas och frekvens (Sjögren, 2014).

Det är svårt att hitta utrymme för utrustning för anslutning ombord, vilket gör att kranarna i land måste individanpassas till varje fartyg, då inkopplingspunkten sitter på olika ställen på fartygen beroende på var det finns plats att placera utrustningen ombord. Anslutningslägena i Ystad är därför tekniskt identiska, men kranarna ser olika ut och är individanpassade efter fartygen. Effektbehovet varierar något mellan sommar och vinter, då bland annat air condition används på sommaren (Sjögren, 2014).

Satsningen i Ystad hamn innebar att hamnen fick Sveriges högsta täckningsgrad av elanslutna färjelägen. Fartygen ansluter med 11 kV och transformatorn ombord på fartyget omvandlar spänningen till fartygets spänning som varierar mellan 280-690 V. Fartygens toppeffekt i Ystad är 1-2,5 MW och de räknas därmed som små förbrukare. När fartygen ligger i hamn används elektriciteten framför allt till barlastpumpar, luftkompressorer och ventilation (Ystad Hamn Logistik, 2011).

### **6.1.3 Rotterdam**

Rotterdams hamn är den största hamnen i Europa med 167000 anlöp per år och det fanns tidigt möjligheter för landström i hamnen (Port of Rotterdam, 2014). Det fanns ett system för landström vid kryssningsterminalen, men det användes aldrig då effektbehovet för moderna kryssningsfartyg är betydligt större än vad systemet klarade av att leverera. En förstudie där man räknade med att scenario där 100 % av fartygen anslöts till landström visade sig inte vara lönsamt då ett fartyg beräknades få sex gånger dyrare kostnader jämfört med kostnaderna för bränslet som kunde sparas in (Doves,

2006). Rotterdam installerade dock landström år 2012 där lösningen blev ett nytt ställverk innehållande en frekvensomriktare för att kunna ansluta fartyg av båda frekvenserna (ABB, 2012). Det matande nätet är 23 kV och det behövdes därför en transformator på land för att transformera ned spänningen till 11 kV. Fartygen som är roro/passagerarfartyg ansluts sedan med 11 kV och ombord på fartyget placeras en transformator som minskar spänningen till 6,6 kV eller 440 V, beroende på vilken spänning som används på fartyget (Smits, 2008).

I Nederländerna är det vanligt att fartyg för inlandssjöfart ansluter till landström via lågspänning genom att ansluta sin kabel, betala i en automat och sedan få ström till fartyget (van Veen, 2014). Sedan år 2010 är det förbjudet för fartyg på inre vatten att använda hjälpmotorerna i hamnen i Rotterdam och dessa fartyg måste ansluta till landström via lågspänning. Under år 2012 fanns 371 anslutningspunkter för lågspänning i hamnen. Det har dock varit problem med dessa anslutningar, framför allt att lyfta kablarna. Det har också visat sig att landström inte är lönsamt för fartyg med farligt gods på grund av problem med säkerheten (Port of Rotterdam, 2013).

#### **6.1.4 Lübeck**

Lübeck är den första hamnen i Tyskland som har installerat landström. Systemet byggdes ut för Stora Ensos fartyg och rederiet Transatlantic lägger till vid hamnen med roro-fartygen Transpaper, Transpulp och Transtimber. Dessa fartyg var redan anpassade för landström då de även lägger till vid bland annat Göteborgs hamn. Hamnen i Lübeck byggde ut landström för att passa dessa fartyg som har anslutningskabeln ombord. Systemet har ingen frekvensomriktare då dessa fartyg använder 50 Hz (Siemens, 2008). I Lübecks hamn är spänningen i elnätet 10 kV och för utbyggnad av landström installerades en ny transformator med 2500 kVA för att transformera ned spänningen till 6 kV som är spänningen som fartygen ansluts med (Marinelog, 2008).

#### **6.1.5 Oslo**

Oslo är den första hamnen i Norge att erbjuda landström och kan leverera upp till 4,5 MW (Oslo Havn KF, 2011). Fartygen Color Magic och Color Fantasy, världens största respektive näst största kryssningsfartyg, lägger till i hamnen (Color Line, 2014). De förbrukar tillsammans cirka 5 GWh per år när de ligger vid hamnen i Oslo (Oslo Havn KF, 2011). Color Fantasy och Color Magic går mellan Oslo och Kiel med två dagars resor och lägger till varannan dag mellan klockan 10-14 i Oslo hamn. Under en vecka ligger de två fartygen därmed vid kaj i Oslo under 28 timmar (Port of Oslo, 2012). Fartygen ansluts med 11 kV och anslutningen till landström ger en minskning av 3000 ton koldioxidutsläpp per år. Beroende på pris på olja och elektricitet är det även möjligt för fartyget Color Line att minska sina energikostnader när den ligger vid kaj i Oslo. Att bygga om och anpassa båda fartygen till landström kostade 23 miljoner NOK (Oslo Havn KF, 2011).

Containerfartygen som lägger till i Oslo hamn är ur internationell synvinkel små och har spänning på 230, 400 eller 690 V. Att ansluta dessa typer av fartyg med ISO-standard är därför dyrt och de flesta av dem är inte heller anpassade för landström. De flesta fraktfartyg har lågt effektbehov och har därför ett mindre behov av elektricitet när de ligger vid kaj. Detta innebär att utsläppen från dessa fartyg är mindre än för internationella färjor och stora passagerarfartyg och miljövinsterna blir därför mindre

för dessa fartyg. Landström finns därför inte tillgängligt för dessa fartyg i dagsläget (Port of Oslo, 2012).

Oslo hamn planerar att bygga en station vid passagerarterminalen för att erbjuda landström med högspänning med både 50 och 60 Hz. Hur lönsamt projektet blir beror på hur många fartyg som ansluter till landström, energipriset och vad som anses vara ett konkurrensmässigt pris på landström. Projektledaren på Color Line Marine menar att ett sådant här projekt med så lång återbetalningsperiod inte är optimalt företagsekonomiskt då det är riskabelt att anta att priset på elektricitet kommer förbli lågt i över tio år, men menar att projektet är positivt för företaget ur en socialt ansvarstagande synvinkel (Port of Oslo, 2012).

Hamnen beräknar att kostnaden för utbyggnaden av landström kommer kosta 60 miljoner NOK. Hamnen erbjuder rabatt för fartyg som använder landström, men detta anses inte räcka, utan en skattereduktion skulle behövas för att landström ska kunna konkurrera med marint bränsle (Port of Oslo, 2012).

### **6.1.6 Piteå**

I Piteå hamn finns en roro-kaj som erbjuder landström till de två roro-fartygen Balticborg och Bothniaborg. Systemet har varit i drift sedan 2004 och var ett gemensamt projekt med rederiet Wagenborg. Företaget SmurfitKappa Kraftliner slöt ett avtal med rederiet vilket innebar att rederiet byggde två nya specialanpassade fartyg och i samband med detta skapades en lösning för landström i hamnen. Hamnen stod för installationen i land som bestod av en ny station för att transformera ned spänningen från 10 kV till 6 kV och rederiet stod för anpassningen av fartygen. De två fartygen använder 50 Hz så ingen frekvensomriktare används i denna hamn. Anslutningen sköts av personal på fartygen och anslutningskabeln förvaras ombord när fartygen inte är anslutna. Fartygen står för cirka 15 % av hamnens anlöp. De anlöper hamnen 52 gånger per år och ligger vid kaj 45 timmar per anlöp (Johansson, 2014).

## **6.2 Nordamerika**

I USA sker lagstiftning inom varje stat och Kalifornien ligger i framkant när det gäller minskning av marina utsläpp. Alla fartyg som lägger till inom statens hamnar ska vara utrustade för landström (Corbetta, 2013). Från och med år 2014 ska alla fartyg stänga av sina hjälpmotorer under hälften av sina anlöp. Procentsatsen höjs till 70 % år 2017 och 80 % år 2020 och att inte följa denna lag kan leda till böter (Starcrest, 2010). Om ett fartyg är utrustat för landström och en kaj med landström är ledig måste dessutom fartyget ansluta till landström (The Port of Long Beach, 2013). Nordamerikas elnät använder frekvensen 60 Hz, vilket innebär att inga hamnar använder frekvensomriktare.

Det finns idag ett antal hamnar i Nordamerika som har landström. I Los Angeles ansluts containerfartyg med spänningen 6,6 kV (Tetra Tech, 2007). I Long Beach ansluts kryssningsfartyg med spänningsnivån 6,6 kV eller 11 kV och tankfartyg ansluts med spänningsnivån 6,6 kV (World Ports Climate Initiative, 2014b). Kryssningsfartyg kan ansluta till landström i Vancouver, San Diego och Juneau med antingen spänningsnivån 6,6 kV eller 11 kV (Cochran Marine, 2013 och Tetra Tech, 2007). I Seattle finns flera kajer där kryssningsfartyg kan anslutas till antingen 6,6 eller 11 kV (World ports climate initiative. 2014c).

## 6.3 Sammanfattning av landström i andra hamnar

Utformningen av systemen skiljer sig mellan hamnar och kajer världen över. Effektbehoven skiljer sig mellan hamnarna och det beror till stor del på vilka typer av fartyg som ansluts, där kryssningsfartygen har störst effektbehov. Samtliga hamnar ansluter med antingen 11 kV eller 6,6 kV och en del med båda spänningsnivåerna. En del hamnar, som Göteborg och Ystad, ansluter via en kran i land, medan andra hamnar, som Piteå, har en anslutningspunkt i land. Att anpassa oljehamnar till landström är ovanligt då dessa hamndelar är exklassade. De flesta hamnar bygger landströmsanläggning i samarbete med ett rederi, men några hamnar tar egna initiativ för att installera landström. I Nordamerika förekommer inte frekvensomriktare då både elnätet och fartygen som ansluts använder 60 Hz. En sammanställning över hamnarnas landströmslösningar visas i tabellen nedan.

Tabell 11. Sammanfattning av system i andra hamnar.

| Stad        | Spänning [kV] | Frekvens [Hz] | Fartygstyp                  |
|-------------|---------------|---------------|-----------------------------|
| Göteborg    | 6,6 och 11    | 50 och 60     | Passagerar- och fraktfartyg |
| Ystad       | 11            | 50 och 60     | Roro/passagerarfartyg       |
| Rotterdam   | 11            | 50 och 60     | Roro/passagerarfartyg       |
| Lübeck      | 6             | 50            | Rorofartyg                  |
| Oslo        | 11            | 50            | Kryssningsfartyg            |
| Piteå       | 6             | 50            | Rorofartyg                  |
| Los Angeles | 6,6           | 60            | Containerfartyg             |
| Long Beach  | 6,6 och 11    | 60            | Passagerar- och tankfartyg  |
| Vancouver   | 6,6 och 11    | 60            | Kryssningsfartyg            |
| Juneau      | 6,6 och 11    | 60            | Kryssningsfartyg            |
| San Diego   | 6,6 och 11    | 60            | Kryssningsfartyg            |
| Seattle     | 6,6 och 11    | 60            | Kryssningsfartyg            |

## 7 Mälarhamnar AB

Mälarhamnar AB ägs av Västerås Stad (55 %) och Köpings kommun (45 %) och bildades år 2001 genom ett samgående mellan hamnarna i Köping och Västerås (Mälarhamnar, 2013b). Sammanslagningen ledde till att utrustning, personal och resurser har utnyttjats mer effektivt mellan hamnarna (Länsstyrelsen Västmanlands län, 2007). Godset som transporteras till hamnarna består bland annat av kol, biobränsle, olja, kemikalier, stål, papper och pappersmassa (Mälarhamnar, 2011).

Miljömässigt är sjötransporter effektiva då ett normalfartyg i Mälaren kan ersätta 300 järnvägsvagnar. Via Mälarhamnar kan sjöfarten nå långt in i landet, vilket totalt minskar utsläpp från trafik då behovet av vägtransporter minskar. Även trafiksäkerheten blir bättre då tung trafik minskas på vägarna och järnvägstransporterna kan minska på det redan belastade järnvägsnätet i Mälarregionen (Länsstyrelsen Västmanlands län, 2007).

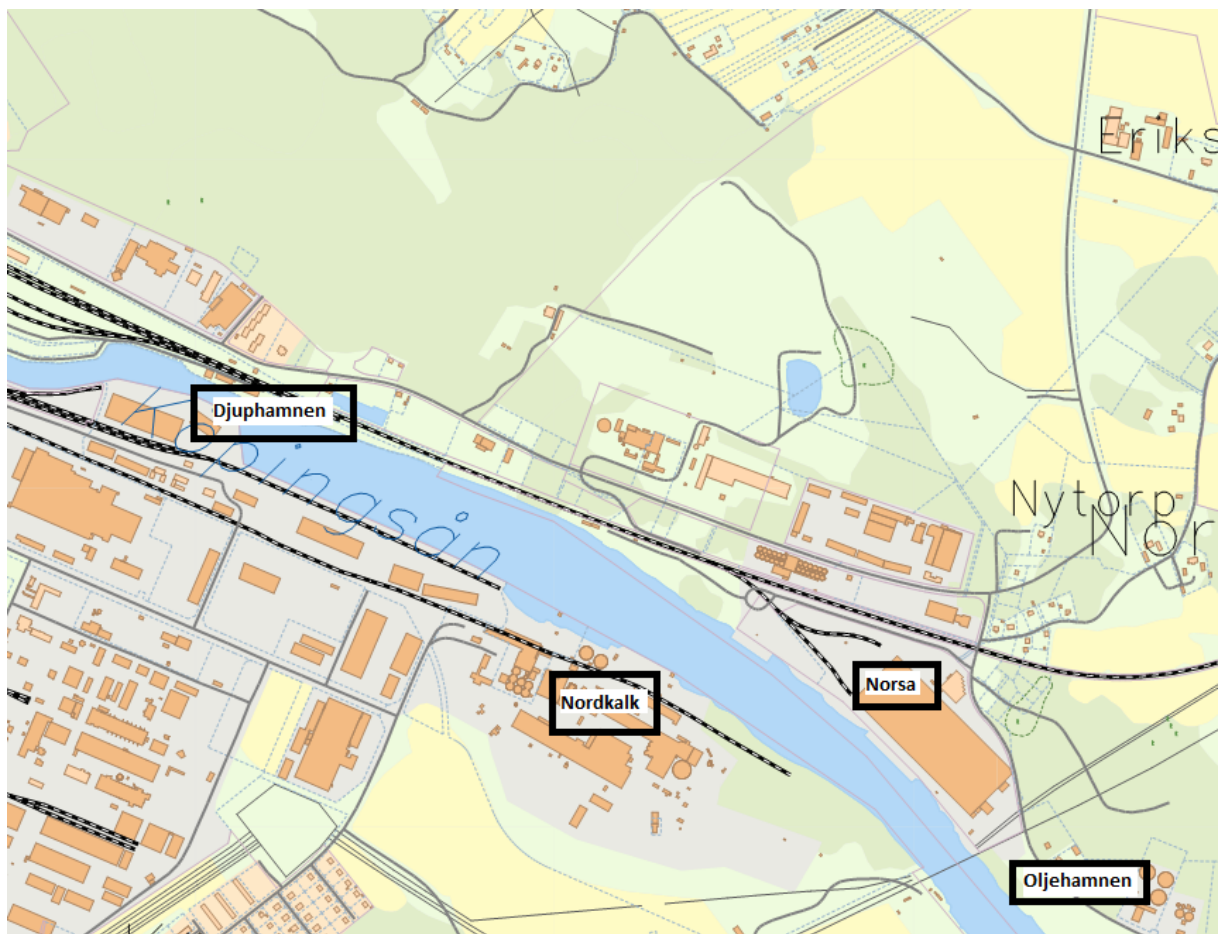
### 7.1 Köpings hamn

Köpings hamn är placerad så långt väster i Mälaren som det är möjligt att ta sig med fartyg. I hamnen finns kunderna i nära anslutning, men det finns även kunder placerade på andra platser som använder hamnen som distributionspunkt. Sjöfarten är viktig för

kommunen och därför får inte bostäder placeras för nära hamnen. Området runt hamnen består därför främst av industriverksamhet, men det finns även ett fåtal bostadshus. Dessa bostäder får finnas kvar, men de får inte byggas ut eller utökas. Nya bostäder som kan påverka hamnens verksamhet tillåts inte (Länsstyrelsen Västmanlands län, 2007).

Hamnen består av fyra hamndelar: Djuphamnen, Oljehamnen, Norsakajen och Nordkalks kaj. I Djuphamnen, som har 640 meter kaj, pågår den mesta av Köpings hamns verksamhet och där finns åtta kajplatser (Länsstyrelsen Västmanlands län, 2007). Det får plats maximalt sex stycken fartyg samtidigt i Djuphamnen (Thiede, 2014). Oljekajen är 130 meter och har två kajplatser. Norsakajen som är 80 meter används av Lantmännen och från denna kaj skeppas spannmål som odlas i regionen. Norsakajen fyller en stark regional funktion, har en strategisk placering och skall enligt Lantmännen behållas på lång sikt (Länsstyrelsen Västmanlands län, 2007). Vid Nordkalks kaj hanteras bulk i form av bland annat kalksten till företagets verksamhet (Länsstyrelsen Västmanlands län, 2007). Nordkalks egen hamn tar emot självlossande båtar, men Mälarhamnar hanterar deras kranlossande båtar (Åhlström Dahl, 2014). De olika hamndelarnas placering visas i figur 7.

Idag är den största dimension på fartyg som kan gå in i Köpings hamn 124 meter i längd och 18,5 meter i bredd. I framtiden ska fartyg med dimensionerna 160 meter i längd och 23 meter i bredd kunna besöka hamnen (Structor, 2013).



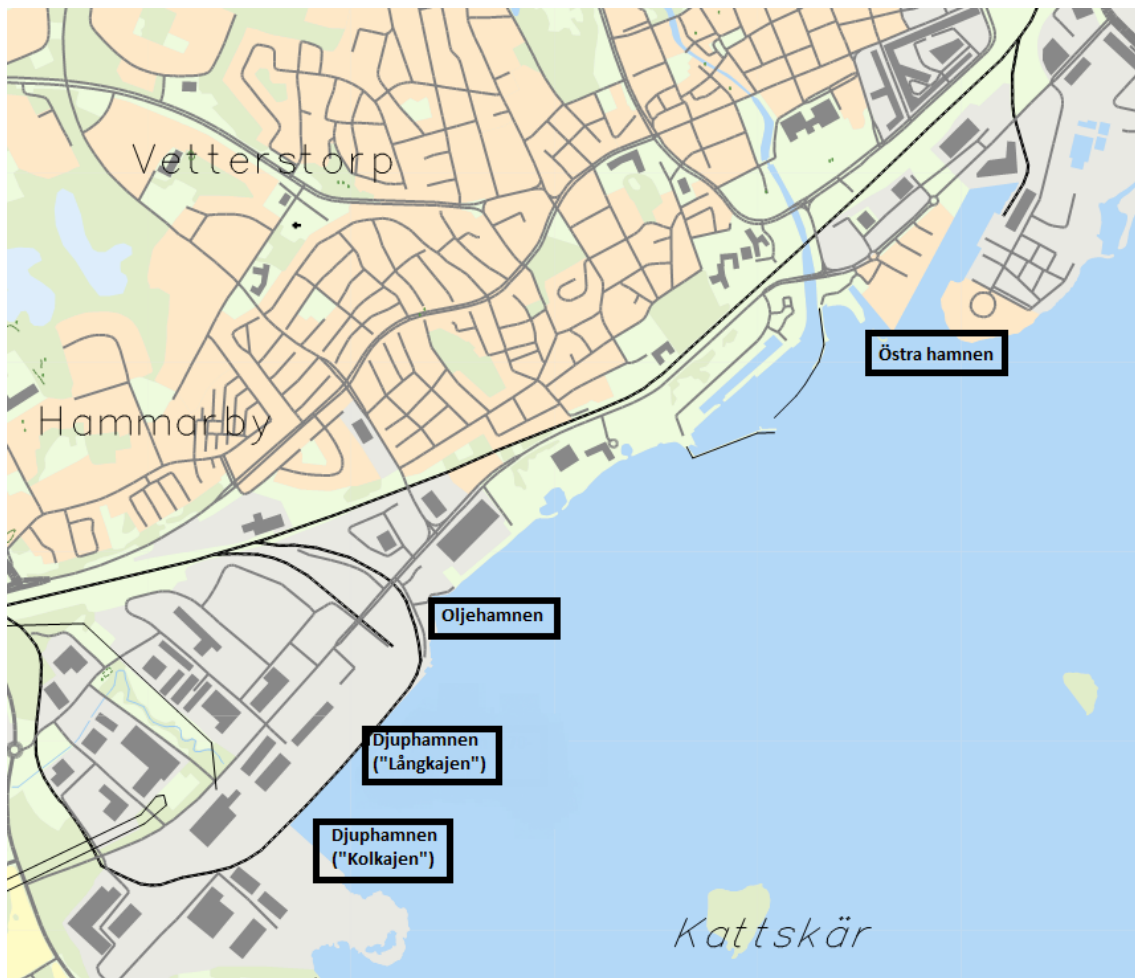
Figur 7. Hamndelarna i Köpings hamn (Mälarenergi AB, 2014, egen bearbetning).

Några luftkvalitetsmätningar har inte utförts i hamnen (Länsstyrelsen Västmanlands län, 2007).

## 7.2 Västerås hamn

Västerås hamn är den största insjöhamnen i Norden och är placerad i ett industriområde där det finns flera kunder. Hamnen är även den näst största containerhamnen på Sveriges östersjökust och i hamnen hanteras containers, torrbulk, stålprodukter och cement (Länsstyrelsen Västmanlands län, 2007).

I hamnen finns sammanlagt elva kajplatser fördelade på tre hamndelar: Djuphamnen och Oljehamnen som ligger i Västra hamnen, samt silokajen som ligger i Östra hamnen (Länsstyrelsen Västmanlands län, 2007). Hamndelarnas placering visas i figur 8.



Figur 8. Hamndelarnas placering i Västerås hamn (Mälarenergi AB, 2014, egen bearbetning).

Djuphamnens kaj är sammanlagt 900 meter, där den så kallade Långkajen är 660 meter och Kolkajen är 240 meter. Det får maximalt plats åtta stycken fartyg vid Djuphamnen (Thiede, 2014). Oljekajen är 120 meter, har en kajplats och är placerad längst norr ut i Djuphamnen (Mälarhamnar, 2013a). Vid denna kaj kan fartyg upp till 140 meter angöras och det finns möjligheter att lagra 480 000 m<sup>3</sup> olja inom hamnområdet (Länsstyrelsen Västmanlands län, 2007). Silokajen i Östra hamnen är 150 meter och används av Lantmännen. Denna anläggning har Lantmännen för avsikt att behålla på

lång sikt och för verksamheten finns ett avtal som gäller till år 2017 (Länsstyrelsen Västmanlands län, 2007). Vid Östra hamnen finns även ett roro-läge (Mälarhamnar, 2013a).

Östra hamnen är belägen närmare bostadsområden än de övriga hamndelarna, men har inte lika många anlöp som de andra hamndelarna. Eftersom det finns bostäder i närheten av Östra hamnen har bullerberäkningar utförts i området, men de beräknade nivåerna från fartygen är låga. Det har inte förekommit några klagomål på buller från Västra Hamnen och därför har inga bullermätningar utförts i denna hamndel.

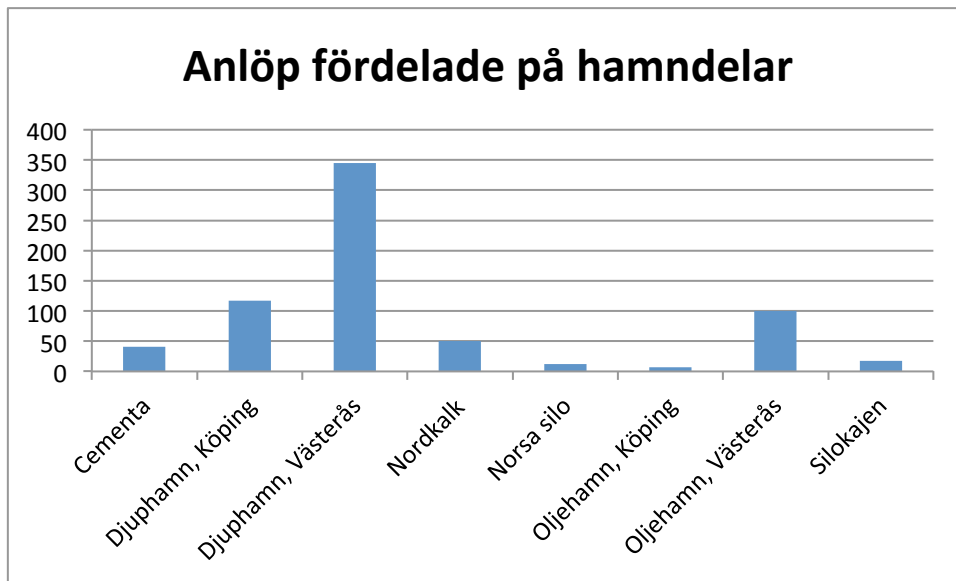
Luftkvalitetsmätningar har inte utförts i någon av hamndelarna (Länsstyrelsen Västmanlands län, 2007).

Västerås hamn kommer genomgå förändringar inom de närmsta åren. Eftersom hamnen har dålig bärighet kan inte alla kajtor nyttjas idag, vilket skapar en begränsning. Säkerhet mot släntstabilitet är för låg i hamnen och vissa delar är utsatta för sättningar och erosion. Kolkajen och udden sydost om Kolkajen är utfyllda och förorenade. En spont planeras runt udden och Kolkajen för att undvika spridning av föroreningar till Mälaren via erosion. Även vissa delar av Långkajen har dålig bärighet och spontning planeras även för denna yta. Hamnen kan idag inte använda ytan på udden sydost om Kolkajen på grund av dålig bärighet och risk för skred, men genom att stabilisera udden frigörs mer yta för framtida verksamhet i hamnen (Västerås stad, 2013b).

Det största fartyg som idag kan anlöpa hamnen är 124 meter långt, 18 meter brett och 6,8 meter i djupgående. Genom muddring av inseglingsträsk och hamnbassängen kommer vattenområdena fördjupas och breddas. Hamnen ska anpassas så avståndet mellan sjöbotten och fartyg ökar från 80 centimeter till 100 centimeter samt så att fartygens djupgående kan öka från 6,8 meter till 7 meter. Hamnen ska kunna ta emot större fartyg med 160 meter i längd, 23 meter i bredd och 7 meter i djupgående (Västerås stad, 2013b).

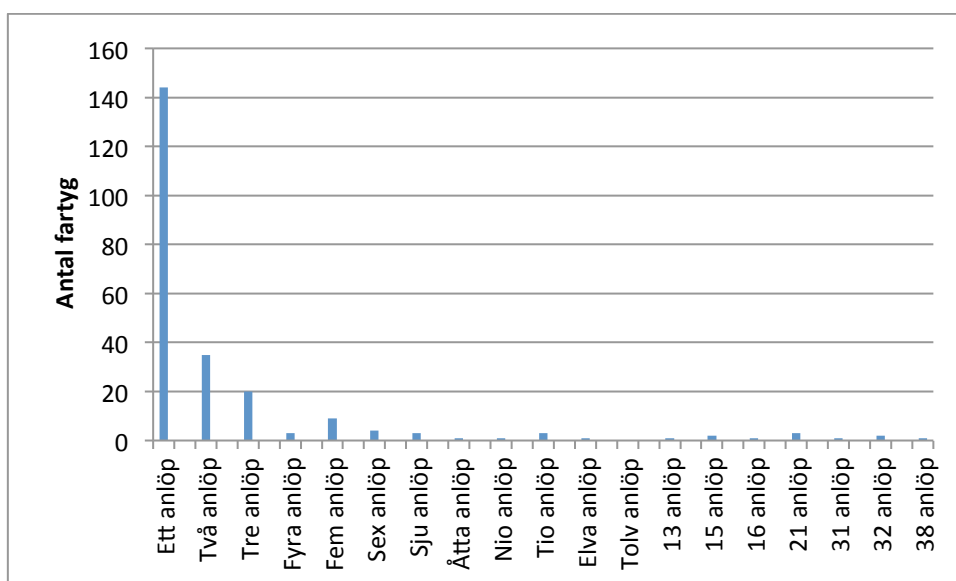
### 7.3 Fartygen i hamnarna

Statistik över fartygens anlöp i hamnarna under år 2013 visar att hamnarna tillsammans hade 689 antal anlöp fördelade på 235 unika fartyg. I figur 9 visas antal anlöp fördelat på hamndel och stad.



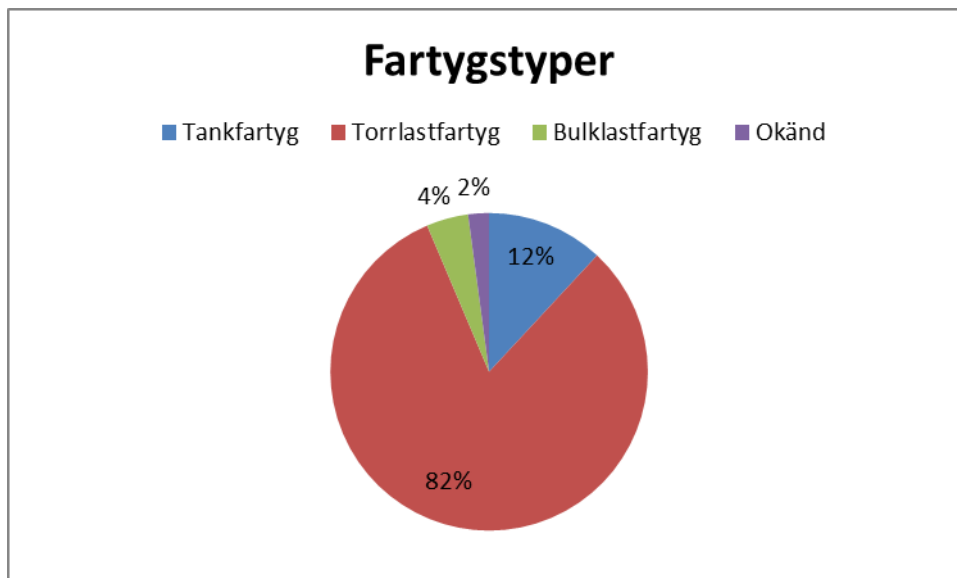
Figur 9. Antal anlöp per hamndel år 2013 (Mälarhamnar AB, 2014, egen bearbetning).

Från figur 9 kan utläsas att Köpings hamn hade 227 antal anlöp och att Västerås hade 462 antal anlöp under år 2013. 67 % av fartygen besökte Västerås hamn, 25 % av fartygen besökte Köpings hamn och 8 % besökte båda hamnarna. Figuren visar att de flesta fartygen går in i Djuphamnarna i Västerås och Köping och det är därför vid dessa hamndelar som det är mest lämpligt att installera landström. Oljehamnen i Västerås skulle också kunna vara aktuell för landström, men har avgränsats från denna studie då det är betydligt mer komplicerat att installera landström i oljehamnar på grund av att de är explosionsklassade. Utifrån data summerades antal anlöp fram för varje fartyg och sedan räknades liggetid i hamn ut för varje anlöp genom att subtrahera avgångstiden med ankomsttiden till kaj. Utifrån dessa data togs sedan medelliggetiden för varje fartyg fram genom att räkna ut medelvärdet, där medelvärdet av tiden i hamn delades på antalet anlöp. Det är vanligast att ett fartyg endast lägger till en gång per år i hamnarna, vilket illustreras i figur 10.



Figur 10. Antal gånger under år 2013 som fartygen anlöp hamnarna (Mälarhamnar AB, 2014, egen bearbetning).

I denna studie har fartygen som besökt Mälarhamnar år 2013 delats in i huvudkategorier baserade på deras funktion. Med utgångspunkt i antal fartyg är den vanligaste fartygstypen i hamnarna ett torrlastfartyg vilket illustreras i figuren nedan.



Figur 11. Fördelning över fartygstyper i hamnarna (Mälarhamnar AB, 2014, egen bearbetning).

I tabellen nedan visas medelvärdet över bruttodräktighet och dödvikt<sup>11</sup> fördelat över fartygstyperna i hamnarna. Dessa värden är relativt lika för de olika fartygstyperna, men tankfartygen har något högre dödvikt än de andra typerna.

Tabell 12. Medelvärden för fartygens storlek i Mälarhamnar 2013.

| Fartygstyp     | Bruttodräktighet | Dödvikt |
|----------------|------------------|---------|
| Bulklastfartyg | 3625             | 4920    |
| Tankfartyg     | 4743             | 6237    |
| Torrlastfartyg | 4203             | 4454    |

### 7.3.1 De mest lönsamma fartygen för landström

Då det är mest lönsamt att anpassa landström till fartyg som lägger an ofta i hamnarna har åtta eller fler anlöp per år valts som en tillräckligt hög frekvens. Denna anlöpsfrekvens har använts vid tidigare utredningar om landström (Vinnova, 2012) och kan därmed antas vara rimlig. Antal fartyg som anlöpte hamnarna fler än åtta gånger var 17 stycken under år 2013 och när fartygen som inte gick in i Djuphamnarna plockats bort återstod tio stycken fartyg som redovisas i tabell 13. Dessa tio fartyg motsvarar 26 % av de båda hamnarnas anlöp år 2013. Minst fyra timmars liggetid är riktvärden för landström enligt Sveriges Hamnar (2013) och alla fartyg i tabellen har vid samtliga tillfällen legat vid kaj i fyra eller fler timmar.

En del data för fartygen består av extremvärden och det är svårt att veta ursprungen till dessa extremvärden. Avvikande data kan bero på rapporteringsfel för avgång, tekniska

<sup>11</sup> Dödvikt är ett mått på fartygets lastförmåga.

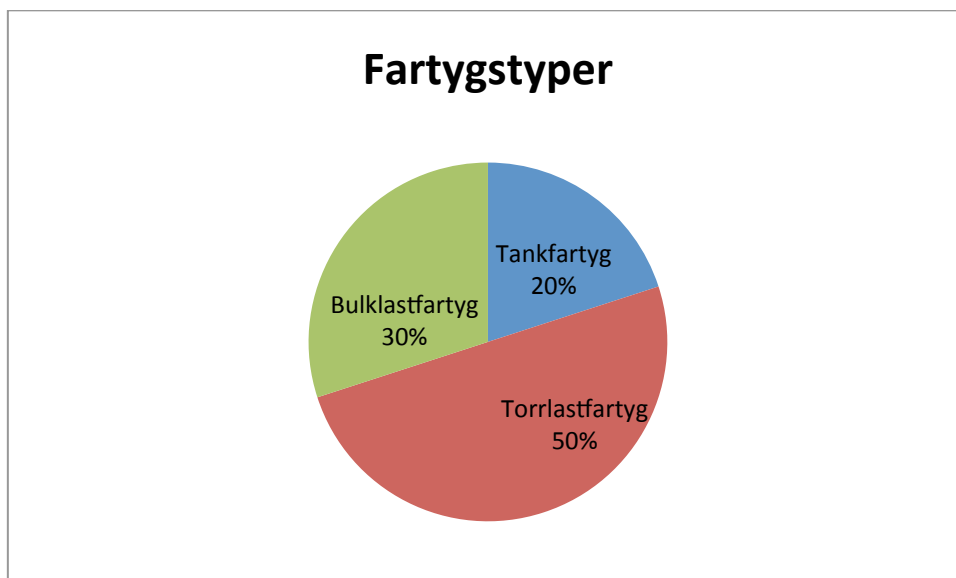
problem som försvårat avgång, speciell last som krävt längre liggetid i hamn eller andra orsaker. Eftersom ursprunget är okänt har extremvärden plockats bort för att ge en rättvisare bild av medelvärdet för tid i hamn.

*Tabell 13. Fartyg som lägger an fler än åtta gånger per år i Djuphamnarna. I bilaga 1 återfinns punktdiagram för samtliga fartyg där avvikande värden för liggetid illustreras grafiskt.*

| Namn           | Antal anlöp | Medelliggetid [h] | Fartygstyp     | Stad     |
|----------------|-------------|-------------------|----------------|----------|
| Coral Ivory    | 32          | 92                | Tankfartyg     | Köping   |
| Orion          | 16          | 20                | Torrlastfartyg | Västerås |
| Cembalo        | 13          | 26                | Bulklastfartyg | Västerås |
| Coral Obelia   | 15          | 21                | Tankfartyg     | Köping   |
| Iceland Cement | 9           | 27                | Bulklastfartyg | Västerås |
| Östanvik       | 8           | 14                | Bulklastfartyg | Västerås |
| Frej           | 21          | 16                | Torrlastfartyg | Västerås |
| Odin           | 21          | 16                | Torrlastfartyg | Västerås |
| Belterwiede    | 10          | 13                | Torrlastfartyg | Västerås |
| Trans Alrek    | 32          | 7                 | Torrlastfartyg | Västerås |

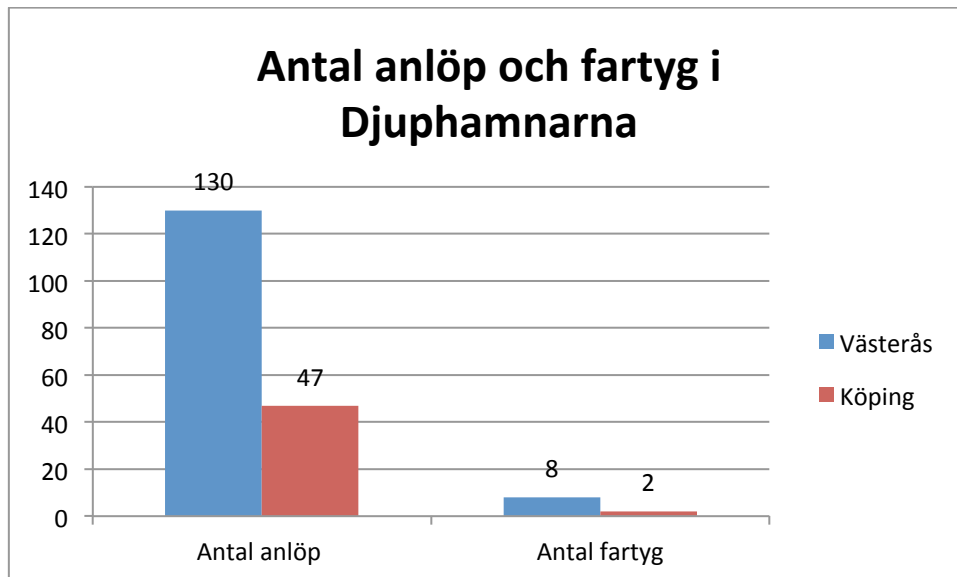
Fartyget Coral Ivory levererar cirka 4000 ton ammoniak till Köping var åttonde dag (Sjöfartsverket, 2014). Under år 2013 kolliderade fartyget, vilket ledde till att systerfartyget Coral Obelia fick ta över leveransen till Köping under en period (Bärgslagsbladet, 2013). Om antalet anlöp för de båda fartygen Coral Obelia och Coral Ivory summeras ger summan att fartygen tillsammans anlöpte Köpings hamn 47 gånger, vilket motsvarar var åttonde dag.

I figuren nedan visas en sammanställning av fartygstyperna för mest frekvent besökande fartygen.



*Figur 12. Fartygsfördelning över fartygen som anlöper Djuphamnarna fler än åtta gånger per år (Mälarhamnar AB, 2014, egen bearbetning).*

Som figur 12 visar återspeglar inte de mest återkommande fartygen riktigt hela fartygsflottan, där torrlastfartyg är i övervägande majoritet. Figuren illustrerar också att även om antalet bulklastfartyg är få så är de ofta återkommande till hamnarna. En sammanfattning över antal anlöp och fartyg av de mest frekvent besökande fartygen i Djuphamnarna visas i figur 13.



Figur 13. Fördelning av antal fartyg och anlöp för de mest frekvent besökande fartygen i Djuphamnarna (Mälarhamnar AB, 2014, egen bearbetning).

### 7.3.2 Fartygens tekniska förutsättningar

I tabell 14 redovisas information om fartygens storlek. Fartygens storlek är relevant för beräkning av deras effektbehov, utsläpp av luftföroreningar samt kostnader, vilket redovisas längre fram i rapporten.

Tabell 14. Parametrar för fartygens storlek.

| Fartyg         | Bruttodräktighet | Typ <sup>12</sup> | Dödvikt [ton] | LOA <sup>13</sup> [m] |
|----------------|------------------|-------------------|---------------|-----------------------|
| Coral Ivory    | 5831             | 4                 | 6875          | 116                   |
| Orion          | 2984             | 3                 | 4852          | 99                    |
| Cembalo        | 2583             | 3                 | 4101          | 86                    |
| Coral Obelia   | 3853             | 3                 | 4338          | 93                    |
| Iceland Cement | 2865             | 3                 | 3655          | 99                    |
| Östanvik       | 4013             | 3                 | 4940          | 107                   |
| Frej           | 2997             | 3                 | 4470          | 97                    |
| Odin           | 2997             | 3                 | 4365          | 96                    |
| Belterwiede    | 3990             | 3                 | 6000          | 111                   |
| Trans Alrek    | 2978             | 3                 | 4720          | 100                   |

Fartygens dödvikt varierar mellan 3000-7000 ton och bruttodräktighet varierar mellan 2000-6000. Trots stor variation kategoriseras de flesta fartyg till typ tre enligt

<sup>12</sup> Sorterat efter typfartygen från Alexandersson et al (1993).

<sup>13</sup> LOA står för length overall, vilket är fartygets totala längd.

kategoriseringen som Alexandersson et al (1993) definierat, men ett fartyg definieras som typ nummer fyra.

För att kunna utforma en lösning för landström är teknisk data om fartygen nödvändig, vilket samlades in via en enkät till rederier och fartyg. Hälften av de mest frekvent besökande fartygen använder frekvensen 50 Hz och ett fartyg, Coral Ivory, använder 60 Hz. Den vanligaste systemspänningen ombord är 400 V. Konsumtion av bränsle i hamn varierar mellan 0,6-0,8 ton per dygn och fartygens uppskattade effektbehov i hamn är 50-440 kW.

De flesta fartygen har tre hjälpmotorer, men en del fartyg har två stycken. För en del fartyg har det inte funnits någon information alls att tillgå om antalet hjälpmotorer och för dessa fartyg har därför antagits att antalet hjälpmotorer är tre, då detta är det vanligast förekommande bland de undersökta fartygen.

Fartyget Belterwiede är utrustad för landström till lågspänning. Det kan anslutas med 380 V och har den 20 meter långa kabeln ombord. Anslutningen är dock inte tillräcklig då fartygets kran skall öppna och stänga luckorna ombord, då pumparna används till barlasten eller vid användning av stand-by-pumparna då huvudmotorn skall startas. Detta är dock aktiviteter som kan genomföras kort efter ankomst och avgång och under resten av tiden i hamn och framför allt över natten kan landströmsanslutningen användas. Vid kajerna som fartyget lägger till vid har det inte funnits möjlighet att ansluta till landström och idag används anslutningen bara när fartyget är i torrdocka (van Veen, 2014).

Fartygen Frej, Odin och Trans Alrek är utrustade för landström, men använder den inte. Detta beror dels på att det är problem med att använda landström i hamn utan att få strömavbrott, men också för att hamnarna som fartygen lägger till i inte har tillgänglig och fungerande landström (Schmalfeld, 2014).

Fartyget Östanvik anslutas till landström med 400 V i Stockholm. Anslutningen sker med fyra kablar som förvaras ombord. Det är totalt 800 A i kablarna, varav 200 A i varje kabel. Effektbehovet är som störst i början av lastning och lossning, medan effektbehovet är lägre mot slutet. Fartygen ansluts även till landström i Slite och Degerhamn, men där används även hjälpmotorerna samtidigt då anslutningen inte har tillräcklig kapacitet för att försörja hela fartyget vid lastning och lossning. Det pågår även en utredning om att anpassa ett annat fartyg som går in i Mälarhamnar till landström, men detta fartyg skulle behöva anslutas med 11 kV då effektbehovet är större och man vill minska antalet kablar och ampere (Wegmann, 2014).

## 7.4 Mälarprojektet

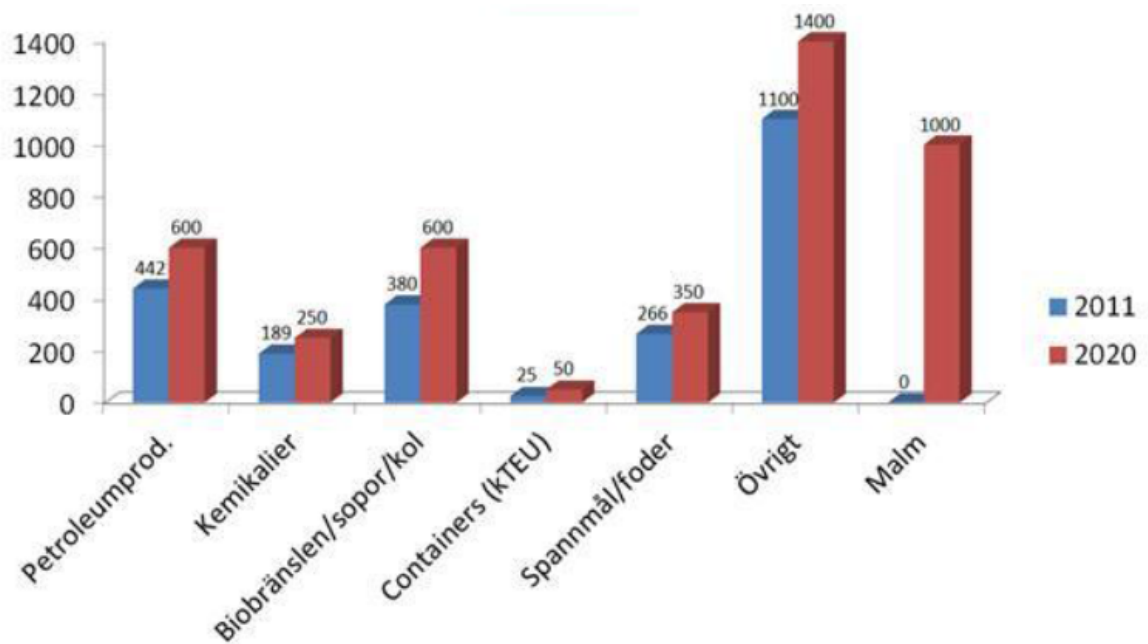
Mälaren är vattentäkt för över två miljoner människor och sjöfarten på Mälaren omfattas därför av ett särskilt regelverk, bland annat måste fartyg som transporterar oljeprodukter ha lots och vara byggda med dubbelskrov. Vattenståndet i Mälaren är cirka 60 centimeter högre än i Östersjön och det finns därför en sluss i Södertälje. Västerås och Köpings sjöfart är beroende av att slussen i Södertälje fungerar. Fartygens storlek ökar ständigt och fartygen kommer bli längre och bredare i framtiden och det är därför viktigt att slussen utvecklas på samma sätt som sjöfarten (Länsstyrelsen Västmanlands län, 2007). Storleken på lastförmåga i sjötransport bestäms av efterfrågan samt fartygets parametrar längd, bredd och djupgående. Mälarmax är de största

dimensionerna ett fartyg som ska trafikera Mälaren kan ha. Hur stor last ett Mälarmaxfartyg kan transportera i Mälaren skiljer sig mellan fartygstyper och beror på vilket gods fartyget är konstruerat för att transportera. Slussen i Södertälje är idag 19,6 meter bred och teoretiskt kan ett fartyg maximalt idag vara 135 meter lång, 19,0 meter bred och 7 meter djupgående. Fartyg som är 135 meter brukar dock vara bredare än 19 meter, vilket gör att bredden är den begränsande faktorn i dessa fall (MariTerm AB, 2002).

Sjöfartsverket har fått i uppdrag av regeringen att förbättra infrastrukturen för Mälarens sjöfart och har i enlighet med miljöbalken förberett en kommande ansökan om tillstånd att fördjupa och bredda allmänna farleder till Västerås och Köping samt att uppgradera Södertäljes sluss och kanal. Detta projekt kallas för Mälarprojektet och staten har avsatt 1,3 miljarder för projektet, men även Västerås stad och Köpings kommun samt Mälarenergi bidrar ekonomiskt till projektet (Sjöfartsverket, 2013). Även länsstyrelsen i Västmanland investerar för att öka sjöfarten på Mälaren via ett projekt som drivs av Handelskammaren Mälardalen och Mälarlogistik. Det treåriga projektet syftar till att få fler företag intresserade av att använda sjöfarten som transportmedel och att en större andel av regionens godstransporter skall gå via sjöfart (Länsstyrelsen Västmanlands län, 2014).

Hamnarna i Köping och Västerås är klassificerade som riksintresse och längs farlederna till dessa hamnar finns ett antal grunda och trånga passager där det finns risk för olyckor. Under perioden 1985-2012 rapporterades cirka hundra olyckor i farleden från Södertälje till Västerås och Köping, där de flesta orsakades av grundstötning. Transporterna i Mälaren består framför allt av varor till hamnarna i Mälaren och varorna är främst råvaror och bränsle. Energiförsörjningen till vissa delar inom regionen är beroende av bränsle som transporteras via Mälaren. Drivkrafterna bakom Mälarprojektet är bland annat ett behov av ökad transportkapacitet. Detta är dock en utveckling som är svårbedömd och projektets konsekvenser och påverkan på samhällsekonomin kommer därför att utredas i ett senare skede. På samma sätt är utveckling av fartygstrafiken svår att förutsäga då den påverkas av bland annat konjunkturen. Inom sjöfarten i Mälaren har det skett en utveckling mot användning av större fartyg då detta ger skalfördelar, vilket i sin tur innebär att fartygen nu storleksmässigt närmar sig olika nivåer av begränsningar i farleden. Mälarprojektet beräknas medföra att större fartyg kan färdas i Mälaren vilket gör att godstransporterna kan öka samt att transportkostnaderna kan minska. Detta kan i sin tur leda till att fler rederier och transportföretag kan bli intresserade av att transportera varor på Mälaren, vilket anses skapa flera positiva konsekvenser för både hamnar och sjöfart (Sjöfartsverket, 2013). Efter fördjupning och breddning av slussen i Södertälje kommer fartyg med dimensionen 160 meter längd, 23 meter bredd och 7 meter djupgående att kunna färdas i Mälaren och detta beräknas medföra att godsvolymer kan öka med cirka 15 % (Västerås Stad, 2013a). Med den nuvarande farleden kan ett fartyg med cirka 9000 i dödvikt trafikera Mälaren, medan den nya farleden möjliggör en dödvikt på cirka 14 100. Detta innebär att hamnarna måste ha tillräcklig kapacitet och ytor för att lossa och lasta större laster som större fartyg medför (Swahn, 2014).

Nedan visas Mälarhamnars förväntade godsmängder år 2020 vilket grundar sig i hamnarnas egna åtgärder samt Mälarprojektet.



Figur 14. Förväntat gods i Mälärhamnar [kton] (Swahn, 2014).

Som figur 14 visar väntas en ökning av samtliga typer av gods år 2020. Fartygsstorlek, antal anlöp och last är dock inte statiskt utan detta förändras över tid även om Mälärprojektet inte skulle genomföras. Större fartyg innebär dock skalfördelar som bland annat gör att företag som idag använder största möjliga fartyg i framtiden kan använda större fartyg, förutsättningarna för dellossning och dellastning blir bättre och rederier som bara har stora fartyg kommer kunna transportera varor på Mälaren (Swahn, 2014).

Med anledning av Mälärprojektet finns en möjlighet att andra typer av fartyg kommer besöka Mälärhamnarna i framtiden. I denna studie används tillgänglig data från fartyg som anlöpte hamnarna år 2013, men ett scenario med större fartyg beaktas.

Ett exempel på ett fartyg som kan färdas i Mälaren efter Mälärprojektet är Ternhav (Sjöfartsverket, 2014). Ternhav är 141,2 meter lång, 21,6 meter bred och använder 60 Hz. Fartyget har en dödvikt på 14796 och en bruttodräktighet på 9980 (Terntank, 2014). Detta kan jämföras med tabell 12 som visar genomsnittlig dödvikt och bruttodräktighet över dagens fartygsflotta. De framtida fartygen har alltså en betydligt större dödvikt och bruttodräktighet. Ternhav placeras i kategori 5 bland typfartygen och motorns effekt är enligt tabell 9 därför 1122 kW, vilket innebär ett större effektbehov än för de fartyg som går in i hamnarna idag.

Fartygen som kan anlöpa hamnarna efter Mälärprojektet beräknas alltså kunna ha dubbel bruttodräktighet och dubbel dödvikt jämfört med fartygen idag. Dessa fartyg kommer dessutom vara av modernare typ än dagens äldre fartyg som besöker hamnarna och i och med bättre effektivitet räknar hamnarna med att liggetiderna inte kommer bli längre än vad de är idag. Hamnarna förbereder också för möjligheterna att kylfartyg kan anlöpa hamnarna. Kylcontainrarna till dessa fartyg kräver elektricitet vilket gör att dessa fartyg har ett större effektbehov i hamn jämfört med dagens fartyg. Allt eftersom containrarna lastas av kylfartyget sjunker dock effektbehovet. Hamnen i San Diego tar emot kylfartyg och har beräknat att effektbehovet i medel var 2548 kW (Yorke

Engineering, LLC. 2007). Dessa fartyg är 178 meter långa, vilket är för långt för att kunna gå in i Mälaren efter Mälarprojektet, men ger ändå en rimlig bild av ett kylfartygs effektbehov. Att ansluta kylfartyg till landström skulle därmed kräva betydligt mer effekt jämfört med att ansluta dagens fartyg.

## 8 Elnätet

I detta kapitel beskrivs hur elnätet och elförsörjningen ser ut till och i hamnarna idag, samt hur en teknisk lösning för landström skulle kunna se ut i hamnarna.

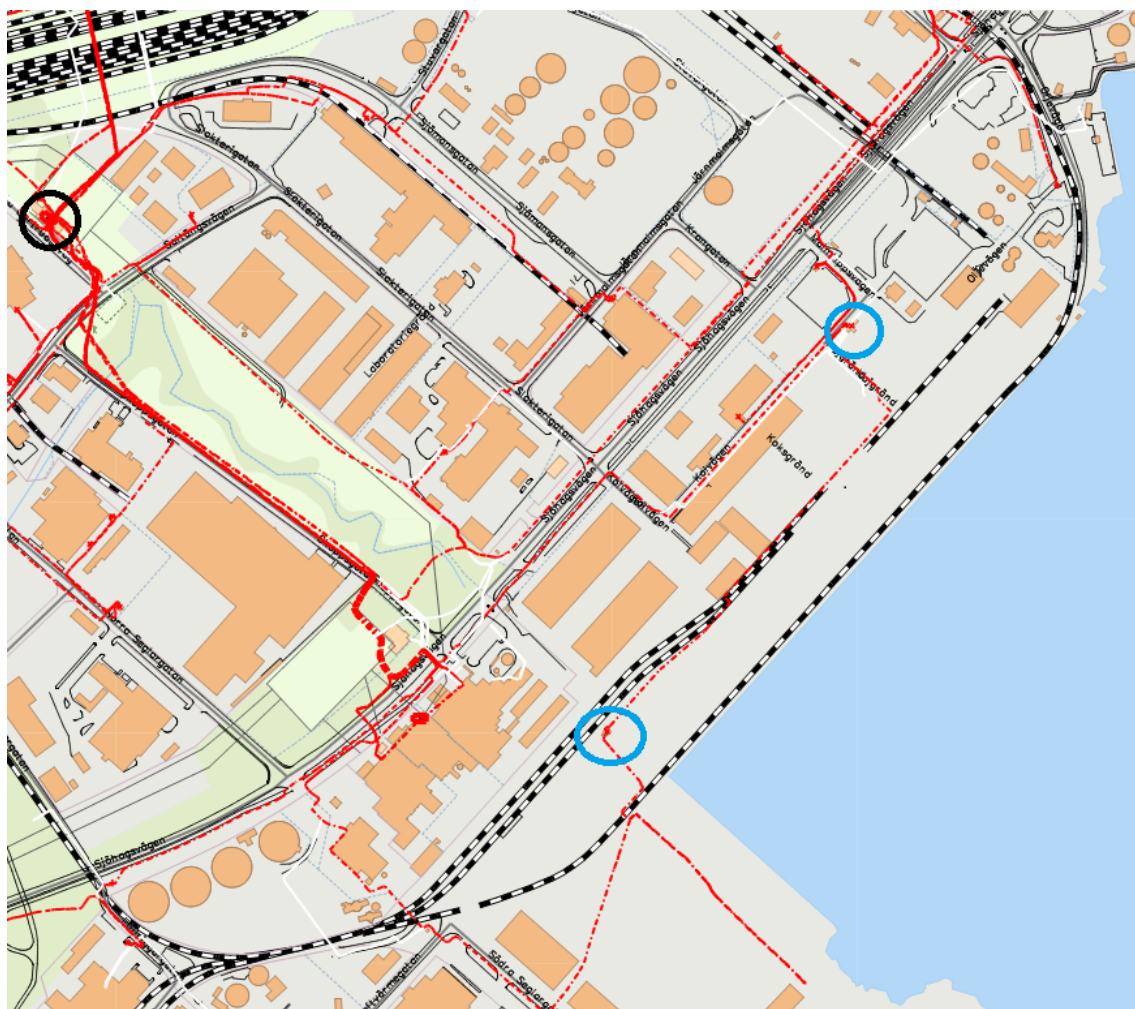
### 8.1 Befintligt elnät

Nedan beskrivs hur det befintliga elnätet i Västerås och Köpings hamn ser ut idag.

#### 8.1.1 Västerås hamn

Hamnen har två nätstationer vars positioner visas inringade i blått i figur 15. Stationerna matas från Västra Mottagningsstationen som visas inringad i svart i figur 15. Till den västra stationen, PT237, levereras 12 kV som transformeras ner till 400 V. Denna station försörjer bland annat strömskenorna till både Kolkajen och Långkajen.

Strömskenorna används till att mata kranarna i hamnen. Den andra stationen, PT68, tar också emot 12 kV och transformerar ned spänningen till 400 V. Denna station matar bland annat strömskenorna till Långkajen. Idag är anslutningseffekten 1200 kVA i varje station och hamnen abonnerar på 520 kVA i PT237 och 340 kVA i PT68.



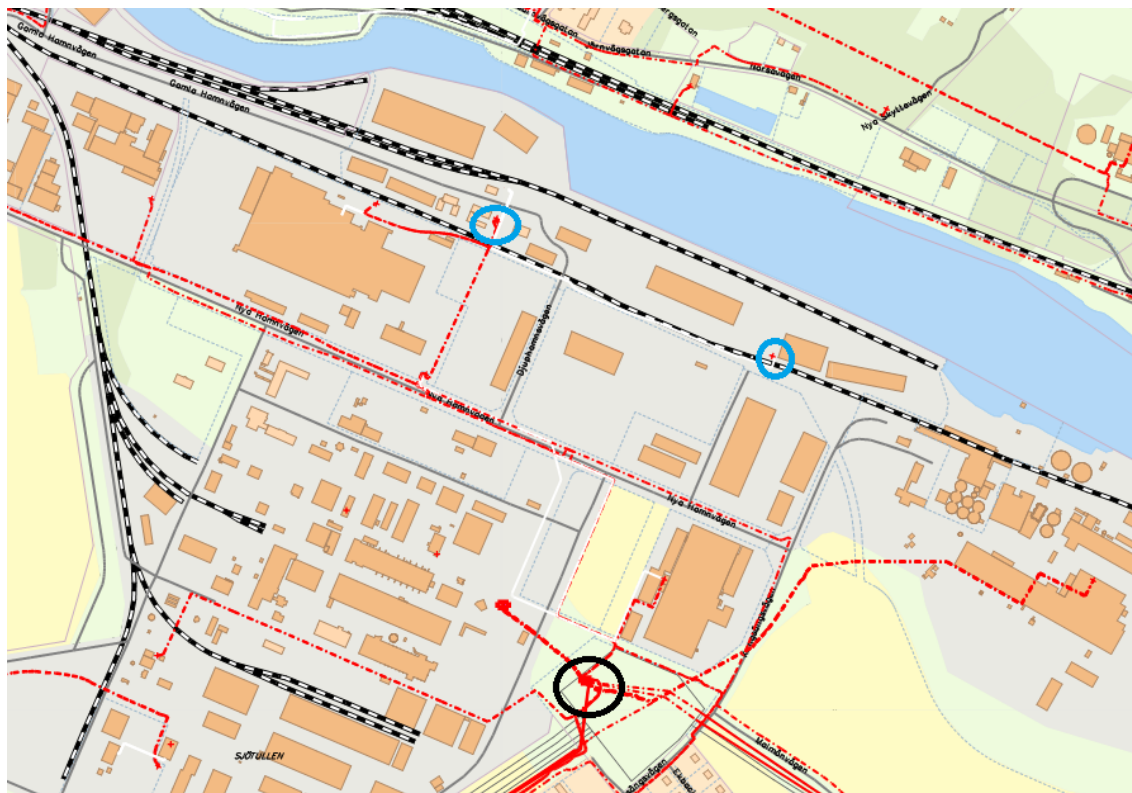
Figur 15. Stationerna vid Västerås hamn (Mälarenergi AB, 2014, egen bearbetning).

Den framtida upprustningen av Västerås hamn kan medföra att det interna elnätet inom hamnen kommer göras om. Det finns idag några kranar som inte längre är i bruk och som ersatts av två nya kranar. De gamla kranarna har en anordning som lyfter upp locket till strömskenekanalerna när kranen förflyttas. De två nya kranarna kan drivas både av diesel och av elektricitet. I dagsläget drivs kranarna med diesel då utbyggnad av matning behövs för att ansluta kranarna, men i framtiden skall kranarna drivas med elektricitet. När kranarna drivs av diesel förflyttas de med hjälp av gummidäck i alla riktningar. När matningen sker med el går kranarna längs med kajen där det kommer finnas brunnar under mark för att ansluta kranens kabel. Troligen kommer det finnas ett uttag var hundra meter. Spänningen i strömskenan längs kajen är idag 400 V och man får inte placera högspänningskablar i samma skena. Vad som ska ske med de gamla lågspänningskablar i strömskenekanalerna vid kaj är i dagsläget inte bestämt. Ett förslag för den framtida strukturen av elnätet är att enbart stationen PT68 blir inmatningspunkt. I detta fall blir den totalt tillgängliga effekten i hamnen 2400 kVA.

### 8.1.2 Köpings hamn

Hamnen har två stationer, A3312 och A3301, och dessa visas inringade i blått i figur 16. Inmatningspunkten till hamnen finns i A3301 och matas från mottagningsstationen BT31 vilken kan ses inringad i svart i figur 16. Stationen A3301 tar emot 12 kV och transformerar ned till 400 V. Hamnen abonnerar på 450 kVA och tillgänglig effekt är

2000 kVA. Matningen av kranarna ser annorlunda ut i Köping jämfört med Västerås då det i Köping inte finns strömskenor, utan kranarna matas med hjälp av en kabelvinda.



Figur 16. Stationerna vid Köpings hamn (Mälarenergi AB, 2014, egen bearbetning).

## 8.2 Förslag på teknisk lösning för landström

För att kunna ansluta fartygen till landström krävs att elnätet till och inom hamnen förstärks. Det sker flest anslutningar i Djuphamnarna och om så många fartyg som möjligt ska ha möjlighet att ansluta till landström är det i dessa hamndelar man bör implementera landström i första hand. Detta innebär dock att systemet blir mer komplext eftersom kopplingspunkter, spänning och frekvens skiljer sig åt mellan många olika fartyg. Förslaget som har tagits fram gäller anslutning till högspänning då detta är mest effektivt och är mest fördelaktigt om större fartyg skall kunna anslutas till landström i framtiden. Nedan beskrivs hur en lösning för landström skulle kunna se ut i Köpings och Västerås hamn.

### 8.2.1 Överväganden

Nedan följer generella överväganden som gäller för både hamnen i Köping och i Västerås. Den specifika tekniska lösningen för de båda städerna redovisas sedan i kapitel 8.2.2 och 8.2.3.

#### 8.2.1.1 Anslutning

De två tekniska lösningarna som finns för anslutning är antingen via en kran med kabel i land eller med uttag vid kaj då kabeln förvaras ombord. Som tidigare nämnt finns det många fördelar med att ha kabeln i land, men detta kräver en större anpassning till

fartyget då kranen måste konstrueras efter var på fartyget kabeln skall tas in och detta varierar från fartyg till fartyg

Det mest realistiska är att individanpassa anslutningen till ett fartyg, men då det idag inte finns något fartyg som besöker hamnarna tillräckligt ofta bör man därför snarare möjliggöra anslutning för flera olika fartyg. I Mälarhamnar anlöper dessutom främst torrlast- och containerfartyg vilket kräver flera flexibla anslutningspunkter då dessa fartyg inte alltid lägger till i samma position. Att ha uttag vid kajen kan därför vara en mer flexibel lösning om flera olika fartyg ska kunna anslutas.

Vid anslutningspunkten i land behöver det undersökas hur många anslutningspunkter man bör ha, där ett uttag per 50-70 meter rekommenderas. Svårigheterna med landström i Djuphamnarna är den begränsade ytan vid kaj eftersom lossning och lastning kräver kranar och landströmslösningen inte bör vara i vägen för kranar eller räls. Den mest praktiska lösningen i dessa hamnar är troligen att anslutningspunkten placeras i en brunn som grävs ner under jord. Detta gör att utrustningen är i vägen så lite som möjligt för arbetet i hamnen, men kostnaderna kan öka då man behöver utföra mer grävningsarbete. Med enbart en brytare i ställverket kommer bara ett fartyg kunna anslutas åt gången utan att det uppstår avbrott då man kopplar in ytterligare fartyg. Då man under inga omständigheter vill ha ett avbrott på ett fartyg föreslås därför alternativet att placera brytare i brunnarna vilket gör att varje uttag kan brytas.

#### **8.2.1.2 Effektdimensionering**

Om landström skall implementeras i Djuphamnen i Köping och Västerås hamn är det största effektbehovet bland de mest frekvent besökande fartygen 786 kW enligt tabell 9. Det är dock troligt att det verkliga effektbehovet är lägre, speciellt om man jämför med det uppskattade effektbehovet som rederier och personal på fartyg uppgett. Ska man bygga ut landström bör systemet dock hellre överdimensioneras än underdimensioneras med tanke på Mälarprojektet som kan möjliggöra att större fartyg med högre effektbehov kan komma att besöka hamnarna. Ett exempel på möjliga fartyg som kan trafikera Mälaren efter projektet placerades i kategori 5 bland typfartygen, vilket innebär ett effektbehov på 1122 kW. Det förväntas även komma kylfartyg efter Mälarprojektet och dessa fartyg kan ha ett effektbehov på 2500 kW, vilket gör att systemet bör dimensioneras för betydligt större effekter än vad som behövs idag för att systemet ska kunna vara användbart i framtiden.

Om kajerna ska ha flera anslutningar så att mer än ett fartyg åt gången kan anslutas blir effektbehovet också större. Vid flera uttag måste varje fartygs effektbehov, samt hela hamnens maximala effektbehov tas hänsyn till. För sex anslutningspunkter kan det största effektbehovet i framtiden bli  $2,5 \times 6 = 15$  MW. Dock är det dels inte troligt att sex kylfartyg kommer ansluta till landström samtidigt och dels gör den nya tillåtna maxlängden på fartygen att om alla fartygen har maxlängd blir det för trångt för sex fartyg att ligga inne vid kaj samtidigt.

Om samtliga uttag nyttjas av fartyg med dagens största effektbehov vid åtta anslutningspunkter behövs  $0,786 \times 8 = 6$  MW, men det är högst osannolikt att åtta fartyg med detta effektbehov kommer ligga vid kaj samtidigt. Det vanligaste effektbehovet idag är 520 kW, vilket ger ett totalt effektbehov på cirka 4 MW om åtta uttag nyttjas samtidigt. Tar man hänsyn till det uppskattade effektbehovet i hamn som är 50-440 kW behövs som mest 3,5 MW om åtta uttag används samtidigt.

Utifrån dagens situation skulle det därför med högsta sannolikhet räcka att dimensionera systemet för 2,5 MW. Att dimensionera systemet för 5 MW borde därför gott och väl räcka för att tillgodose dagens behov, samt i framtiden räcka för att förse två kylfartyg samtidigt med landström.

Två alternativ kommer därför studeras, ett där systemet dimensioneras för  $2,5/0,8 = 3$  MVA och ett där systemet dimensioneras för  $5/0,8 = 6,2$  MVA.

#### **8.2.1.3 Förstärkning och utbyggnad av elnätet**

Den totalt tillgängliga effekten utan att förstärka nätet fram till hamnen i Köping är 2000 kVA, samt i Västerås 2400 kVA. Detta motsvarar 1,9 MW vilket bedöms vara för litet för att tillgodose effektbehovet för framtida fartyg, samt för effektbehovet för flera fartyg samtidigt utifrån dagens fartygsflotta. För att klara av det ökade effektbehovet behöver elnätet fram till hamnarnas stationer förstärkas, vilket bör göras genom att dra två parallella kablar från den matande mottagningsstationen. I både Köpings och Västerås hamn finns sedan en station som kan förse anslutningspunkterna med ström och den mest rimliga lösningen är att dessa stationer fortsätter fördela 12 kV ut till anslutningspunkterna via kanalisation.

En frekvensomriktare måste användas om fartyg med 60 Hz ska anslutas. Man bör därför noga överväga om några fartyg med denna frekvens verkligen kommer använda anläggningen eftersom denna investering är stor. Som det ser ut idag är inget fartyg färdigt att ansluta till landström, och inget verkar förbereda för att göra det heller, men detta kan komma att ändra sig i framtiden. Hamnarna kan idag inte ta emot fartyg över 140 meter, vilket gör att sannolikheten är större att fartygen idag använder 50 Hz. I framtiden blir det dock möjligt för fartyg på 160 meter att gå in i hamnarna, vilket gör att sannolikheten ökar att fartygen använder 60 Hz. Skulle situationen i hamnen fortsätta se ut som den gör idag skulle man därför kunna nöja sig med en landströmsanläggning utan frekvensomriktare då anläggningen skulle kunna användas av flera fartyg, men i och med de framtida större fartygen kan det vara en bra investering för framtiden att installera en frekvensomriktare.

#### **8.2.2 Västerås hamn**

I dagsläget skulle det fungera att inte ha någon frekvensomriktare i Västerås då de fartyg som har uppgett information om frekvens alla använder 50 Hz. Dock finns det flera fartyg där frekvensen inte är känd. Alla av de utvalda fartygen av torrlastfartyg (där containerfartyg är en undergrupp) är under 140 meter, vilket innebär att sannolikheten att frekvensen är 50 Hz är hög, något som belystes i tabell 10. Det är därför troligt att övriga torrlastfartyg som angör hamnen också använder 50 Hz. Dock är en anläggning utan frekvensomriktare mindre flexibel för framtiden och ett alternativ med frekvensomriktare och ett alternativ utan frekvensomriktare har därför beaktats.

Det är rekommenderat att ha uttag med 50-70 meters mellanrum. För Långkajen skulle detta innebära mellan 9-13 uttag, vilket är väldigt många uttag jämfört med övriga kajer runt om i världen, där det oftast är fem eller sex uttag. Då det med dagens begränsning för fartygens längd finns plats för maximalt åtta fartyg samtidigt längs Långkajen är det rimligt att anta att färre antal fartyg kommer rymmas längs kajen i framtiden. Detta gör att 9-13 uttag kan leda till flera outnyttjade uttag, vilket inte är rimligt ekonomiskt. Djuphamnen i Västerås är vinkelrät och inte rak vilket gör det mer utmanande att

utforma en lösning för landström så att uttagen placeras på ett bra sätt. Längs Kolkajen förslås därför att två uttag placeras och längs Långkajen sex uttag.

Matningen av landström vid Långkajen bör ske från PT68 och för att klara av den större belastningen behöver elnätet förstärkas fram till stationen. Detta bör göras genom att dra två parallella kablar från Västra mottagningsstationen till PT68. Kablarna från stationen bör vara  $3 \times 630 \text{ mm}^2$ , vilket gör att cirka 12 MW kan levereras. Matning till landström från Kolkajen skulle kunna ske från PT237 då det från PT237 och ut till Kolkajen redan finns högspänningskablar som idag inte utnyttjas. Eftersom det idag är 400 V i strömskenan vid kajen kan man inte placera högspänningskablar där. Det behöver därför vidare utredas exakt hur den tekniska lösningen ska se ut, då det idag inte är klart vad som ska hända med de gamla lågspänningskablar som inte används av de nya kranarna.

I Västerås hamn skulle det även finnas möjlighet att bygga ut landström för lågspänning. Detta skulle kunna göras genom att använda de överblivna lågspänningskablar från strömskenan och skulle således kunna bli en kostnadseffektiv lösning. Detta förslag utreds dock inte vidare i studien eftersom det som tidigare nämnts är betydligt mer effektivt att ansluta fartyg till högspänning och en lösning med lågspänning blir betydligt mer begränsande.

### 8.2.3 Köpings hamn

Köping har framför allt ett fartyg, Coral Ivory, som skulle ge stora miljövinster att ansluta till landström eftersom fartyget kommer var åttonde dag och ligger vid kaj länge. I Köping bör man överväga att använda en frekvensomriktare eftersom fartyget Coral Ivory använder 60 Hz. Coral Ivorys frekventa besök grundar sig på antal anlop år 2013 och om eller hur ofta fartyget kommer fortsätta anlöpa hamnen i framtiden är inte känt, så det kan därför vara riskabelt att bygga upp en anläggning efter ett fartyg, om det skulle sluta lägga till vid hamnen. Har man dock investerat i en frekvensomriktare har man en flexibel anläggning inför framtiden och detta möjliggör anslutning för framtida nya fartyg som kan anlöpa hamnen. Med avstånd på 50-70 meter behöver Djuphamnen i Köpings hamn 9-13 uttag. Det får maximalt plats sex stycken fartyg med dagens begränsningar, vilket likt Västerås hamn gör att antalet uttag maximalt bör vara sex stycken.

Matningen av landström bör ske från A3312 och för att klara av den större belastningen behöver elnätet förstärkas fram till nätstation. Detta bör göras genom att placera två parallella kablar från mottagningsstationen BT31 till A3312. Kablarna från fördelningsstationen bör vara  $3 \times 630 \text{ mm}^2$ , vilket gör att cirka 12 MW kan levereras till stationen i hamnen.

## 9 Utsläpp

I detta kapitel redovisas de beräknade utsläppen baserat på metodiken presenterad i kapitel två. Vid användning av hjälpmotorerna antas bränslet vara MGO med svavelhalt 0,1 % och vid användning av landström antas elektricitetens ursprungskällor vara fördelade baserade på värden för år 2012. För att beräkna utsläpp har utsläppsfaktorerna i tabell 2 och 3 samt ekvation (1) använts. En mer detaljerad bild över beräkning av utsläpp visas i bilaga 3.

## 9.1 Utsläpp vid användning av marint bränsle

Vid antagandet att enbart Djuphamnen i de båda städerna förses med landström presenteras utsläppen från dessa hamndelar från de tio mest frekvent besökande fartygen i tabellen nedan.

*Tabell 15. Utsläpp från de mest frekvent besökande fartygen i Djuphamnarna i Köping och Västerås.*

| Stad              | NO <sub>x</sub> [ton] | PM [ton] | SO <sub>2</sub> [ton] | CO <sub>2</sub> [ton] |
|-------------------|-----------------------|----------|-----------------------|-----------------------|
| Djuphamn Köping   | 18,69                 | 0,43     | 1,29                  | 991,8                 |
| Djuphamn Västerås | 2,94                  | 0,068    | 0,20                  | 162,74                |
| Summa             | 21,63                 | 0,5      | 1,49                  | 1154,54               |

Det är anmärkningsvärt att utsläppen i Köpings hamn är större än i Västerås hamn eftersom Västerås hade fler anlöp och trots att bara två av fartygen lägger till vid Djuphamnen i Köping. Detta beror på att fartyget Coral Ivory som angör Köping har mycket långa liggetider. Dock är det inte säkert att Coral Ivorys hjälpmotorer är igång under hela fartygens besök i hamn så de beräknade siffrorna kan därför vara något högt uppskattade.

## 9.2 Utsläpp vid användning av landström

I tabellen nedan visas utsläpp då de mest frekvent besökande fartygen ansluts till landström i Djuphamnarna.

*Tabell 16. Utsläpp då de mest frekvent besökande fartygen i Djuphamnarna i Köping och Västerås ansluts till landström.*

| Stad              | NO <sub>x</sub> [ton] | PM [ton] | SO <sub>2</sub> [ton] | CO <sub>2</sub> [ton] |
|-------------------|-----------------------|----------|-----------------------|-----------------------|
| Djuphamn Köping   | 0,12                  | 0,0005   | 0,062                 | 206,18                |
| Djuphamn Västerås | 0,019                 | 0,000082 | 0,0097                | 33,83                 |
| Summa             | 0,14                  | 0,0006   | 0,071                 | 240                   |

Tabell 16 visar att det även vid användning av landström blir utsläpp. Skillnaden mot att använda marint bränsle är dock att utsläppen inte sker i hamnen, utan istället där elektriciteten genereras. Storleken på utsläpp vid landström jämfört med att använda marint bränsle skiljer sig också avsevärt åt, då utsläpp när landström används är betydligt lägre.

## 9.3 Jämförelse

I tabell 17 visas hur mycket landström kan reducera utsläpp till luft, med antagandet att elektriciteten som försörjs till fartygen är fördelad på samma sätt som under år 2012. Om fartygen istället ansluts med elektricitet vars ursprung enbart består av förnyelsebara källor kan utsläppen reduceras till 100 %, i enlighet med Onshore power supply (2013). Tabellen visar att flera ton koldioxid och kväveoxider kan minskas genom att enbart tio fartyg ansluts till landström.

Tabell 17. Utsläpp som kan reduceras genom att ansluta de tio mest frekvent besökande fartygen till landström i Djuphamnarna.

| Stad              | NO <sub>x</sub> [ton] | PM [ton] | SO <sub>2</sub> [ton] | CO <sub>2</sub> [ton] |
|-------------------|-----------------------|----------|-----------------------|-----------------------|
| Djuphamn Köping   | 18,57                 | 0,4295   | 1,228                 | 785,62                |
| Djuphamn Västerås | 2,921                 | 0,067918 | 0,1903                | 128,91                |

I tabellen nedan visas hur stor andel av utsläppen som kan reduceras genom att ansluta till landström i hamnarna.

Tabell 18. Andel utsläpp som kan reduceras med landström från elektricitet med 2012 års energimix.

| NO <sub>x</sub> | PM      | SO <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> |
|-----------------|---------|-----------------|-----------------|
| 99,35 %         | 99,88 % | 95,23 %         | 79,21 %         |

Koldioxidutsläppen minskar inte lika mycket som de andra föroreningarna, vilket är en följd av att en viss del av elektriciteten kommer från fossila källor. Trots att den beräknade el-mixen innehåller fossila källor elimineras nästan utsläppen helt då fartygen ansluts till landström. Att ansluta fartygen med elektricitet från 100 % förnybar energi är naturligtvis bättre sett ur miljösynpunkt, då utsläppen reduceras helt och hållet.

## 10 Ekonomiska konsekvenser

I detta kapitel redovisas kostnaderna för att implementera landström baserat på beräkningsmodellen i kapitel 2. Beräkningarna i kapitlet är baserade på uppgifter om tio av de mest frekvent besökande fartygen och mer detaljerad information om beräkning av kostnader finns i bilaga 3.

### 10.1 Kostnad för att generera el med hjälpmotorerna

För att beräkna kostnaden för att generera elektricitet med hjälpmotorerna i hamn har priset för bränslet MGO med svavelhalt 0,1 % använts då denna svavelhalt, som tidigare nämnts, är ett krav för fartyg i hamn idag. Anledningen till att bränslet MGO används i beräkningen beror på att detta bränsle är vad de flesta fartyg uppgett att de använder i hamn. Priset på bränsle varierar dagligen och ett medelvärde mellan perioden december 2013-Mars 2014 har använts och priset var då 889 USD/ton (Bunkerworld, 2014). Valutakursen för dollarn var under denna period i medelvärde 6,5 kronor (valuta.se, 2014), vilket gör att kostnaden för bränslet var 5 779 kr/ton. För en del fartyg har information om uppskattad bränslekonsumtion i hamn erhållits och för dessa fartyg kan en säkrare kostnad beräknas. För att beräkna kostnaderna för de övriga fartygen har den specifika bränsleförbrukningen<sup>14</sup> 217 g/kWh från Entec (2010) använts. För dessa fartyg blir uppskattning av förbrukning mer osäker, men de erhållna värdena för bränsleförbrukningen är i samma storleksordning som där faktiska värden har använts och antas därför vara rimliga. Även kostnaden per anlop är i samma storleksordning, med undantaget för fartyget Coral Ivory. Anledningen till att detta fartygs värden skiljer sig så markant från de andra beror på att fartyget har en mycket längre medelliggetid än

<sup>14</sup> Specifik bränsleförbrukning är ett mått på hur mycket bränsle som behövs för att uträtta ett visst arbete.

de andra fartygen. För att beräkna kostnader per år för marint bränsle användes ekvation (3) och resultatet redovisas i tabell 19.

*Tabell 19. Kostnad för att generera el med hjälpmotorer i hamn.*

| <b>Fartyg</b>  | <b>Medelkonsumtion av bränsle i hamn<br/>[ton/dygn]</b> | <b>Kostnad per år<br/>[tkr]</b> |
|----------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Coral Ivory    | 2,37                                                    | 1683                            |
| Orion          | 0,57                                                    | 44                              |
| Cembalo        | 0,57                                                    | 47                              |
| Coral Obelia   | 1,57                                                    | 119                             |
| Iceland Cement | 0,57                                                    | 33                              |
| Östanvik       | 0,57                                                    | 16                              |
| Frej           | 0,8                                                     | 66                              |
| Odin           | 0,8                                                     | 66                              |
| Belterwiede    | 0,58                                                    | 18                              |
| Trans Alrek    | 0,8                                                     | 45                              |

## 10.2 Kostnad för att generera el med landström

Mälarhamnar ingår i en elpool och elpriset som har använts i beräkningarna är baserade på kostnaderna för elektricitet under januari år 2014. Mälarhamnar betalade då 39,95 öre/kWh för el, 3,08 öre/kWh för elcertifikat och 29,3 öre/kWh för energiskatt (Mälarenergi AB, 2014). Detta ger sammanlagt kostnaden 72,35 öre/kWh för elöverföring. Att räkna in nätavgifterna i det totala priset kan vara problematiskt då dessa baseras på månadseffekten. Här baseras priset på vad Mälarhamnar betalade för perioden januari år 2014 och blir därför en uppskattning av ett värde som kan variera mellan perioder. Nätavgifterna var 2,5 öre/kWh samt en fast avgift och månadseffektavgift på 0,27 öre/kWh. Det sammanslagna elpriset som används i beräkningarna var därför 75,12 öre/kWh. Med den skattereduktion som gäller för elanslutna fartyg sänks energiskatten till 0,5 öre/kWh vilket ger ett elpris på 46,32 öre/kWh. Kostnaderna för elförbrukning har beräknats med ekvation (2) och visas i tabell 20.

*Tabell 20. Kostnad för att generera el med landström.*

| <b>Fartyg</b>  | <b>Kostnad utan skattereduktion<br/>[tkr]</b> | <b>Kostnad med skattereduktion<br/>[tkr]</b> |
|----------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Coral Ivory    | 1008                                          | 622                                          |
| Orion          | 26                                            | 16                                           |
| Cembalo        | 28                                            | 17                                           |
| Coral Obelia   | 72                                            | 44                                           |
| Iceland Cement | 20                                            | 12                                           |
| Östanvik       | 9                                             | 6                                            |
| Frej           | 28                                            | 17                                           |
| Odin           | 28                                            | 17                                           |
| Belterwiede    | 11                                            | 7                                            |
| Trans Alrek    | 19                                            | 12                                           |

Som tabell 20 visar leder skattreduktionen till att kostnaden för elektricitet sjunker med cirka 60-65 %. Därtill tillkommer ytterligare en kostnadsbesparing i form av minskade mekaniska kostnader eftersom kostnader för service och reservdelar minskar då hjälpmotorerna inte behöver användas. Personalen ombord behöver till exempel inte byta olja och filter lika ofta då landström används (Wegmann, 2014). I enlighet med Onshore Power Supply (2014a) beräknades underhållskostnader för hjälpmotorerna så som beskrivits i kapitel 2 och resultatet visas i tabell 21.

*Tabell 21. Sparade underhållskostnader för hjälpmotorerna då fartyget ansluts till landström.*

| Namn           | Antal hjälpmotorer | Sparade underhållskostnader för hjälpmotorer [tkr/år] |
|----------------|--------------------|-------------------------------------------------------|
| Coral Ivory    | 3                  | 123                                                   |
| Orion          | 2                  | 9                                                     |
| Cembalo        | 3                  | 14                                                    |
| Coral Obelia   | 2                  | 9                                                     |
| Iceland Cement | 3                  | 10                                                    |
| Östanvik       | 3                  | 5                                                     |
| Frej           | 3                  | 14                                                    |
| Odin           | 3                  | 14                                                    |
| Belterwiede    | 3                  | 6                                                     |
| Trans Alrek    | 3                  | 10                                                    |

När fartyg ligger i hamn räcker det ibland att bara ha en hjälpmotor igång, förutom vid lastning och lossning då minst två hjälpmotorer behöver användas (Nicewicz och Tarnapowicz, 2012). Då det är svårt att få information om hur många hjälpmotorer som användas samt hur länge de använts antas här att alla hjälpmotorer användas under hela vistelsen, vilket kan innebära att de verkliga kostnaderna kan vara något lägre än de beräknade värdena. Underhållskostnaderna blir högre ju mer hjälpmotorerna används, vilket gör att kostnaderna ökar ju fler timmar som fartyget ligger vid kaj per år. Det är därför fartyg som ligger länge vid kaj som kan spara mest i form av underhållskostnader. Återigen är det därför fartyget Coral Ivory som skulle tjäna mest på att ansluta till landström och för de fartyg som inte ligger lika länge vid kaj blir underhållskostnaderna lägre i och med att motorerna inte behöver användas lika länge per år.

### 10.3 Kostnad för utsläpp

För att beräkna lokala effekter av luftföroreningar bestäms först antalet exponeringsenheter per kg som beskrivits i kapitel två.

Parametern FV är ventilationsfaktor för tätorten, vilket i Västerås och Köpings fall är 1,1. Parametern B är befolkningsmängd som för Västerås är 142131 (Västerås stad, 2014) och för Köping 24854 (Köpings kommun, 2013).

Ekvation (4) ger att exponering för Västerås blir

$$\text{Exponering} = 0,029 * 1,1 * 142131^{0,5} = 12$$

Exponering för Köping blir

$$\text{Exponering} = 0,029 * 1,1 * 24854^{0,5} = 5$$

För att beräkna värdet uttryckt i kr/kg multipliceras tätortens exponering med varje ämnes värde per exponeringsenhet från tabell 5 och även de lokala effekterna adderas. Kostnaderna för luftföroreningar i de båda städerna visas i tabellen nedan.

*Tabell 22. Värdering av utsläpp.*

| <b>Förorening</b> | <b>Västerås [kr/kg]</b> | <b>Köping [kr/kg]</b> |
|-------------------|-------------------------|-----------------------|
| PM                | 8862                    | 3681                  |
| SO <sub>2</sub>   | 290                     | 142                   |
| NO <sub>x</sub>   | 137                     | 120                   |
| CO <sub>2</sub>   | 1,45                    | 1,45                  |

Eftersom befolkningen är större i Västerås blir kostnaderna för utsläpp högre än i Köping. De sammanlagda miljökostnaderna i Västerås och Köping om ingen landström används redovisas i tabellerna nedan.

*Tabell 23. Miljökostnader då hjälpmotorerna används av de tio fartygen som oftast besöker Djuphamnarna.*

| <b>Stad</b> | <b>Kostnad [tkr]</b> |
|-------------|----------------------|
| Köping      | 5443                 |
| Västerås    | 1301                 |

Kostnaderna är betydligt större för Köping än för Västerås vilket beror på att utsläppen är större i Köping än i Västerås. Då detta enbart är miljökostnader för 26 % av hamnarnas anlöp är miljökostnaderna självklart större för 100 % av hamnarnas anlöp. I tabellen nedan visas miljökostnaderna då fartygen ansluts till landström från elektricitet baserad på Mälarenergis ursprungsmärkning för år 2012.

*Tabell 24. Miljökostnader då de tio fartygen som oftast besöker Djuphamnarna ansluter till landström med elektricitet från energikällor baserade på Mälarenergis ursprungsmärkning år 2012.*

| <b>Stad</b> | <b>Kostnad [tkr]</b> |
|-------------|----------------------|
| Köping      | 324                  |
| Västerås    | 55                   |

Kostnaderna för utsläpp blir betydligt mindre om fartygen ansluts till landström. Som tidigare nämnt är det allra bäst att ansluta fartygen med elektricitet från förnyelsebara källor eftersom utsläppen då helt reduceras, vilket i sin tur även innebär att kostnaderna för utsläpp reduceras.

## 10.4 Kostnad för installation av landström i land

Kostnader för kablar och ställverksfack är hämtade från Mälarenergi och i dessa ingår kostnad för schakt. Kostnaden för ställverksfack i Mälarenergis prislista gäller för fack i fördelningsstationer och inte nätstationer och denna kostnad är därför något högt uppskattad, men den inkluderar då reläskydd, montage med mera. Kabeln ut ur ställverket kan antingen vara 3x240 mm<sup>2</sup>, vilket möjliggör en effekt på 5 MW eller 3x95 mm<sup>2</sup>, vilket möjliggör en effekt på 2,5 MW. Båda alternativen har undersökts i kostnadskalkylen. Uttagen är alltid kundanpassade och flera olika faktorer kan därför påverka prissättningen och här används därför ett medelvärde. Det tillkommer även kostnad för luckor till uttagen, men dessa har uteslutits ur kalkylen. Om en frekvensomriktare ska användas ökar kostnaderna och två kalkyler har tagits fram, en där frekvensomriktare ingår och en utan frekvensomriktare. Prisuppgift för frekvensomriktare är ett medelvärde hämtat från Vinnova (2012). Vid användning av frekvensomriktare tillkommer kostnader för två transformatorer, en som transformerar ned spänningen till frekvensomriktarens arbetsspänning och sedan en transformator som transformerar upp spänningen igen efter frekvensomriktaren. Även dessa kostnader har hämtats från Vinnova (2012). I tabellen nedan visas kostnaderna för de olika alternativen för installation av landström.

*Tabell 25. Kostnader för att installera landström i Köping. En mer utförlig beskrivning finns i bilaga 2.*

| Alternativ            | Utan frekvensomriktare<br>[tkr] | Med frekvensomriktare<br>[tkr] |
|-----------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Anslutning med 2,5 MW | 5 073                           | 18 583                         |
| Anslutning med 5 MW   | 6 742                           | 20 252                         |

*Tabell 26. Kostnader för att installera landström i Västerås. En mer utförlig beskrivning finns i bilaga 2.*

| Alternativ            | Utan frekvensomriktare<br>[tkr] | Med frekvensomriktare<br>[tkr] |
|-----------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Anslutning med 2,5 MW | 5 319                           | 18 829                         |
| Anslutning med 5 MW   | 7 017                           | 20 527                         |

Som tabellerna ovan visar svarar kostnaderna för frekvensomriktaren för cirka 70 % av hela investeringskostnaden och är därför den komponent som påverkar kostnaderna mest. Kostnadsökningen för att dimensionera för 5 MW istället för 2,5 MW är 1700 tkr, vilket innebär att kostnader för att dimensionera systemet för dubbel effekt inte innebär dubbelt så höga kostnader. Kostnaden är ungefär lika stor för båda hamnarna, trots att fler uttag har tagits med i beräkningen för Västerås hamn. Detta beror på att anslutningsavgiften för Köpings hamn kommer bli något dyrare än för hamnen i Västerås.

Utöver dessa kostnader tillkommer ökade månadskostnader för hamnen i och med att investeringen i landström innebär att månadseffektavgiften blir högre. Hamnens investeringskalkyl kan dock förbättras genom att de anslutande fartygen betalar för dessa kostnader.

## 10.5 Sammanfattning av de ekonomiska konsekvenserna

Den årliga besparingen för fartygen genom att använda landström är skillnaden mellan kostnaden för att driva hjälpmotorerna jämfört med kostnaden för att använda landström. Ombyggnadskostnader ombord på fartygen har inte beaktats. I beräkningen har skattereduktion används i elpriset då det idag är möjligt att få skattereduktion för elanslutna fartyg. I tabellen nedan visas en sammanställning över hur stor den ekonomiska besparingen blir vid anslutning till landström.

*Tabell 27. Jämförelse av kostnader för diesel och elektricitet.*

| <b>Fartyg</b>  | <b>Kostnad för diesel [tkr]</b> | <b>Kostnad för elektricitet [tkr]</b> | <b>Besparing [tkr]</b> | <b>Inbesparade underhållskostnader [tkr]</b> | <b>Total besparing [tkr]</b> |
|----------------|---------------------------------|---------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------|------------------------------|
| Coral Ivory    | 1 683                           | 622                                   | 1 061                  | 123                                          | 1 184                        |
| Orion          | 44                              | 16                                    | 28                     | 9                                            | 37                           |
| Cembalo        | 47                              | 17                                    | 30                     | 14                                           | 44                           |
| Coral Obelia   | 119                             | 44                                    | 75                     | 9                                            | 84                           |
| Iceland Cement | 33                              | 12                                    | 21                     | 10                                           | 31                           |
| Östanvik       | 16                              | 6                                     | 10                     | 5                                            | 15                           |
| Frej           | 66                              | 17                                    | 49                     | 14                                           | 63                           |
| Odin           | 66                              | 17                                    | 49                     | 14                                           | 63                           |
| Belterwiede    | 19                              | 8                                     | 11                     | 6                                            | 17                           |
| Trans Alrek    | 45                              | 12                                    | 33                     | 10                                           | 43                           |

Tabell 27 visar att det är billigare att använda landström än diesel för alla fartyg. I genomsnitt (med undantaget för Coral Ivory) blir kostnaderna cirka 40 000 kronor lägre per år om fartygen ansluts till landström istället för att använda hjälpmotorerna i hamn.

Som nämnt i kapitel två beräknas den årliga investeringskostnaden för att bygga om och anpassa ett fartyg till landström uppgå till cirka 560 000 kronor per år och studien visar att om man enbart beaktar anlöp i Mälarhamnar är det endast fartyget Coral Ivory som det är ekonomiskt gynnsamt att bygga om. Vid anlöp i andra hamnar med landströmsanslutningar ökar dock med största sannolikhet besparingarna och gör en investering mer attraktiv.

I tabellen nedan sammanfattas i den ena kolumnen kostnaderna för att använda marint bränsle och omfattar fartygens bränslekostnader, underhållskostnader för motorer samt miljökostnader. Detta är alltså kostnaden då inget av de tio fartygen använder landström. I den andra kolumnen redovisas kostnaderna då alla tio fartygen ansluter till landström och omfattar kostnader för elförbrukning och miljökostnader.

*Tabell 28. Jämförelse mellan kostnader då inga fartyg använder landström samt då alla tio fartygen använder landström.*

| <b>Stad</b>       | <b>Kostnad för marint bränsle [tkr]</b> | <b>Kostnad för landström [tkr]</b> |
|-------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|
| Djuphamn Västerås | 1719                                    | 160                                |
| Djuphamn Köping   | 7377                                    | 990                                |

Som tabell 28 visar sjunker kostnaderna rejält då landström används. Detta beror främst på att miljökostnaderna sjunker eftersom dessa svarar för över 70 % av den totala kostnaden för marint bränsle.

## 11 Känslighetsanalys och framtidsscenario

I detta kapitel redovisas hur värdet på olika parametrar kan ha påverkat resultatet, vilket även skattar resultatets osäkerhet. En analys av Mälarprojektets påverkan redovisas också för att studera hur ett framtida scenario kan se ut. Beräkningar från känslighetsanalysen finns i bilaga 3.

### 11.1 Kostnad för koldioxid

För känslighetsanalys av kostnad för koldioxid rekommenderar ASEK värdet 3,50 kr/kg (Trafikverket, 2012). Detta värde har använts som ett högsta värde i känslighetsanalysen. Som ett lägsta värde används 0,14 kr/kg hämtad från Brännlund (2008). I tabellerna nedan visas även den sammanlagda summan för utsläpp då kostnaden för övriga utsläpp inte förändras.

Tabell 29. Kostnad för koldioxid i Västerås.

| Värde             | Kostnad koldioxid [tkr] | Kostnad utsläpp [tkr] |
|-------------------|-------------------------|-----------------------|
| Låg (0,14 kr/kg)  | 23                      | 1088                  |
| ASEK (1,45 kr/kg) | 236                     | 1301                  |
| Hög (3,50 kr/kg)  | 570                     | 1635                  |

Tabell 30. Kostnad för koldioxid i Köping.

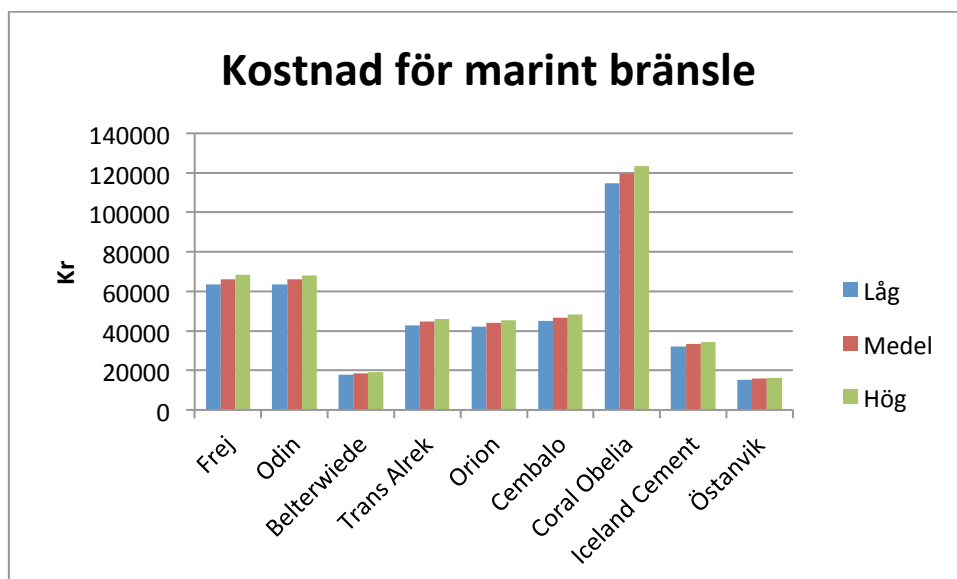
| Värde             | Kostnad koldioxid [tkr] | Kostnad utsläpp [tkr] |
|-------------------|-------------------------|-----------------------|
| Låg (0,14 kr/kg)  | 139                     | 4144                  |
| ASEK (1,45 kr/kg) | 1438                    | 5443                  |
| Hög (3,50 kr/kg)  | 3471                    | 7476                  |

Kostnaden för koldioxidutsläpp kan alltså skilja sig 546 812 kronor för Västerås och 3 332 426 kr för Köping. Att använda det lägsta värdet ger 25 gånger lägre kostnad än om det högsta värdet används, vilket naturligtvis är en avsevärd skillnad. Det högre värdet jämfört med ASEK:s rekommenderade värde ger dubbelt så hög kostnad. Brännlunds (2008) kritik mot ASEK:s rekommenderade värde förefaller därför rimlig. Oavsett vilket värde som väljs så varierar kostnaden för koldioxid väldigt mycket. I ASEK finns inga rekommenderade värden för känslighetsanalys av kostnad för luftföroreningar och det har därför uteslutits ur denna studies känslighetsanalys.

### 11.2 Kostnad för marint bränsle

Priset på marint bränsle varierar ständigt. Det högsta priset för MGO under perioden december 2013-mars 2014 var 918 USD/ton (Bunkerworld, 2014). Valutakursen för dollarn var under denna period i medelvärde 6,5 kronor (valuta.se, 2014). Detta innebär

att kostnaden för bränslet var som högst 5967 kr/ton. Det lägsta priset under samma period var 854 USD/ton, vilket innebär att priset som lägst var 5551 kr/ton. I figuren nedan redovisas kostnaderna vid dessa priser.



Figur 17. Kostnader då priset för bränsle varierar, kr per år. Fartyget Coral Ivory har uteslutits ur figuren eftersom fartygets kostnader är extremt mycket större än de andra fartygens kostnader.

Skillnaden i priset för bränsle var som högst cirka 400 kronor per ton, vilket medför att skillnaden för kostnaderna med det högre och det lägre priset för bränsle inte påverkar de flesta fartygens bränslekostnader nämnvärt. För de flesta fartyg rör det sig om en prisskillnad på 2000-5000 kr per år och det är återigen fartygen med fler anlöp och längre liggetider som påverkas mest av skillnad i bränslepris.

När svaveldirektivet träder i kraft 2015 väntas prisskillnaden mellan hög- och lågsvavligt bränsle öka då raffinaderier kan få svårigheter att sälja högsvavligt bränsle (Sweco, 2012). Trafikanalys antar att priset för lågsvavligt bränsle år 2015 kommer hamna i intervallet 6350-7260 kronor per (Trafikanalys, 2013). Det övre värdet, 7260 kr/ton, används i en känslighetsanalys och redovisas i tabellen nedan.

Tabell 31. Bränslekostnader år 2015 efter svaveldirektivet.

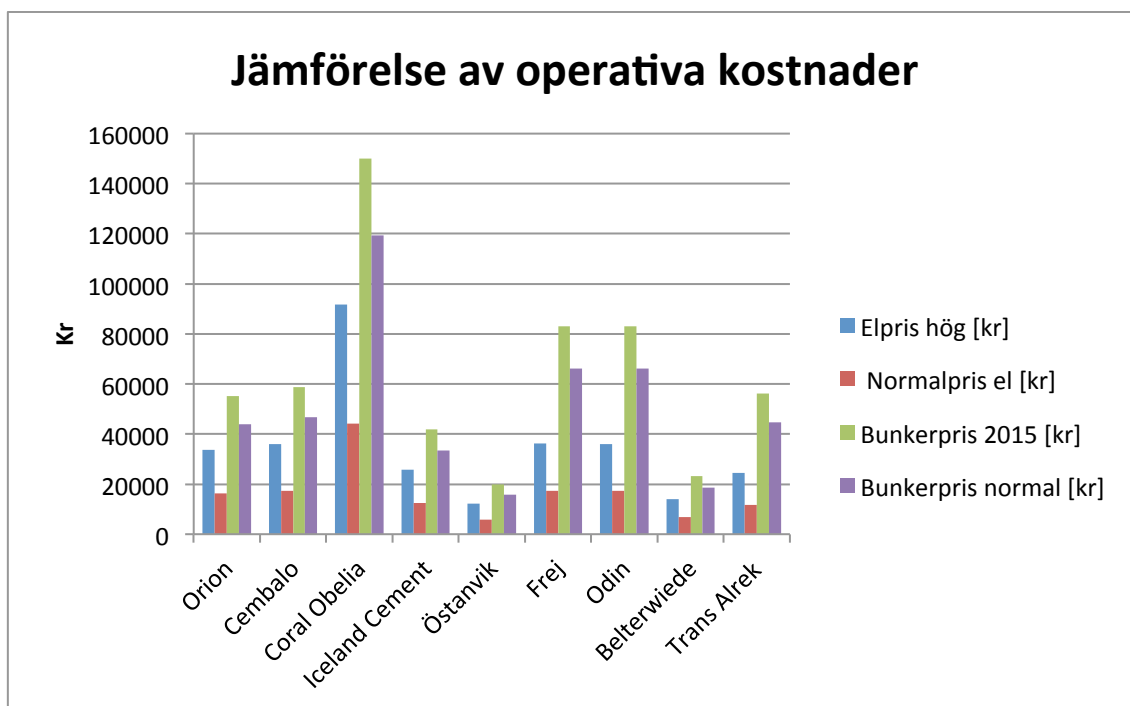
| Fartyg         | Kostnad [tkr/år] | Kostnadsökning [tkr/år] |
|----------------|------------------|-------------------------|
| Frej           | 83               | 17                      |
| Odin           | 83               | 17                      |
| Belterwiede    | 23               | 5                       |
| Trans Alrek    | 56               | 11                      |
| Coral Ivory    | 292              | 431                     |
| Orion          | 55               | 11                      |
| Cembalo        | 59               | 12                      |
| Coral Obelia   | 150              | 31                      |
| Iceland Cement | 42               | 9                       |
| Östanvik       | 20               | 4                       |

För Coral Ivory kan kostnaden öka med cirka 400 000 kr per år om priset på bränsle ökar efter år 2015. För andra fartyg blir kostnadsökningen mindre, för till exempel fartyget Östanvik ökar kostnaderna enbart med 4000 kronor. Med undantaget för Coral Ivory så kommer därför en prisökning av marint bränsle endast att marginellt påverka kostnadsanalysen.

### 11.3 Kostnad för elektricitet

Priset på elektricitet förändras ständigt och är även säsong- och dygnsberoende. För att kunna använda statistik från SCB antas att hamnarna klassas som småindustri, vilka förbrukar 350 MWh per år. Det är dock troligt att hamnarna förbrukar något mer, men denna kategorisering är den som bäst överensstämmer med hamnarna. Elpriser i januari mellan åren 2007-2012 har analyserats där det billigaste elpriset var 47,6 öre/kWh år 2007 och det dyraste var 95,5 öre/kWh år 2010. I priset ingår kostnad för elnät, elöverföring (rörligt pris) och elcertifikat, men inte skatt. Läger man till kostnader för fast avgift, effektagift samt skattereduktionen 0,5 öre/kWh erhålls priserna 48,39 öre/kWh respektive 96,29 öre/kWh. Då det lägre elpriset enbart skiljer sig med 2 öre/kWh jämfört elpriset som användes i kapitel 10 används enbart det högre priset för känslighetsanalys. Det är framför allt ett högre elpris som är intressant att jämföra mot kostnaderna för marint bränsle.

I figur 18 visas skillnader i kostnad för ett högre elpris, samt kostnad för marint bränsle baserat på normalpris och det högre förväntade priset för år 2015. Här tas inte hänsyn till kostnader för underhåll av motorer eller installation av landström, utan enbart elpriset och bunkerpriset jämförs.



Figur 18. Priser för de olika fartygen för ett högre elpris, jämfört med normalpris för elektricitet, samt för normalpris för marint bränsle och förväntade bunkerpriser år 2015. Fartyget Coral Ivory har plockats bort ur figuren då dess kostnader är betydligt högre än för övriga fartyg.

Av figur 18 framgår att variationerna i elpris påverkar kostnaderna mer än skillnaderna i kostnad för marint bränsle. Figuren visar också att det är billigare att använda landström jämfört med marint bränsle, framför allt för fartyg som Coral Obelia som har en hög beräknad bränsleförbrukning.

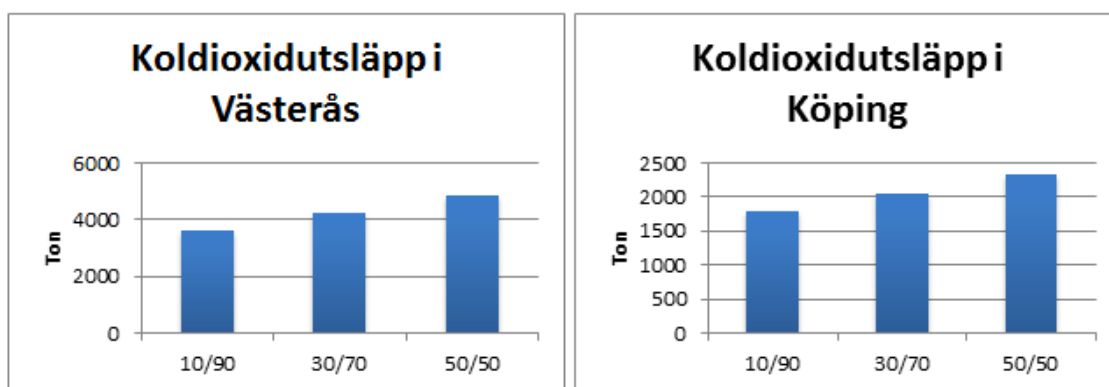
## 11.4 Framtida scenario

Det är komplicerat att förutse framtida storlek på fartyg och last samt antal anlöp då detta är dynamiskt och följer konjunkturen, men i detta framtida scenario antas större fartyg gå in i hamnarna. För ett framtida scenario har följande antaganden gjorts:

- Medelliggetid per fartyg är 32 timmar, vilket baserats på medelliggetiden för samtliga fartyg från år 2013.
- Medeleffektbehovet för fartygen är 1122 kW, förutom för kylfartyg där medeleffektbehovet är 2548 kW, vilket baserats på typfartygen från Alexandersson (1993) samt Yorke Engineering (2007). Det är rimligt att anta att mindre fartyg med lägre effektbehov kommer anlöpna hamnarna även efter Mälarprojektet, men i och med en tendens till att allt större fartyg trafikerar Mälaren antas dessa fartyg försvinna på sikt då det blir mer lönsamt att frakta gods på ett större fartyg.
- Enligt figur 13 är det inget godsslag som kommer minska eller försvinna till år 2020. Anlöp antas därför vara fördelade över fartygstyper på samma sätt som idag, det vill säga 11 % bulkfartyg, 64 % torrlastfartyg, 23 % tankfartyg och 2 % övriga. Tre olika scenarier där en andel av torrlastfartygen ersätts av kylfartyg används med 10 %, 30 % och 50 % andel kylfartyg.
- För beräkning av utsläpp antas antalet anlöp som ett lägsta värde vara baserat på 2013 års antal anlöp och ett högsta värde baseras på högsta tillåtna antal anlöp enligt Mälarhamnarnas miljörapport från år 2012, vilket för Västerås är 1300 stycken och för Köping 750 stycken. Naturligtvis kan antalet anlöp bli färre i framtiden, men det är ett rimligt antagande att utgå från förra årets antal anlöp. Sannolikheten att hamnarna uppnår de maximalt tillåtna antalet anlöp bedöms inte som stor, men det ingår i känslighetsanalysen som ett extremexempel.
- För beräkning av kostnader antas att ett fartyg anlöper åtta gånger per år, vilket är den lägsta anlöpsfrekvensen för lönsamhet för landström.

### 11.4.1 Utsläpp

Utsläpp till luft har beräknats som i kapitel 9, men med ett varierande antal kylfartyg. Procentsatserna baseras på att en viss andel av torrlastfartygen motsvaras av kylfartyg och resten av typfartyg 5. Att hälften av alla torrlastfartyg ersätts med kylfartyg bedöms inte vara ett rimligt scenario, utan illustrerar ett extrem-scenario. De övriga andelarna anlöp mellan tankfartyg, bulklastfartyg och övriga fartyg är oförändrad. I figuren nedan visas hur koldioxidutsläppen ökar då andelen kylfartyg ökar från 10 % till 50 %. Alla luftföroreningar ökar då andelen kylfartyg ökar och en detaljerad tabell över utsläpp av luftföroreningar då andel kylfartyg och antal anlöp varierar finns i bilaga 2.



Figur 19. Koldioxidutsläpp i hamnarna då andelen kylfartyg varierar från 10 % till 50 %. Utsläppsberäkningen är baserad på att antalet anlöp till hamnarna är lika många som år 2013 och att inget fartyg ansluts till landström.

Inte helt oväntat ökar utsläppen till luft i ett framtida scenario, eftersom framtida fartyg har större effektbehov än dagens fartygsflotta och ju fler kylfartyg desto större blir utsläppen. De miljövinster man kan uppnå genom att ansluta framtida fartyg till landström blir därför ännu större än vad de är idag.

#### 11.4.2 Kostnader

Bränsleförbrukningen för de större fartygen beräknas bli högre eftersom effektbehovet är större. I tabell 32 redovisas bränsleförbrukning, kostnad för att använda hjälpmotorerna samt kostnad för elförbrukning.

Tabell 32. Bränsleförbrukning och kostnader för hjälpmotor med antagande att fartygen gör åtta anlöp per år.

| Typ av fartyg | Bränsleförbrukning [ton/dygn] | Kostnader för motorer [tkr/år] | Kostnader för elförbrukning utan skattereduktion [tkr/år] | Kostnader för elförbrukning med skattereduktion [tkr/år] |
|---------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Kylfartyg     | 7,7                           | 491                            | 281                                                       | 173                                                      |
| Typfartyg 5   | 3,4                           | 217                            | 124                                                       | 76                                                       |

Bortsett från fartyget Coral Ivory blir bränslekostnaderna högre än för dagens fartygsflotta, framför allt gäller detta för kylfartyg som kan ha dubbelt så många hjälpmotorer jämfört med dagens fartygsflotta. Detta innebär större kostnader för underhåll och service om hjälpmotorerna ska användas i hamn och dessa fartyg skulle därför kunna tjäna mest på att anslutas till landström.

Kostnaderna för att använda marint bränsle är inte helt förvånande även i detta scenario dyrare än kostnaderna för elförbrukning och differensen mellan kostnader för elektricitet och marint bränsle skiljer sig inte avsevärt från dagens fartygsflotta.

## 12 Diskussion

I detta kapitel förs en diskussion kring studiens resultat. Avslutningsvis återfinns en diskussion om landström med avseende på miljö, ekonomi och teknik.

### 12.1 Förutsättningar för landström

Många hamnar utvecklar landström i samarbete med ett rederi eller något annat företag, vilket bland annat kan ses i hamnar som Luleå, Göteborg och Oslo där landström implementerats. Det är mer ovanligt att hamnen är den drivande parten till implementering av landström, framför allt förekommer detta mindre i Europa än i Nordamerika.

Generellt verkar sjöfartssektorn vara mer intresserad av annan teknik för att minska utsläpp, som till exempel nya bränslen. Då strängare lagkrav för utsläpp väntas även då fartygen inte ligger i hamn är det logiskt att intressera sig för andra lösningar än landström, eftersom landström enbart minskar utsläpp under en begränsad tid av fartygets totala drifttid. Landström är dock en bra lösning sett till den lokala miljön. När allt fler bor i närheten av hamnar finns en önskan om att miljön ska vara fri från buller och luftföroreningar och om fartygen förses med elektricitet från förnyelsebara källor sker en betydelsefull minskning av utsläpp, inte bara sett ur lokal synvinkel. Att luftföroreningarna från sjöfarten leder till för tidig död och sjukdomar borde tas på större allvar och större påtryckningar borde kunna bedrivas för att sjöfarten skall ta ett ökat ansvar för sina utsläpp. Större pådrivningar utanför sjöfartssektorn skulle sannolikt leda till att landström skulle användas mer.

Den allra bästa förutsättningen för landström i en hamn är att ha ett fartyg som kommer några gånger i veckan, eller till och med varje dag, och som lägger till på samma ställe varje gång. Detta möjliggör en hög nyttjandegrad av landströmsinstalleringen. I Västerås och Köpings hamn verkar det i dagsläget inte finnas något fartyg som anlöper hamnen så ofta och regelbundet. Det finns dock teoretiskt sett flera fartyg som skulle vara lämpliga att ansluta till landström. Samtliga fartyg i tabell 13 anlöper hamnarna i genomsnitt 1-3 gånger i månaden och de flesta av dessa fartyg ligger i medeltid över åtta timmar i hamn. Det fartyg som kommer oftast till hamnarna är Coral Ivory som anlöper Köping var åttonde dag och detta fartyg har därför de bästa förutsättningarna för att anslutas till landström. Fartyget har långa liggetider och kan göra både ekonomiska och miljömässiga vinster genom att använda landström. Siffrorna för detta fartyg baseras dock på att hjälpmotorerna är igång under hela fartygets vistelse i hamnen, vilket kanske inte är helt realistiskt. Eventuellt bör detta fartyg därför ses som ett extremt exempel då hennes siffror inte är i närheten av storleksordningen för de andra fartygen. Även om indata för liggetid är för hög för detta fartyg så stämmer indata för antal anlop, vilket inträffade var åttonde dag. I och med att fartyget angör hamnen så ofta skulle det fortfarande vara lönsamt att ansluta till landström, även om tiden som hjälpmotorerna används är kortare än vad som antagits i denna studie.

I Mälarhamnar finns för närvarande inget pådrivande rederi när det gäller landström, men om hamnen ska göra en investering i landström är det önskvärt att det finns fartyg som kommer kunna använda anläggningen. För andra hamnar, till exempel i Lübeck, har en drivande faktor varit att fartyg som anlöper hamnen redan ansluter till landström i andra hamnar. Ett av fartygen som går in i Mälarhamnar kan anslutas till landström via lågspänning i en annan hamn och för ett annat pågående utredning om att anslutas till

högspänning. Om dessa fartyg fortsätter lägga till vid Mälarhamnar är detta positivt då man därför vet att det finns besökande fartyg som kan använda landström. Det är dock problematiskt att ett fartyg ansluts till lågspänning om man i Mälarhamnar väljer att installera landström för högspänning, vilket innebär att detta fartyg inte kommer kunna anslutas. Fartyget är redan anpassat för en annan anslutning i en annan hamn, med fyra kablar, och det skulle därför krävas en likadan anslutning i Mälarhamnar för att kunna ansluta detta fartyg. Om man anpassar den tekniska utformningen efter just detta fartyg är det dock inte säkert att andra fartyg kan anslutas. Detta är det generella problemet med att standardiseringen för landström inte existerat tillräckligt länge. Detta belyser också svårigheten med att utforma en landströmslösning då det inte finns fartyg som är ofta återkommande till hamnen.

En hel del av fartygen som går in i hamnarna är gamla och efter Mälarprojektet väntas större och modernare fartyg. Då det är lättare att förbereda för landström när nya fartyg byggs jämfört med att anpassa ett äldre fartyg finns det därför en större chans att de nya besökande fartygen kanske redan är anpassade för landström och detta skulle skapa bättre förutsättningar för landström i Mälarhamnar. Mälarprojektet väntas också medföra utökad aktivitet för sjöfartens godstransporter. En utökad aktivitet i hamnen skapar också goda förutsättningar för nyttjande av landström i framtiden.

## 12.2 Miljövinster

Det finns flera tekniker för att minska utsläpp från fartyg där landström är ett alternativ. I framtiden är det viktigt att hitta lösningar där fartygens utsläpp kan minskas under hela fartygets driftstid, men att ansluta fartyg till landström är ett mycket bra alternativ för att minska luftutsläpp i hamn. Att till exempel använda bränslet LNG istället för landström minskar inte buller i hamnen och bränslet måste dessutom transporteras och förvaras i hamnen, vilket gör att landström är ett mycket bra alternativ att använda då fartyget ligger vid kaj.

Beräkningarna från kapitel nio visar att utsläppen till luft kan minskas till över 90 % om man istället för att använda hjälpmotorerna ansluter fartyget till landström med elektricitet med olika sorters ursprung. Ansluter man fartygen med elektricitet vars ursprung enbart består av förnyelsebara energikällor kan utsläppen reduceras helt, vilket inga andra alternativ för att minska fartygens utsläpp än landström lyckas med. Känslighetsanalysen och framtidsscenarier visar att utsläppen förväntas öka då fartygen blir större, vilket innebär att större andel utsläpp kan minskas om större fartyg ansluts till landström i framtiden.

Att beräkna utsläpp till luft och dess kostnader är komplext och medför stor osäkerhet. Beräkningar av utsläpp bygger bland annat på medelvärden av liggetid, bränsle och bränslekonsumtion vilket gör att siffrorna medför osäkerhet. Detta medför även svårigheter att jämföra beräkningar från andra utredningar om landström, eftersom beräkningar kan bygga på andra antaganden och vara framtagna under andra förhållanden. Detta gäller särskilt utredningar om större hamnar, som inte kan jämföras med hamnarna i Västerås och Köping eftersom betydligt större fartyg lägger till i de större hamnarna. Det gäller även i hög grad äldre utredningar innan svaveldirektivet med krav om 0,1 % svavelhaltigt bränsle trädde i kraft. För dessa utredningar blir miljövinster större i och med att bränsle med högre svavelhalt bidrar till större utsläpp.

Enbart genom att ansluta ett fåtal fartyg med långa liggetider kan luftföroreningar i hamn minskas avsevärt. Utsläppen som minskar i hamnarna vid anslutning av de tio mest frekvent besökande fartyg är cirka 900 ton koldioxid, 20 ton kväveoxider, 0,5 ton PM och 1,4 ton svaveldioxid. Man bör dock komma ihåg att koldioxid inte har någon lokal påverkan, utan enbart global. 900 ton koldioxid bör därför ses som ett litet bidrag till att minska den globala uppvärmningen, även om en liten minskning är bättre än ingen alls. Skulle fler hamnar installera landström ökar dock den positiva effekten vilken kan medföra en minskning av den globala uppvärmningen. Landström måste sägas vara en stor vinst för miljön och invånarna i närheten av hamnen. Tidigare studier visar att redan små mängder luftföroreningar påverkar människors hälsa och att helt reducera utsläpp från fartygen skulle därför leda till bättre hälsa för människor i och runt hamnarna. Landström bör därför vara en bra investering för Västerås stad och Köping kommun.

## 12.3 Kostnader

Precis som för beräkning av utsläpp medför beräkning av kostnader för utsläpp stor osäkerhet, vilket framför allt känslighetsanalysen visar. Att kostnaderna för koldioxidutsläpp kan skilja på miljontals kronor beroende på vilket värde som används visar hur svårt det är att hantera dessa kostnader i ekonomiska kalkyler. Trafikverket kommer dock utveckla en ny koldioxidvärdering för användning i planering av infrastruktur då koldioxidvärderingen som används idag vilar på en grund som inte längre är aktuell (Trafikverket, 2014). Detta kommer förmodligen leda till bättre värdering av kostnader för utsläpp av koldioxid i framtiden.

Skillnaden i kostnad för marint bränsle blir för flera av fartygen relativt små då priset på bränsle varierar. Även med ett rejält högre pris, baserat på framtidsscenario efter 2015, blir skillnaderna små för vissa av fartygen. För fartyg som har långa liggetider och förbrukar mycket bränsle kan dock kostnaderna stiga mer. Hur lönsamt det blir att ansluta till landström beror mycket på hur priset på det marina bränslet förändras efter svaveldirektivet 2015, samt hur många fartyg som då vidtagit andra åtgärder för att minska utsläpp så som att till exempel installera en skrubber ombord.

Skattereduktionen för fartyg i hamn gör att kostnaderna för elförbrukning sjunker rejält, speciellt för fartyg som förbrukar mycket el, vilket visades i tabell 20. Skattereduktionen gör det helt klart fördelaktigt för fartyg att ansluta till landström. Sett till de operativa kostnaderna är det billigare att ansluta till landström än att använda marint bränsle, även om elpriset stiger, vilket illustrerades i känslighetsanalysen. Resultatet visar att fartygen kan göra årliga besparingar i snitt på 40 000 kronor genom att använda landström jämfört med att använda hjälpmotorerna så länge skattereduktionen för fartyg ansluta till landström bevaras.

Kostnaden för frekvensomriktaren svarar för cirka 70 % av den totala investeringskostnaden, vilket gör att det är betydligt billigare att installera landström utan frekvensomriktare. Att välja att bygga ut landström utan frekvensomriktare innebär dock att alla fartyg inte kommer kunna anslutas och en konsekvens kan bli att landströmsanslutningen används i mindre omfattning. För dagens fartyg skulle det räcka att installeringen av landström är dimensionerad för 2,5 MW, men då kostnadsökningen inte blir det dubbla för att föra över dubbel effekt är det därför mest prisvärt att investera i en lösning som kan leverera 5 MW. Denna lösning är också den som är bäst rustad inför framtiden då det på goda grunder kan antas att större fartyg kommer att anlöpa

hamnarna. Eftersom det är billigare för fartygen att ansluta till landström än att använda marint bränsle skulle även investeringskostnaderna för hamnen kunna minska om man till viss del låter den bekostas av fartygen.

## 12.4 Teknisk lösning

Den tekniska lösningen för landström är tilltagen så att dagens effektbehov skall kunna tillgodoses. Genom att kunna leverera 5 MW bör det inte kunna uppstå effektbrist då dagens största fartyg enligt schablonvärden förbrukar 0,786 MW. Lösningen är även hållbar för framtida fartyg med större effektbehov, där ett kylfartyg kan förbruka maximalt 2,5 MW. Självklart hade det varit möjligt att dimensionera systemet för ännu högre effekt, men då man idag inte vet vilka fartyg som kommer att anlöpa hamnarna i framtiden är det svårt att motivera en sådan dimensionering ekonomiskt. Den föreslagna lösningen är ändå så väl tilltagen att större fartyg kan anslutas utan att problem med att leverera effekt bör uppstå. I hamnarna finns kranar och annan utrustning som måste kunna förflyttas obehindrat och därför anses den bästa lösningen vara en anslutningspunkt som placeras i en uttagsbox under jord, vilket påverkar verksamheten i hamnen så lite som möjligt. En kranlösning hade varit möjlig att implementera om det i hamnen funnits ett fartyg som ofta återkommer till hamnen och lägger till vid en och samma plats, men så är inte fallet idag. Den tekniska lösningen är likadan för de båda hamnarna, med undantag för att Västerås har en vinkelrät hamn vilket för hamnen innebär två extra uttag vid Kolkajen. Anledningen till att sex respektive åtta uttag valdes är för att skapa så stor flexibilitet som möjligt. Det skulle även vara möjligt att ha en anläggning med färre antal uttag, men då bör man veta vilka fartyg som kommer anlöpa hamnen i framtiden samt hur de lägger till i förhållande till var de ansluter kabeln så att uttagen placeras korrekt. Vid en sådan utformning är det viktigt att få med sig rederierna tidigt i processen så att anläggningen kommer till så stor nytta som möjligt.

## 12.5 Avslutande diskussion

Om sjöfarten skall vara ett miljömedvetet transportmedel är det viktigt att åtgärder vidtas för att minska utsläpp till luft. Regler för utsläpp av svaveldioxid från sjöfarten skärps år 2015 och även krav för utsläpp av kväveoxider kan väntas i framtiden, vilket gör att det är viktigt att branschen fortsätter att utvecklas mot mer miljövänliga lösningar. Då studier visar att små halter av kvävedioxid ökar antalet för tidiga dödsfall samt att partiklar leder till ökade hjärt- och kärlsjukdomar är det viktigt både ur miljömässig och samhällsekonomisk synpunkt att utsläpp av dessa föroreningar minskar. Utifrån perspektivet miljö och hälsa är landström ett så bra alternativ att det utifrån resultaten i denna studie rekommenderas att landström installeras i hamnarna, speciellt om hamnarnas verksamhet förväntas växa i framtiden. Inga andra lösningar för att minska fartygens utsläpp är så fördelaktiga för en hamn som landström, då det varken medför någon extra avfallshantering eller hantering av extra bränsle som måste förvaras i hamnen. Att använda landström ger dessutom sjöfarten ännu fler miljöfördelar framför järnväg och vägtransport. Detta i sin tur kan kanske även skapa ett intresse för att fler företag väljer att transportera sina varor via fartyg.

Det är flera aktörer inblandade vid implementering av landström och många frågor uppstår kring investering och kostnader för anläggningen. Miljökostnaderna som är en följd av sjöfartens utsläpp kommer bekostas av samhället, men är det samhällets ansvar att bekosta sjöfartens utsläpp? I och med skattereduktionen på elektricitet kan dessutom samhället sägas redan ha bekostat en del av investeringarna i landström och

skattereduktionen är ett bra verktyg för att driva utvecklingen av landström framåt. Tekniken för att installera landström finns och är väl fungerande i flera hamnar världen över och bör därför inte utgöra ett hinder för att implementera landström i Västerås och Köpings hamn. Förutsatt att fartygen är anpassade till landström innebär landström minskade kostnader för rederier då det är betydligt billigare att driva fartygen med elektricitet jämfört med marint bränsle, speciellt med skattereduktionen på elektricitet för fartyg som ansluts till elnätet. Att städerna Västerås och Köping kan erbjuda landström till ankommande fartyg skapar bra PR och visar på ett stort miljömedvetande och samhällsansvar. Det finns alltså flera aktörer som gynnas av landström, men enbart sett ur ett kortsiktigt ekonomiskt perspektiv kan det vara mycket svårt att motivera en installation av landström då investeringskostnaderna för hamnen är stora, speciellt med en lösning där frekvensomriktare ska användas. Om landström bör implementeras i hamnarna är därför framför allt en kostnadsfråga.

## 13 Slutsatser

Studien visar att det finns relativt goda förutsättningar för att installera landström i hamnarna i Västerås och Köping då det bland annat finns ett antal fartyg som återkommer till hamnarna. Förutsättningarna hade varit ännu bättre om det redan idag hade funnits fartyg med fungerande installerad landströmsanslutning som återkommit ofta till hamnarna, men eftersom situationen inte ser ut så i Mälarhamnar föreslås i denna studie att anslutningspunkterna placeras i brunnar vid kajen. Denna lösning tar liten yta i anspråk vid kaj och hamnens aktiviteter påverkas därför så lite som möjligt. Lösningen gör det också möjligt för flera olika fartyg att ansluta till landström, även om de lägger till i olika positioner vid kaj. Fartygen föreslås anslutas med 12 kV där anslutningspunkterna matas från hamnarnas nätstationer och anläggningen förväntas kunna leverera 5 MW genom att elnätet fram till nätstationerna förstärks med två parallella kablar.

Miljövinsterna blir stora genom att ansluta fartyg till landström. Luftföroreningar minskar med över 90 % och koldioxidutsläpp minskar med cirka 80 % genom att fartygen använder landström istället för hjälpmotorerna i hamn. Genom att förse fartygen med el från förnyelsebara källor reduceras dessutom utsläppen helt.

Resultatet visar att det för alla undersökta fartyg blir en ekonomisk besparing att använda landström jämfört med att använda hjälpmotorerna i hamn. Kostnaderna för att bygga ut landström i hamnen består av kostnader för kablar, ställverksfack, uttag, anslutningsavgift och eventuellt frekvensomriktare. Investeringskostnaderna blir mer än dubbelt så stora om en frekvensomriktare skall installeras.

### 13.1 Förslag till vidare studier

Då utformning av landström skiljer sig åt mellan olika hamnar behövs fler studier med olika storlekar och typer av hamnar för att kunna generalisera resultaten. Trots att det idag finns en utformad standard för landström ser installationer olika ut i hamnar och på fartyg vilket försvårar användning av landström.

Något som denna studie är avgränsad ifrån är den elektriska distributionen ombord på fartygen, men det vore intressant att utvärdera hur nya fartyg på bästa sätt bör designas för landström då det är billigare att installera landström på ett nytt fartyg jämfört med att bygga om ett äldre fartyg. De flesta studier kring landström behandlar hur hamnar skall

anpassas, men att förenkla anpassning av fartyg är minst lika viktigt för att landström enklare ska kunna användas i framtiden.

Investeringskostnaderna för installation av landström är höga och det vore intressant att undersöka om dessa går att minska eller om det finns någon annan typ av lösning för landström som är mer kostnadseffektiv.

Vidare studier inom Västerås hamn skulle kunna vara att undersöka möjligheterna att ansluta fartyg till lågspänning i Djuphamn eftersom det redan finns kablar i området som förmodligen inte kommer användas i framtiden. Detta skulle kunna resultera i en kostnadseffektiv lösning för landström i hamnen.

# Referenslista

## Tryckta källor

Andersson, T. 1999. *Masksystem ombord*. Stockholm. Tillgänglig: <http://www.ta-drifteknik.se/pdf%20filer/Kap%2012%20hj%C3%A4lpkraftgen.pdf>

Alexandersson, A., Flodström, E., Stålberg, P., Öberg, R. 1993. *Exhaust gas emissions from sea transportation*. TFB REPORT 1993:1. MariTerm AB.

Alfredsson, A. 1994. *Elkraft*. Stockholm: Liber.

Ballini, F. 2013. *Air Pollution from Ships in Danish Harbours: Feasibility Study of Cold-ironing Technology in Copenhagen*. Diss., Genoa Universitet. Tillgänglig: [http://www.ops.wpci.nl/\\_images/\\_downloads/\\_original/1379921104\\_airpollutionfromshipsindanishharbours.pdf](http://www.ops.wpci.nl/_images/_downloads/_original/1379921104_airpollutionfromshipsindanishharbours.pdf)

Bailey, K. & Browning, L., 2006. *Current Methodologies and Best Practices for Preparing Port Emission Inventories*. Tillgänglig: <http://www.epa.gov/ttnchie1/conference/ei15/session1/browning.pdf>

Brännlund, R. 2008. *Växthusgasernas samhälleliga kostnad: Vilket kalkylvärde skall användas?*

Cavotec. 2014. *Market Unit Brochure, Ports & Maritime*.

Corbetta, L. 2013. *Cavotec's shore power innovation hits new highs*. Tillgänglig: [http://www.porttechnology.org/images/uploads/technical\\_papers/Cavotec\\_LR.pdf](http://www.porttechnology.org/images/uploads/technical_papers/Cavotec_LR.pdf)

Corbett, J.J, Winebrake, J.J, Green, H.E, Kasibhatla, P., Eyring, V. & Lauer, A. 2007. *Mortality from Ship Emissions: A Global Assessment*. Environmental Science & Technology. Vol 24. Nr 24: 8512-8518.

Cuculić, A., Vučetić, D. & Tomas, V. 2011. *High Voltage Shore Connection*. International Symposium ELMAR-2011.

Dalsøren, S.b, Eide, M.S, Endresen, Ø., Mjelde, A., Gravir, G. and Isaksen, I.S.A. 2009. *Update on emissions and environmental impacts from the international fleet of ships: the contribution from major ships types and ports*. Atmospheric Chemistry and Physics. Vol. 9. Nr. 6: 2171-2194.

Doves, S. 2006. *Alternative maritime Power in the port of Rotterdam – A feasibility study into the use of shore-side electricity for containerships moored at the Euromax terminal in Rotterdam*. Tillgänglig: [http://www.ops.wpci.nl/\\_images/\\_downloads/\\_original/1266311641\\_reportshoreconnectedpowerportofrotterdam.pdf](http://www.ops.wpci.nl/_images/_downloads/_original/1266311641_reportshoreconnectedpowerportofrotterdam.pdf)

Dow, M.T. 2008. *Cruise ship Shore Power Project*. [http://www.aapa-ports.org/files/SeminarPresentations/06\\_Cruise\\_Dow.pdf](http://www.aapa-ports.org/files/SeminarPresentations/06_Cruise_Dow.pdf)

Entec. 2005. *European Commission Directorate General Environment. Service contract on ship emissions: assignment, abatement and market based instruments*. Tillgänglig: [http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/task1\\_assign\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/task1_assign_report.pdf)

- Entec. 2002. *Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European community*. Tillgänglig: [http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/chapter3\\_end\\_ship\\_emissions.pdf](http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/chapter3_end_ship_emissions.pdf)
- Entec. 2010. *UK ship emissions inventory*. Tillgänglig: [http://uk-air.defra.gov.uk/reports/cat15/1012131459\\_21897\\_Final\\_Report\\_291110.pdf](http://uk-air.defra.gov.uk/reports/cat15/1012131459_21897_Final_Report_291110.pdf)
- ENVIRON International Corporation. 2013. *Final mitigated negative declaration for tenth avenue marine terminal shore power project San Diego, California*.
- Ericsson, P och Fazlagic, I. 2008. *Shore-side power supply. A feasibility study and a technical solution for an on-shore electrical infrastructure to supply vessels with electric power while in port*. Masteruppsats Chalmers tekniska högskola.
- European Environment Agency. 2013. *The impact of international shipping on European air quality and climate forcing*. EEA Technical report. No 4/2013.
- Eyring, V., Isaksen, I.S.A., Berntsen, T., Collins, W.J., Corbett, J.J., Endresen, O., Grainger, R.G., Moldanova, J., Schlager, H., Stevenson, D.S. 2009. *Transport impacts on atmosphere and climate: Shipping*. Atmospheric Environment. Vol. 44. Nr. 37: 4735-4771.
- Fiadomor, R. 2009. *Assessment of alternative maritime power (cold ironing) and its impact on port management and operations*. Masteruppsats World maritime university. Tillgänglig: [http://www.ops.wpci.nl/\\_images/\\_downloads/\\_original/1379920455\\_wmudissertation.pdf](http://www.ops.wpci.nl/_images/_downloads/_original/1379920455_wmudissertation.pdf)
- Fridell, E. 2009. *Anslutning av fartyg till landel i Sverige – En kortfattad miljönyttoanalys*. Tillgänglig: [http://www.skandiacontainer.eu/prod/hamnen/ghab/dalis2bs.nsf/vyFilArkiv/landelIVLslut.pdf/\\$file/landelIVLslut.pdf](http://www.skandiacontainer.eu/prod/hamnen/ghab/dalis2bs.nsf/vyFilArkiv/landelIVLslut.pdf/$file/landelIVLslut.pdf)
- Gamette, S. 2008. *Pier T Berth T121 BP Cold Ironing Project For Alaska Class Tankers*. Tillgänglig: <http://www.polb.com/civica/filebank/blobdload.asp?BlobID=5782>
- Giulia, A., Murillo, C., Guillermo, D & Claudio, F. 2011. *Key factors and barriers to the adoption of cold ironing in Europe*. Working Papers SIET 2011 – ISSN 1973-3208. Tillgänglig: [http://ideas.repec.org/p/sit/wpaper/11\\_15.html](http://ideas.repec.org/p/sit/wpaper/11_15.html)
- Hall, J.W. 2010. *Assessment of CO<sub>2</sub> and priority pollutant reduction by installation of shoreside power*. Resources, Conservation and Recycling. Vol 54. Nr 7: 462-467.
- Höst, M., Regnell, B., Runeson, P. 2006. *Att genomföra examensarbete*. Lund: Studentlitteratur.
- IEC/ISO/IEEE 80005-1. 2012. *International standard. Utility connections in port- Part 1: High Voltage Shore Connection (HVSC) Systems – General requirements*.
- IMO. 2009. *Second IMO GHG Study 2009*. Tillgänglig: [http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data\\_id=27795](http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=27795)
- Jivén K. 2004. *Shore-side electricity for ships in ports: Case studies with estimates of internal and external costs, prepared for the North Sea Commission*. Tillgänglig:

<http://www.mariterm.se/download/Rapporter/Shore-Side%20Electricity%20for%20Ships%20Report%20official.pdf>

Kommerskollegium. 2012. *Handel, transporter och konsumtion*. Tillgänglig: <http://www.kommers.se/Documents/dokumentarkiv/publikationer/2012/skriftserien/rapport-2012-3-handel-transporter-och-konsumtion.pdf>

Länsstyrelsen Västmanlands län. 2007. *Riksintressena Västerås och Köpings hamnar*. Tillgänglig: [http://www.trafikverket.se/PageFiles/43853/vasteras\\_koping.pdf](http://www.trafikverket.se/PageFiles/43853/vasteras_koping.pdf)

MariTerm AB. 2002. *Mälarsjöfarten och näringslivet – nuläget och framtiden*. Tillgänglig: <http://www.mariterm.se/download/Rapporter/Malarsjofarten.pdf>

MariTerm AB. 2001. *Östra mellansveriges hamnkapacitet*. Tillgänglig: [http://www.mariterm.se/download/Rapporter/Rapport\\_1008.pdf](http://www.mariterm.se/download/Rapporter/Rapport_1008.pdf)

Martelin, M, Fazlagic, I., Skinner, R. 2010. *ABB Shore Connection: Effectively reducing emissions from ports*. Tillgänglig: <http://www.worldenergy.org/documents/congresspapers/233.pdf>

Martuzzi, M., Krzyzanowski, M. & Bertollini, R. 2003. *Health impact assessment of air pollution: providing further evidence for public health action*. European Respiratory Journal. Vol. 21. Nr. 40: 86-91.

Mellin, A och Creutzer, C. 2014. *SJÖSAM – sjöfartens samhällsekonomiska marginalkostnader. Förstudie inom SAMKOST*. Tillgänglig: <http://www.vti.se/sv/publikationer/pdf/sjosam--sjofartens-samhallsekonomiska-marginalkostnader--forstudie-inom-samkost.pdf>

Mälarhamnar AB. 2014. *Anlöpsrapport*.

Mälarhamnar AB. 2013. *Miljörapport Köping 2012*. Tillgänglig: [http://www.malarhamnar.se/sc.php?meny\\_id=5&id=18&klickid=18](http://www.malarhamnar.se/sc.php?meny_id=5&id=18&klickid=18)

Mälarhamnar AB. 2013. *Miljörapport Västerås 2012*. Tillgänglig: [http://www.malarhamnar.se/sc.php?meny\\_id=5&id=18&klickid=18](http://www.malarhamnar.se/sc.php?meny_id=5&id=18&klickid=18)

Mälarenergi AB. 2014. *Faktura till Mälarhamnar AB 2014-01-01 – 2014-01-31*.

Nicewicz, G. & Tarnapowicz, D. 2012. *Assessment of marine auxiliary engines load factor in ports*. Management Systems in Production Engineering. Vol.7. Nr. 3: 12-17.

Official Journal of the European Union. 2012. *Directive 2012/33/EU*. Tillgänglig: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:327:0001:0013:EN:PDF>

Olsson, R., Älgsjö, M. & Westlund, O. 2013. *Storskaligt batterilager i samband med landanslutning i Ystad hamn*. Magisteruppsats, Högskolan i Halmstad. Tillgänglig: <http://hh.diva-portal.org/smash/get/diva2:628793/FULLTEXT01.pdf>

Paulsson, U. 1999. *Uppsatser och rapporter – med eller utan uppdragsgivare*. Lund: Studentlitteratur.

- Port of Oslo. 2012. *Facts about the onshore power supply at the Port of Oslo*. Tillgänglig: [http://www.oslohavn.no/filestore/Brosjyrer\\_og\\_rapporter/Kortversjonlandstrmengelsk2013.pdf](http://www.oslohavn.no/filestore/Brosjyrer_og_rapporter/Kortversjonlandstrmengelsk2013.pdf)
- Pratt, J.W & Harris, A.P. 2013. *Vessel cold-ironing using a barge mounted PEM fuel cell: project scooping and feasibility*. Sandia National Laboratories. Tillgänglig: [http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/sand2013-0501\\_barge\\_mounted\\_pemfc.pdf](http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/sand2013-0501_barge_mounted_pemfc.pdf)
- Prat P, J. & Juandó, A. 2012. *Technologies and Scenarios for Low Emissions Shipping*. Tillgänglig: <http://tefles.eu/wp-content/uploads/2011/05/D7.1-Report-state-of-the-art-v02.pdf>
- Radu, D. & Grandidier, L. 2012. *Shore Connection Technology – Environmental Benefits and Best Practices*. Tillgänglig: <http://www.graybar.com/docs/schneider-shore-connection-environmental-benefits.pdf>
- Regeringens proposition 2009/10:144. *Bättre skattemässiga förutsättningar för biogas samt för landansluten el till fartyg i hamn*. Tillgänglig: [http://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/Forslag/Propositioner-och-skrivelser/Battre-skattemassiga-forutsatt\\_GX03144/?text=true](http://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/Forslag/Propositioner-och-skrivelser/Battre-skattemassiga-forutsatt_GX03144/?text=true)
- Sjöfartsverket. 2009. *Handlingsplan för att reducera kväveoxidutsläpp från fartyg*. Tillgänglig: [http://www.sjofartsverket.se/upload/Listade-dokument/Rapporter\\_Remisser/SV/2009/Rapport\\_091015.pdf](http://www.sjofartsverket.se/upload/Listade-dokument/Rapporter_Remisser/SV/2009/Rapport_091015.pdf)
- Sjöfartsverket. 2014. *Miljökonsekvensbeskrivning för Mälarprojektet*. Tillgänglig: [http://www.sjofartsverket.se/pages/41799/Ans%C3%B6kningshandlingar/3%20MKB%20med%20bilagor/Milj%C3%B6konsekvensbeskrivning%20\(MKB\).pdf](http://www.sjofartsverket.se/pages/41799/Ans%C3%B6kningshandlingar/3%20MKB%20med%20bilagor/Milj%C3%B6konsekvensbeskrivning%20(MKB).pdf)
- Sjöfartsverket. 2013. *Mälarprojektet – underlag för samråd*. Tillgänglig: [http://www.sjofartsverket.se/pages/41794/M%C3%A4larprojektet\\_samr%C3%A5dsunderlag%20\\_130322.pdf](http://www.sjofartsverket.se/pages/41794/M%C3%A4larprojektet_samr%C3%A5dsunderlag%20_130322.pdf)
- Sjöfartsverket. 2003. *Sjöfartens avgiftsrelevanta marginalkostnader*.
- Sjöfartsverket. 2007. *Sjöfartens och hamnarnas roll i transportsystemet*. Tillgänglig: [http://www.sjofartsverket.se/upload/Listade-dokument/Rapporter\\_Remisser/SV/2008/Sjofartens\\_och\\_hamnarnas\\_roll\\_i\\_transportsystemet.pdf](http://www.sjofartsverket.se/upload/Listade-dokument/Rapporter_Remisser/SV/2008/Sjofartens_och_hamnarnas_roll_i_transportsystemet.pdf)
- Smits, J.A. 2008. *Shore connected power for the ferry /RoRo vessel in the Port of Rotterdam*. Tillgänglig: [http://www.ops.wpci.nl/images/downloads/original/1266312044\\_summaryofpoands-tena-versie30.pdf](http://www.ops.wpci.nl/images/downloads/original/1266312044_summaryofpoands-tena-versie30.pdf)
- Starcrest. 2011. *The port of Los Angeles inventory of air emissions for calendar year 2009*. Tillgänglig: [http://www.portoflosangeles.org/DOC/REPORT\\_Air\\_Emissions\\_Inventory\\_2009.pdf](http://www.portoflosangeles.org/DOC/REPORT_Air_Emissions_Inventory_2009.pdf)
- Structor. 2013. *Muddring och andra åtgärder i Köpingsviken*. Tillgänglig: [http://www.koping.se/Documents/Boende,%20milj%C3%B6och%20trafik/Milj%C3%B6konsekvensbeskrivning%20\(MKB\).pdf](http://www.koping.se/Documents/Boende,%20milj%C3%B6och%20trafik/Milj%C3%B6konsekvensbeskrivning%20(MKB).pdf)

%b6,%20klimat/Muddring%20M%c3%a4larviken%202013-2017/Samr%c3%a5dsredog%c3%b6relse%20inkl%20bilagor%20exkl%20underlag%20fr%20samr%c3%a5det\_%20till%20hemsidan.pdf

Sveriges Hamnar. 2013. *Anslutning av elektricitet till fartyg vid kaj*.

Swahn, H. 2013. *Samhällsekonomsisk bedömning av Mälarprojektet i anslutning till MKB*.

Sweco. 2012. *Effekter av svaveldirektivet – En rapport till Svensk Näringsliv*.

Tetra Tech, Inc. 2007. *Use of shore-side power for ocean-going vessels*. Tillgänglig: [http://www.ops.wpci.nl/\\_images/\\_downloads/\\_original/1264151248\\_2007aapauseofshore-sidepowerforocean-goingvessels.pdf](http://www.ops.wpci.nl/_images/_downloads/_original/1264151248_2007aapauseofshore-sidepowerforocean-goingvessels.pdf)

Theodoros, P.G. 2012. *A cold Ironing Study on Modern Ports, Implementation and Benefits Thriving for Worldwide Ports*. School of Naval Architecture & Marine Engineering, National Technical University of Athens. Tillgänglig: <http://www.martrans.org/docs/theses/papoutsoglou.pdf>

Trafikanalys. 2013. *Konsekvenserna av skärpta krav för svavelhalten i marint bränsle*. Rapport 2013:10. Tillgänglig: [http://www.trafa.se/PageDocuments/Rapport\\_2013\\_10\\_Konsekvenserna\\_av\\_skaerpta\\_krav\\_foer\\_svavelhalten\\_i\\_marint\\_braensle\\_-\\_slutredovisning.pdf](http://www.trafa.se/PageDocuments/Rapport_2013_10_Konsekvenserna_av_skaerpta_krav_foer_svavelhalten_i_marint_braensle_-_slutredovisning.pdf)

Trafikverket. 2012. *Samhällsekonomsiska principer och kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 5*. Tillgänglig: <http://www.trafikverket.se/Foretag/Planera-och-utreda/Planerings--och-analysmetoder/Samhallsekonomsisk-analys-och-trafikanalys/ASEK---arbetsgruppen-for-samhallsekonomsiska-kalkyl--och-analysmetoder-inom-transportområdet/ASEK-5---rapporter/>

Trafikverket. 2014. *Samhällsekonomsiska principer och kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 5.1*. Tillgänglig: [http://www.trafikverket.se/TrvSeFiler/Foretag/Planera\\_o\\_utreda/Gallande\\_forutsattningar\\_och\\_indata/ASEK\\_kalkylvarden/12\\_klimatgaser\\_a51.pdf](http://www.trafikverket.se/TrvSeFiler/Foretag/Planera_o_utreda/Gallande_forutsattningar_och_indata/ASEK_kalkylvarden/12_klimatgaser_a51.pdf)

TSI Terminal Systems Inc. 2007. *Final Report for Deltaport Third Berth Container Terminal Cold Ironing Feasibility Study*. Tillgänglig: [http://www.portmetrovanancouver.com/docs/default-source/projects-deltaport-third-berth-project/2007-05-30\\_TSI\\_DP3\\_Cold\\_Ironing\\_Feasibility\\_Study\\_final.pdf?sfvrsn=0](http://www.portmetrovanancouver.com/docs/default-source/projects-deltaport-third-berth-project/2007-05-30_TSI_DP3_Cold_Ironing_Feasibility_Study_final.pdf?sfvrsn=0)

Vinnova. 2012. *Förutsättningar för elanslutning av fartyg i Göteborgs hamn*. Tillgänglig: [http://goteborgshamn.se/Documents/Milj%C3%B6/Rapport\\_elanslutning\\_vinnova.pdf?epslanguage=sv](http://goteborgshamn.se/Documents/Milj%C3%B6/Rapport_elanslutning_vinnova.pdf?epslanguage=sv)

Västerås Stad. 2013a. *Utveckling av Västerås hamnområde - Projektbeskrivning*. Tillgänglig: [http://relaunch.citiesclimateregistry.org/uploads/tx\\_carbonndata/Hamnprojektet.pdf](http://relaunch.citiesclimateregistry.org/uploads/tx_carbonndata/Hamnprojektet.pdf)

Västerås stad. 2013b. *Västerås hamn – underlag för samråd*. Tillgänglig: [http://www.vasteras.se/Tvarsnittsdokument/Kommunstyrelse/Samr%C3%A5dsunderlag\\_Hammen\\_20130426.pdf](http://www.vasteras.se/Tvarsnittsdokument/Kommunstyrelse/Samr%C3%A5dsunderlag_Hammen_20130426.pdf)

Wilske, Å. 2012. *Reducing the environmental impact of port operations through onshore power supply*.

Yorke Engineering, LLC. 2007. *Port of San Diego: Cold Ironing Study*.

Ystad Hamn Logistik AB. 2011. *Pressinformation – Nu börjar vi bygga landströmsanläggningen*. Tillgänglig:  
<http://www.ystad.se/globalassets/dokument/bolag/yhlab/pressinformation-landstrom.pdf>

Zanetti Libera, S. 2013. *Is cold ironing hot enough? An actor focus perspective of on shore power supply (OPS) at Copenhagen's harbour*. Masteruppsats. Lund Universitet. Tillgänglig:  
<http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=4092898&fileId=4092899>

## Elektroniska källor

ABB (2012). ABB's shore-to-ship power solution for Rotterdam,  
<http://www.abb.com/cawp/seitp202/d391bb413766f9bcc1257a37002f0c3f.aspx> (2014-04-22)

Bunkerworld (2014). Latest prices,  
<http://www.bunkerworld.com/prices/port/nl/rtm/?grade=MGO> (2014-04-22)

Bäragsbladet (2013). Coral Ivory krockade i Kielkanalen,  
<http://bblat.se/nyheter/koping/1.2261418-coral-ivory-krockade-i-kielkanalen> (2014-04-22)

Cochran Marine (2013). Port overview,  
[http://www.ops.wpci.nl/\\_images/\\_downloads/\\_original/1370433488\\_a9r1eb2.pdf](http://www.ops.wpci.nl/_images/_downloads/_original/1370433488_a9r1eb2.pdf) (2014-04-22)

Color Line (2014). Fakta om Color Magic.  
[http://www.colorline.no/praktisk\\_informasjon/fakta\\_om\\_color\\_magic](http://www.colorline.no/praktisk_informasjon/fakta_om_color_magic) (2014-05-05)

European Central Bank (2014). Euro exchange rates SEK,  
<http://www.ecb.europa.eu/stats/exchange/eurofxref/html/eurofxref-graph-sek.en.html> (2014-04-22)

European Commission (2014a). Reducing emissions from the shipping sector,  
[http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/shipping/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/shipping/index_en.htm) (2014-04-22)

European Commission (2014b). Emissions from maritime transport,  
<http://ec.europa.eu/environment/air/transport/directive.htm> (2014-04-22)

Göteborgs hamn (2013). Elanslutning av fartyg, <http://www.goteborgshamn.se/sv/Om-hamnen/Hallbar-hamn/Hallbarhet/> (2014-04-22)

Köpings kommun (2013). Statistik, <http://www.koping.se/kommun-och-politik/kommunfakta/6480/> (2014-04-22)

Länsstyrelsen Västmanlands län (2014). Mälarsjöfarten ska öka,  
<http://www.lansstyrelsen.se/vastmanland/Sv/nyheter/2014/Pages/malarsjofarten-ska-oka.aspx> (2014-04-22)

Marinelog (2008). Lübeck commissions Germany's first plug-in power supply for ships, <http://www.marinelog.com/DOCS/NEWSMMVII/2008aug00221.html> (2014-04-22)

Miljömål (2010). Luft – utsläpp av svavel- och kvävedioxider, <http://www.miljomal.se/Publikationer-och-bilder/Rapporter/Miljomalsradet/Miljomalen--svensk-konsumtion-och-global-miljopaverkan/Svensk-konsumtions-paverkan-pa-miljon-i-andra-lander/Luft--utslapp-av-svavel--och-kvaveoxider/> (2014-04-22)

Mälarhamnar (2011). Two inland ports one company a clear vision, [http://www.malarhamnar.se/sc.php?meny\\_id=3&id=1](http://www.malarhamnar.se/sc.php?meny_id=3&id=1) (2014-04-22)

Mälarhamnar (2013a). Fakta om kajer inom Mälarhamnar AB, [http://www.malarhamnar.se/sc.php?meny\\_id=3&id=2&klickid=2](http://www.malarhamnar.se/sc.php?meny_id=3&id=2&klickid=2) (2014-04-22)

Mälarhamnar (2013b). Ägarförhållande, [http://www.malarhamnar.se/sc.php?meny\\_id=9&id=2&klickid=2](http://www.malarhamnar.se/sc.php?meny_id=9&id=2&klickid=2) (2014-04-22)

Mälarenergi (2014). Ursprungsmärkning av el. <http://www.malarenergi.se/sv/foretag/elavtal/om-elmarknaden/ursprungsmarkning-av-el/> (2014-04-25)

Oslo Havn KF (2011). Facts about shore-based electrical power, <http://www.oslohavn.no/filestore/PDF/2011/Engelsk/Faktaarklandstrm-engelsk.pdf> (2014-04-22)

Onshore Power Supply (2013). Cost calculation, <http://www.ops.wpci.nl/costs/cost-calculation/> (2014-04-22)

Onshore Power Supply (2014a). Operational costs and savings, <http://www.ops.wpci.nl/costs/operational-costs/> (2014-04-22)

Onshore Power Supply (2014b). Ports planning to use OPS, <http://www.ops.wpci.nl/ops-installed/ports-planning-to-use-ops/> (2014-04-22)

Port of Long Beach (2004). Design standards, <http://www.polb.com/civica/filebank/blobload.asp?BlobID=2158> (2014-04-22)

Port of Rotterdam (2013). Inland shipping, <http://annualreport.portofrotterdam.com/en/development-of-the-port-area/inland-shipping/1742> (2014-04-22)

Port of Rotterdam (2014). Safe port. <http://www.portofrotterdam.com/en/Port/port-in-general/Pages/safe-port.aspx> (2014-05-05)

Siemens (2008). Siemens and Lübeck utility commission Germany's first shore side power supply for merchant shipping, [http://www.siemens.com/press/en/pressrelease/?press=/en/pressrelease/2008/power\\_distribution/epd200808057.htm](http://www.siemens.com/press/en/pressrelease/?press=/en/pressrelease/2008/power_distribution/epd200808057.htm) (2014-04-22)

SMHI (2012a). Kvävedioxid, <http://www.smhi.se/reflabmodeller/Om-luftforeningar/Luftforeningar/kvavedioxid-1.19620> (2014-04-22)

SMHI (2012b). Svaveldioxid, <http://www.smhi.se/reflabmodeller/Om-luftfororeningar/Luftfororeningar/svaveldioxid-1.19621> (2014-04-22)

SMHI (2012c). Partiklar, <http://www.smhi.se/reflabmodeller/Om-luftfororeningar/Luftfororeningar/partiklar-1.19671> (2014-04-22)

Svensk Energi (2013). Branschens goda miljöexempel: Ystad Energi bidrar med landström till Polenfärjorna, <http://www.svenskenergi.se/Pressrum/Nyheter/Ystad-Energi-bidrar-med-landstrom-till-Polen-farjorna/> (2014-04-22)

The Port of Long Beach (2013). Shore Power Regulation Fact Sheet, <http://www.polb.com/civica/filebank/blobload.asp?BlobID=10587> (2014-04-22)

Terntank (2014). M/T Ternhav, <http://www.terntank.com/our-fleet/mt-ternhav/> (2014-04-22)

Transportstyrelsen (2008). Lastfartyg, <https://www.transportstyrelsen.se/sv/Sjofart/Fartyg/Fartygstyper/Lastfartyg/> (2014-04-22)

Valuta.se (2014). USDSEK, <http://www.valuta.se/currency/showgraph.aspx?valutaid=638313> (2014-04-22)

Västerås stad (2014). Befolkning, <http://www.vasteras.se/omvasteras/statistikochfakta/statistikafteramne/Sidor/befolkning.aspx> (2014-04-22)

World ports climate initiative (2014a). Equipment and solutions, <http://wpci.iaphworldports.org/onshore-power-supply/implementation/equipment-and-solutions.html> (2014-04-22)

World ports climate initiative (2014b). Long Beach, <http://wpci.iaphworldports.org/onshore-power-supply/ops-installed/long-beach.html> (2014-04-22)

World ports climate initiative (2014c). Seattle, <http://wpci.iaphworldports.org/onshore-power-supply/ops-installed/seattle.html> (2014-04-22)

## Personlig kommunikation

Johansson, Clas; Sjöfartsansvarig vid Piteå hamn. 2014-02-10. Mailkonversation.

van Veen, Willem; Chefsingenjör på Belterwiede. 2014-02-19. Mailkonversation.

Schmalfeld, Birte; Manager vid rederi Speck. 2014-02-19. Mailkonversation.

Sjögren, Per; Underhållschef vid Ystad hamn. 2014-03-21. Intervju.

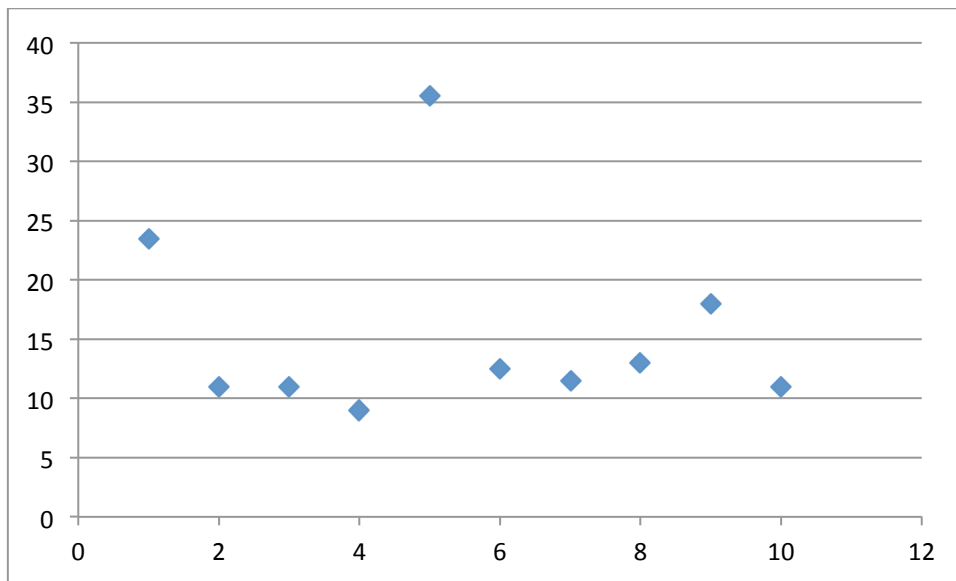
Thiede, Helmer; Ansvarig för oljehamn och maritim vid Mälarhamnar. 2014-03-18. Mailkonversation.

Wegmann, Hans; Konsult vid Wegmann Marin. 2014-04-03. Telefonintervju.

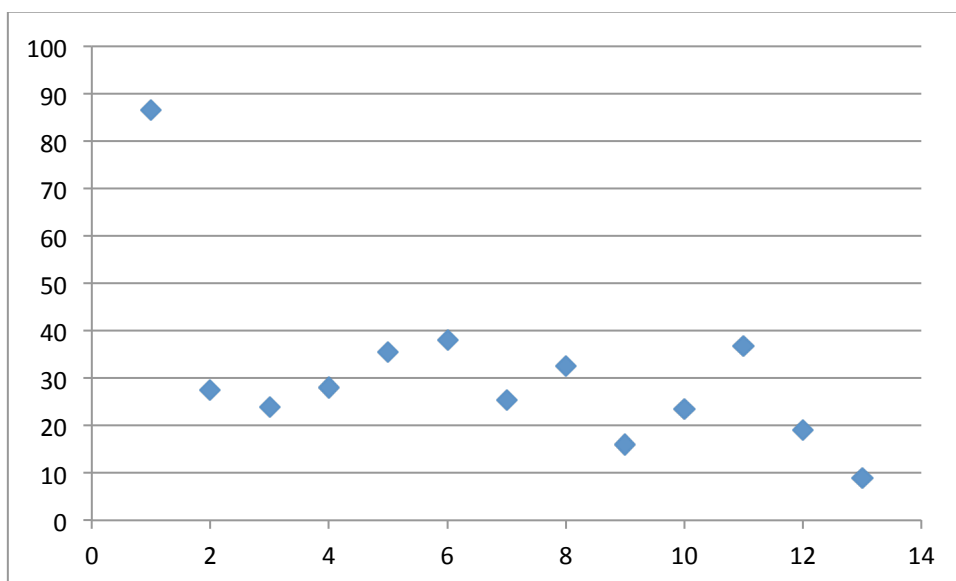
Wiksborg, Anders; Försäljningsansvarig vid Cavotec Sverige. 2014-05-15. Mailkonversation.

Åhlström Dahl, Susanne; Driftschef vid Nordkalk. 2014-04-15. Mailkonversation.

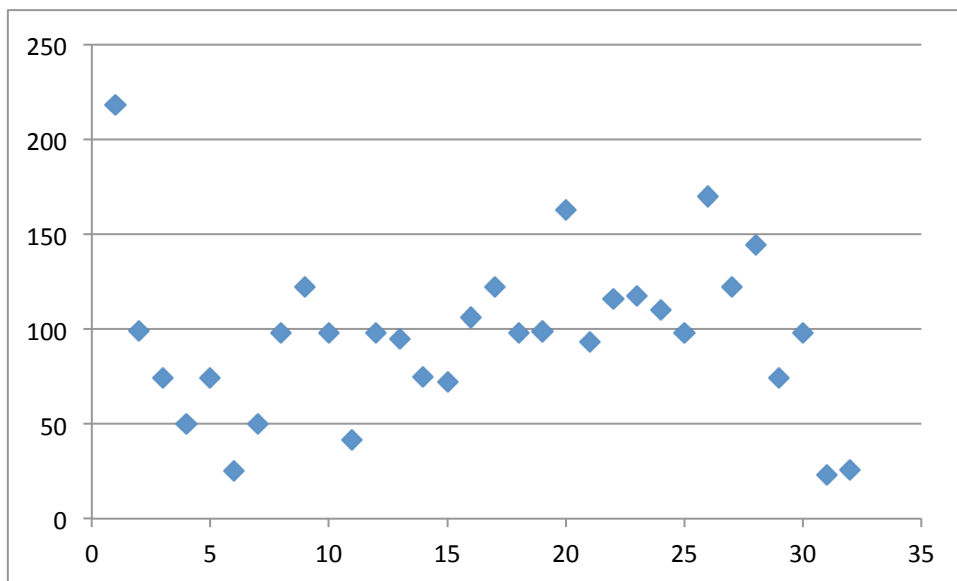
## Bilaga 1: Punktdiagram över liggetider



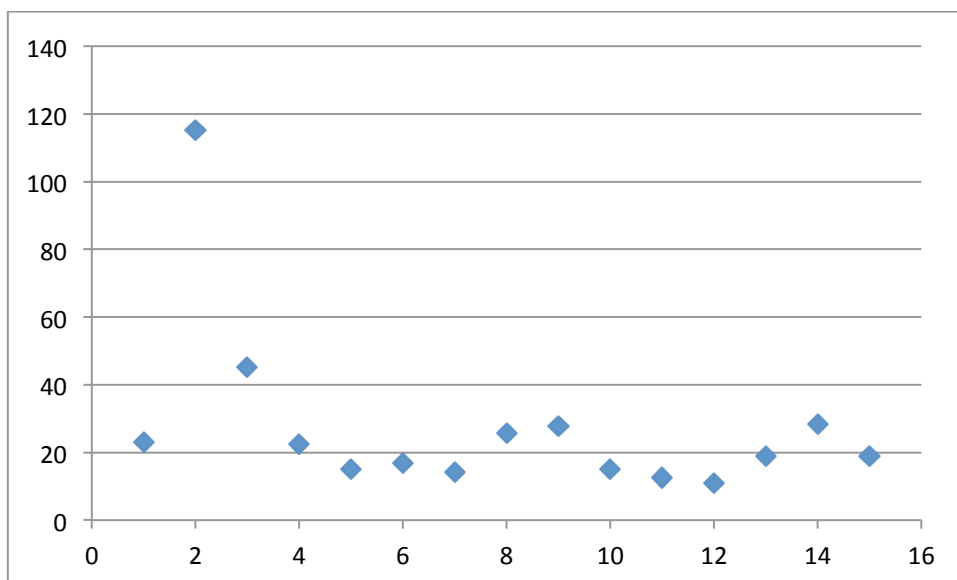
Figur 1. Belterwiede. Värdet 35,5 plockades bort.



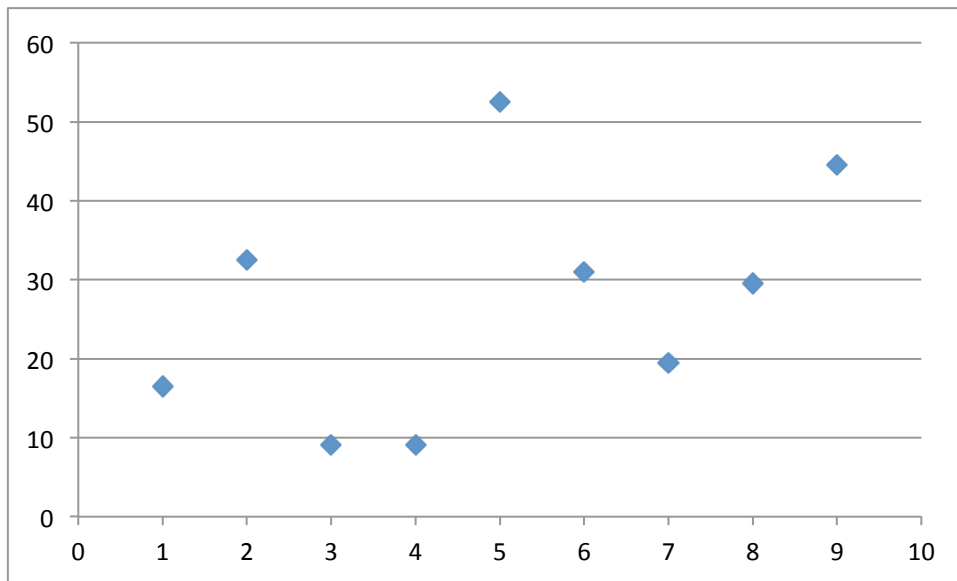
Figur 2. Cembalo. Värdet 86,5 plockades bort.



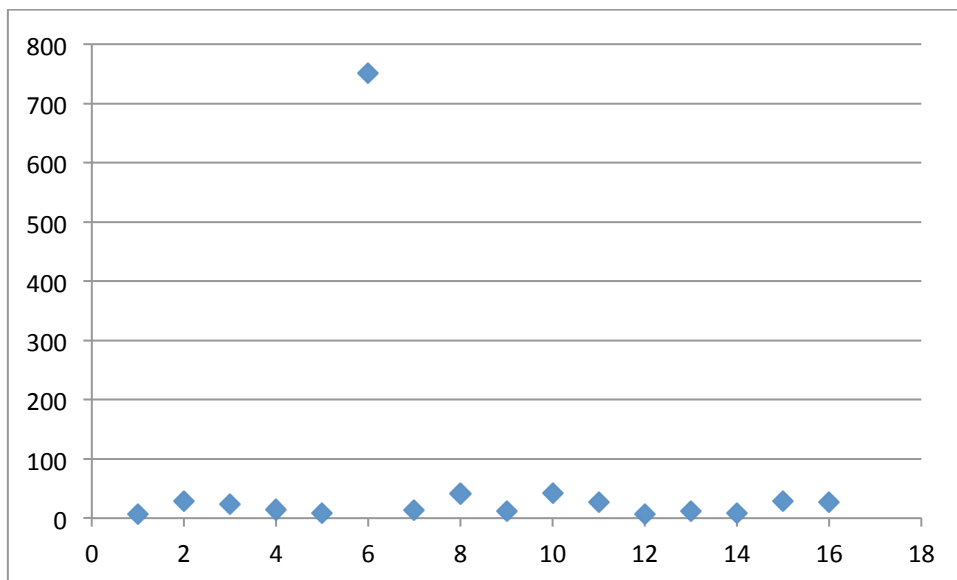
Figur 3. Coral Ivory. Värdet 218,41 plockades bort.



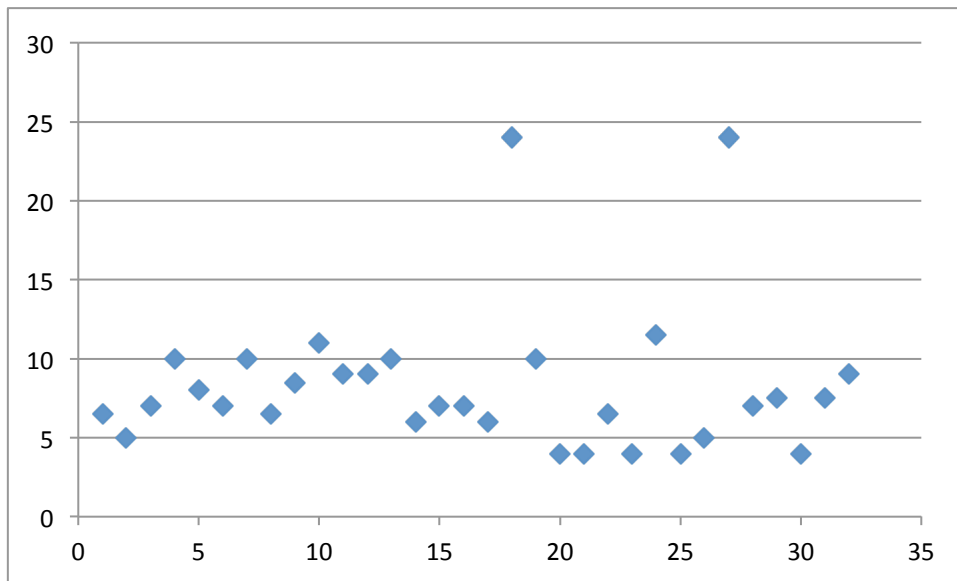
Figur 4. Coral Obelia. Värdet 115, 16 plockades bort.



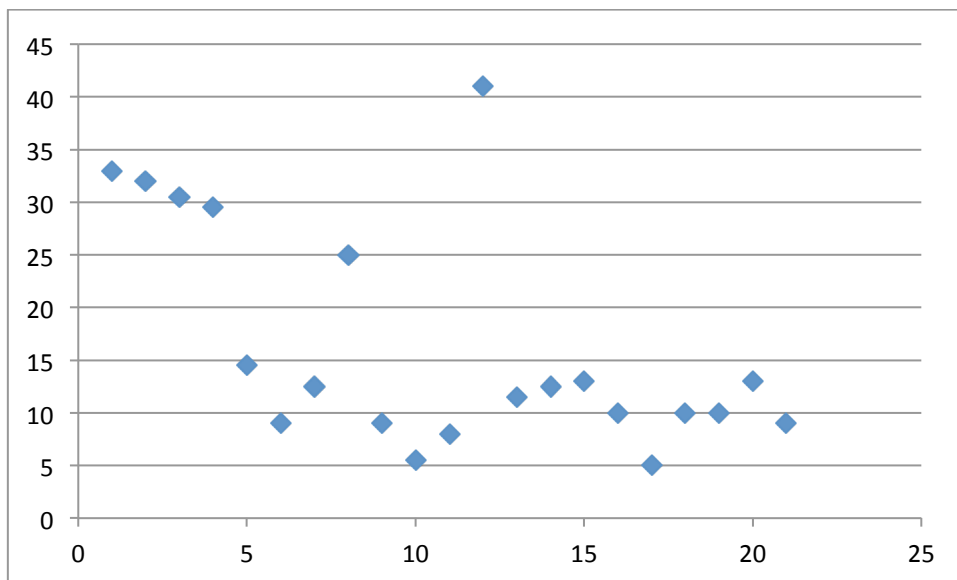
Figur 5. Iceland cement. Inget extremvärde.



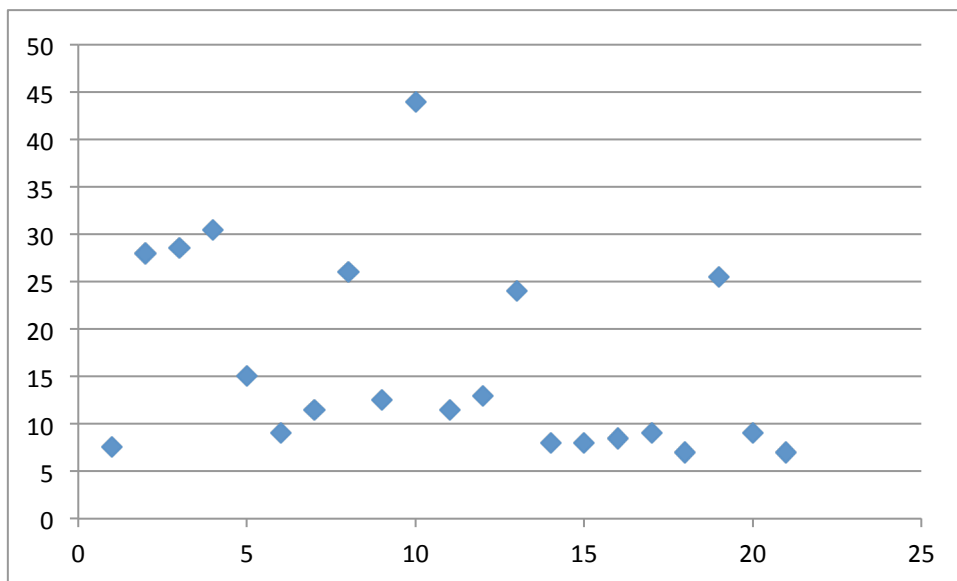
Figur 6. Orion. Värdet 751,5 plockades bort.



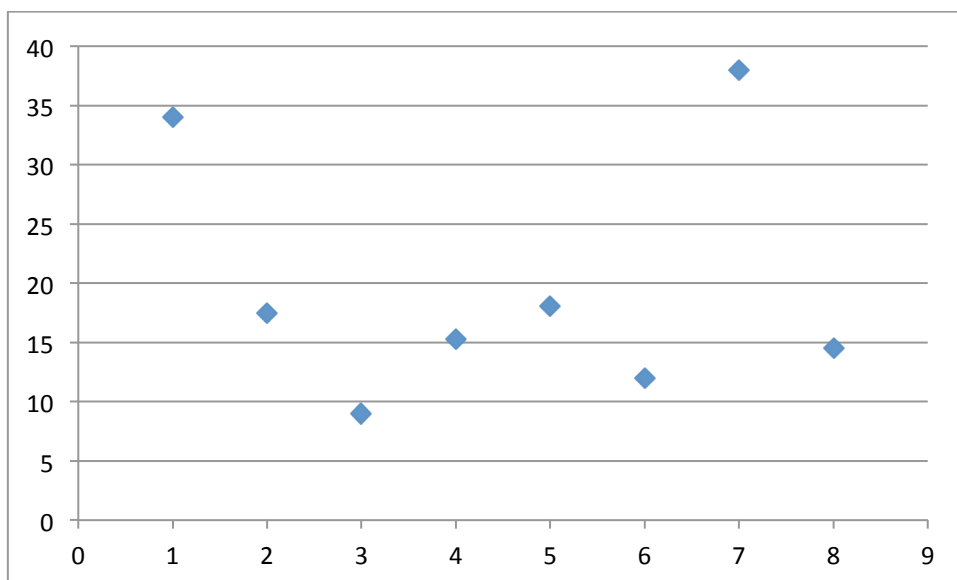
Figur 7. Trans Alrek. Värdena 24 plockades bort.



Figur 8. Frej: Inget extremvärde.



Figur 9. Odin. Inget extremvärde.



Figur 10. Östanvik. Värdena 34 och 38 plockades bort.

## Bilaga 2: Tabeller

Tabell 1. Utsläppsfaktorer för elektricitet (g/kWh).

| Ursprung              | NO <sub>x</sub> | PM       | SO <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> | Andel |
|-----------------------|-----------------|----------|-----------------|-----------------|-------|
| Gas                   | 0,35            | 0        | 0,02            | 402             | 0,11  |
| Kol                   | 0,41            | 0,0033   | 0,37            | 902             | 0,11  |
| Vind/vatten/kärnkraft | 0               | 0        | 0               | 0               | 0,78  |
| Summa                 | 0,0836          | 0,000363 | 0,0429          | 143,44          |       |

Tabell 2. Kostnader för att installera landström i Köping. 2,5 MW.

| Komponent                                | Antal | Styckpris [kr] | Längd [km] | Totalt [kr] |
|------------------------------------------|-------|----------------|------------|-------------|
| Jordkabel<br>PEX 3x630 mm <sup>2</sup>   | 2     | 1024000        | 1,2        | 2457600     |
| Jordkabel<br>PEX 3x95 mm <sup>2</sup>    | 1     | 625 130        | 0,7        | 437591      |
| Anslutningsavgift                        |       | 1100000        |            |             |
| Frekvensomriktare                        | 1     | 9010000        |            | 9010000     |
| Transformator före<br>frekvensomriktare  | 1     | 2000000        |            | 2000000     |
| Transformator efter<br>frekvensomriktare | 1     | 2500000        |            | 2500000     |
| Ställverksfack                           | 1     | 262300         |            | 262300      |
| Uttag                                    | 6     | 136000         |            | 816000      |
| <b>Summa utan frekvensomriktare</b>      |       |                |            | 5073491     |
| <b>Summa med frekvensomriktare</b>       |       |                |            | 18583491    |

Tabell 3. Kostnader för att installera landström i Köping. 5 MW.

| Komponent                                | Antal | Styckpris [kr] | Längd [km] | Totalt [kr] |
|------------------------------------------|-------|----------------|------------|-------------|
| Jordkabel<br>PEX 3x630 mm <sup>2</sup>   | 2     | 1024000        | 1,2        | 2457600     |
| Jordkabel PEX 3x240 mm <sup>2</sup>      | 1     | 723521         | 0,7        | 506465      |
| Ställverksfack                           | 1     | 262300         |            | 262300      |
| Anslutningsavgift                        |       | 2700000        |            |             |
| Frekvensomriktare                        | 1     | 9010000        |            | 9010000     |
| Transformator före<br>frekvensomriktare  | 1     | 2000000        |            | 2000000     |
| Transformator efter<br>frekvensomriktare | 1     | 2500000        |            | 2500000     |
| Uttag                                    | 6     | 136000         |            | 816000      |
| <b>Summa utan frekvensomriktare</b>      |       |                |            | 6742365     |
| <b>Summa med frekvensomriktare</b>       |       |                |            | 20252365    |

Tabell 4. Kostnader för att installera landström i Västerås. 2,5 MW.

| Komponent                                | Antal | Styckpris | Längd [km] | Totalt [kr] |
|------------------------------------------|-------|-----------|------------|-------------|
| Jordkabel<br>PEX 3x630 mm <sup>2</sup>   | 2     | 1024000   | 1,2        | 2443264     |
| Jordkabel<br>PEX 3x95 mm <sup>2</sup>    | 1     | 625 130   | 0,7        | 437591      |
| Ställverksfack                           | 1     | 262300    |            | 262300      |
| Anslutningsavgift 3000 kVA               |       | 900 000   |            | 900 000     |
| Frekvensomriktare                        | 1     | 9010000   |            | 9010000     |
| Transformator före<br>frekvensomriktare  | 1     | 2000000   |            | 2000000     |
| Transformator efter<br>frekvensomriktare | 1     | 2500000   |            | 2500000     |
| Uttag                                    | 8     | 136000    |            | 1088000     |
| <b>Summa utan frekvensomriktare</b>      |       |           |            | 5318694     |
| <b>Summa med frekvensomriktare</b>       |       |           |            | 18828694    |

Tabell 5. Kostnader för att installera landström i Västerås. 5 MW.

| Komponent                                | Antal | Styckpris<br>[kr] | Längd<br>[km] | Totalt<br>[kr] |
|------------------------------------------|-------|-------------------|---------------|----------------|
| Jordkabel<br>PEX 3x630 mm <sup>2</sup>   | 2     | 1024000           | 1,2           | 2443264        |
| Jordkabel PEX 3x240 mm <sup>2</sup>      | 1     | 723521            | 0,7           | 506464,7       |
| Ställverksfack                           | 1     | 262300            |               | 262300         |
| Anslutningsavgift 6200 kVA               |       | 2 500 000         |               | 2 500 000      |
| Frekvensomriktare                        | 1     | 9010000           |               | 9010000        |
| Transformator före<br>frekvensomriktare  | 1     | 2000000           |               | 2000000        |
| Transformator efter<br>frekvensomriktare | 1     | 2500000           |               | 9010000        |
| Uttag                                    | 8     | 136000            |               | 1088000        |
| <b>Summa utan frekvensomriktare</b>      |       |                   |               | 7017085        |
| <b>Summa med frekvensomriktare</b>       |       |                   |               | 20527085       |

Tabell 6. Beräkning av utsläpp för framtida fartyg.

| Oförändrat antal anlop      | Andel i procent |        | ton      |        |       |
|-----------------------------|-----------------|--------|----------|--------|-------|
| <b>Västerås</b>             | torrlast        | reefer | torrlast | reefer | summa |
| Koldioxid                   | 90              | 10     | 1427     | 463    | 3618  |
|                             | 70              | 30     | 1110     | 1388   | 4227  |
|                             | 50              | 50     | 793      | 2314   | 4836  |
| Utsläpp av luftföroreningar |                 |        |          |        |       |
| NOX                         | 90              | 10     | 27       | 9      | 68    |
|                             | 70              | 30     | 21       | 26     | 80    |
|                             | 50              | 50     | 15       | 44     | 91    |
| PM                          | 90              | 10     | 0,62     | 0,20   | 1,57  |

|                             |                 |        |          |        |       |
|-----------------------------|-----------------|--------|----------|--------|-------|
|                             | 70              | 30     | 0,48     | 0,60   | 1,84  |
|                             | 50              | 50     | 0,34     | 1,0    | 2,1   |
| SO2                         | 90              | 10     | 1,86     | 0,60   | 4,72  |
|                             | 70              | 30     | 1,45     | 1,81   | 5,5   |
|                             | 50              | 50     | 1,0      | 3,02   | 6,30  |
|                             |                 |        |          |        |       |
| Oförändrat antal anlöp      | Andel i procent |        | ton      |        |       |
| <b>Köping</b>               | torrlast        | reefer | torrlast | reefer | summa |
| Koldioxid                   | 90              | 10     | 631      | 205    | 1787  |
|                             | 70              | 30     | 490      | 614    | 2056  |
|                             | 50              | 50     | 350      | 1023   | 2325  |
| Utsläpp av luftföroreningar |                 |        |          |        |       |
| NOX                         | 90              | 10     | 12       | 3,9    | 33    |
|                             | 70              | 30     | 9        | 12     | 39    |
|                             | 50              | 50     | 6,6      | 19     | 44    |
| PM                          | 90              | 10     | 0,27     | 0,09   | 0,78  |
|                             | 70              | 30     | 0,21     | 0,267  | 0,89  |
|                             | 50              | 50     | 0,15     | 0,44   | 1,01  |
| SO2                         | 90              | 10     | 0,82     | 0,27   | 2,33  |
|                             | 70              | 30     | 0,64     | 0,8    | 2,69  |
|                             | 50              | 50     | 0,46     | 1,33   | 3,03  |
|                             |                 |        |          |        |       |
| Max antal anlöp             | Andel i procent |        | ton      |        |       |
| <b>Västerås</b>             | torrlast        | reefer | torrlast | reefer | summa |
| Koldioxid                   | 90              | 10     | 4014     | 1302   | 10182 |
|                             | 70              | 30     | 3122     | 3907   | 11894 |
|                             | 50              | 50     | 2230     | 6512   | 13607 |
| Utsläpp av luftföroreningar |                 |        |          |        |       |
| NOX                         | 90              | 10     | 76       | 25     | 192   |
|                             | 70              | 30     | 59       | 74     | 224   |
|                             | 50              | 50     | 42       | 123    | 256   |
| PM                          | 90              | 10     | 1,7      | 0,6    | 4,4   |
|                             | 70              | 30     | 1,4      | 1,7    | 5,2   |
|                             | 50              | 50     | 0,97     | 2,8    | 5,9   |
| SO2                         | 90              | 10     | 5,2      | 1,7    | 13,3  |
|                             | 70              | 30     | 4,1      | 5,1    | 15,5  |
|                             | 50              | 50     | 2,90     | 8,5    | 17,7  |
|                             |                 |        |          |        |       |
| Max antal anlöp             | Andel i procent |        | ton      |        |       |
| <b>Köping</b>               | torrlast        | reefer | torrlast | reefer | summa |
| Koldioxid                   | 90              | 10     | 2083     | 676    | 5903  |
|                             | 70              | 30     | 1620     | 2028   | 6792  |
|                             | 50              | 50     | 1157     | 3380   | 7681  |
| Utsläpp av luftföroreningar |                 |        |          |        |       |
| NOX                         | 90              | 10     | 39       | 13     | 111   |
|                             | 70              | 30     | 31       | 38     | 128   |
|                             | 50              | 50     | 22       | 64     | 145   |
| PM                          | 90              | 10     | 0,9      | 0,3    | 2,6   |

|     |    |    |      |      |      |
|-----|----|----|------|------|------|
|     | 70 | 30 | 0,7  | 0,88 | 2,95 |
|     | 50 | 50 | 0,5  | 1,47 | 3,3  |
| SO2 | 90 | 10 | 2,71 | 0,88 | 7,7  |
|     | 70 | 30 | 2,1  | 2,6  | 8,9  |
|     | 50 | 50 | 1,5  | 4,4  | 10   |

## Bilaga 3: Beräkningar

| Utläppsmödel               |  | Utläppsfaktorer, EF [g/kWh] |        |          |                 |                 |
|----------------------------|--|-----------------------------|--------|----------|-----------------|-----------------|
| E=P*LF*A*EF                |  | Bränsle                     | NOX    | PM       | SO <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> |
| E= utsläpp (g)             |  |                             |        |          |                 |                 |
| P = utteffekt (KW)         |  | MGO, SO <sub>1</sub> %      | 13     | 0,3      | 0,9             | 690             |
| A= timmar (h)              |  | Elektricitet                | 0,0836 | 0,000363 | 0,0429          | 143,44          |
| LF= utsläppsfaktor (g/kWh) |  |                             |        |          |                 |                 |

| Utläppsladd användning av hjulkontor            |          |          |                      |                      |  |  |
|-------------------------------------------------|----------|----------|----------------------|----------------------|--|--|
| Utläpp per besök beräknat med medelvärde för LF |          |          |                      |                      |  |  |
| Fartyg                                          | NOX [kg] | PM [kg]  | SO <sub>2</sub> [kg] | CO <sub>2</sub> [kg] |  |  |
| Coral Ivor                                      | 545232,5 | 12562,29 | 37746,86             | 289392,6             |  |  |
| Orion                                           | 242240,8 | 657.0018 | 1971.005             | 1516603              |  |  |
| Cembalo                                         | 872568,9 | 860.6032 | 2581.816             | 1979392              |  |  |
| Coral Obse                                      | 325681,3 | 1905.418 | 5716.255             | 4382462              |  |  |
| Iceland Cc                                      | 38485,36 | 888.1236 | 2664.371             | 2042694              |  |  |
| Ostankv                                         | 20442,24 | 471.744  | 1415.232             | 1085011              |  |  |
| Trans Frej                                      | 23220,4  | 535.855  | 1607.566             | 1224627              |  |  |
| Trans Odin                                      | 23182,07 | 534.9708 | 1604.912             | 1230433              |  |  |
| Belttervise                                     | 19005,6  | 438.5909 | 1315.773             | 1008759              |  |  |
| Trans Alre                                      | 10292,1  | 237.51   | 712.53               | 546273               |  |  |

| Utläppsladd användning av landstom              |          |          |                      |                      |  |  |
|-------------------------------------------------|----------|----------|----------------------|----------------------|--|--|
| Utläpp per besök beräknat med medelvärde för LF |          |          |                      |                      |  |  |
| Fartyg                                          | NOX [kg] | PM [kg]  | SO <sub>2</sub> [kg] | CO <sub>2</sub> [kg] |  |  |
| Coral Ivor                                      | 3506.264 | 15,22457 | 1799,267             | 6016011              |  |  |
| Orion                                           | 183,0845 | 0,794972 | 93,95126             | 398306,4             |  |  |
| Cembalo                                         | 239,822  | 1,041332 | 123,0665             | 411484               |  |  |
| Coral Obse                                      | 530,976  | 2,350556 | 272,478              | 311044               |  |  |
| Iceland Cement                                  | 247,4904 | 1,07463  | 127,0017             | 424641,5             |  |  |
| Ostankv                                         | 131,4593 | 0,57081  | 67,45939             | 225565,5             |  |  |
| Trans Frej                                      | 149,325  | 0,648385 | 76,62731             | 256210,3             |  |  |
| Trans Odin                                      | 149,0785 | 0,643716 | 76,50082             | 255787,4             |  |  |
| Belttervise                                     | 122,2207 | 0,530695 | 62,7185              | 209704,9             |  |  |
| Trans Alre                                      | 66,18612 | 0,287387 | 33,96393             | 113561,4             |  |  |

| Utläppsladd användning av landstom |          |          |                      |                      |  |  |
|------------------------------------|----------|----------|----------------------|----------------------|--|--|
| Utläpp per år                      |          |          |                      |                      |  |  |
| Fartyg                             | NOX [kg] | PM [kg]  | SO <sub>2</sub> [kg] | CO <sub>2</sub> [kg] |  |  |
| Coral Ivor                         | 17447,44 | 402,6332 | 1207,9               | 926056,4             |  |  |
| Orion                              | 455,5212 | 10,51203 | 31,33609             | 30656,04             |  |  |
| Cembalo                            | 484,8076 | 11,18787 | 33,5636              | 25732,1              |  |  |
| Coral Obelia                       | 1236,522 | 28,58127 | 85,74362             | 67576,93             |  |  |
| Iceland Cement                     | 346,3682 | 7,993112 | 23,9794              | 18384,16             |  |  |
| Ostankv                            | 163,5319 | 3,773952 | 11,32186             | 8680,09              |  |  |
| Trans Frej                         | 487,6283 | 11,25296 | 33,75889             | 25881,81             |  |  |
| Trans Odin                         | 486,8234 | 11,23439 | 33,70316             | 25839,09             |  |  |
| Belttervise                        | 190,056  | 4,385909 | 13,15773             | 10087,59             |  |  |
| Trans Alrek                        | 329,3472 | 7,60032  | 22,80096             | 17480,74             |  |  |
| Summa [kg]                         | 27441,02 | 633,2544 | 1899,763             | 1465279              |  |  |
| Summa [ton]                        | 27,44102 | 0,633254 | 1,899763             | 1465,279             |  |  |

| Utläpp |
|--------|
|--------|

### Figur 1. Beräkning av utsläpp.

|                                                                         |  |                                |  |                     |  |                                                                                                                    |  |                                                                           |  |                                                   |  |                             |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
|-------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------|--|---------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------|--|-----------------------------|--|--------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|
| Kostnader för marint bränsle i hamn                                     |  |                                |  |                     |  |                                                                                                                    |  |                                                                           |  |                                                   |  |                             |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| specifikt bränsleförbrukning                                            |  |                                |  |                     |  |                                                                                                                    |  |                                                                           |  |                                                   |  |                             |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| BERÄKNING AV BRÄNSLEFÖRBRUKNING                                         |  |                                |  |                     |  |                                                                                                                    |  |                                                                           |  |                                                   |  |                             |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| P [kW]                                                                  |  | Fartyg                         |  | Isakstator Dalsören |  | Isakstator Brownen                                                                                                 |  | energi [kWh] (Dalsören)                                                   |  | bränsle Dalsören [ton/dygn energi [kWh]] Browning |  | bränsle Browning [ton/dygn] |  | Medelhörsde bränsleförbrukning |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| Coral Ivory                                                             |  | 786                            |  | 0,4                 |  | 0,76                                                                                                               |  | 7545,6                                                                    |  | 1,6373952                                         |  | 14336,64                    |  | 8,11105988                     |  | 2,37422                                                                                                             |  |  |  |  |  |
| Orion                                                                   |  | 520                            |  | 0,2                 |  | 0,22                                                                                                               |  | 2406                                                                      |  | 0,561632                                          |  | 2745,6                      |  | 0,5997952                      |  | 0,56871                                                                                                             |  |  |  |  |  |
| Cembalo                                                                 |  | 520                            |  | 0,2                 |  | 0,22                                                                                                               |  | 2406                                                                      |  | 0,561632                                          |  | 2745,6                      |  | 0,5997952                      |  | 0,56871                                                                                                             |  |  |  |  |  |
| Coral Obella                                                            |  | 520                            |  | 0,4                 |  | 0,76                                                                                                               |  | 4992                                                                      |  | 1,083264                                          |  | 9484,8                      |  | 2,0582016                      |  | 1,57073                                                                                                             |  |  |  |  |  |
| Iceland Cement                                                          |  | 520                            |  | 0,2                 |  | 0,22                                                                                                               |  | 2406                                                                      |  | 0,561632                                          |  | 2745,6                      |  | 0,5997952                      |  | 0,56871                                                                                                             |  |  |  |  |  |
| Ostravik                                                                |  | 520                            |  | 0,2                 |  | 0,22                                                                                                               |  | 2406                                                                      |  | 0,561632                                          |  | 2745,6                      |  | 0,5997952                      |  | 0,56871                                                                                                             |  |  |  |  |  |
| BERÄKNAD KOSTNAD FÖR ATT GENERERA EL MED HJÄLPMEDEL FÖR FAKTISKA VÄRDEN |  |                                |  |                     |  |                                                                                                                    |  |                                                                           |  |                                                   |  |                             |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| fartyg                                                                  |  | bränsle ton/dygn               |  | liggertid [h]       |  | bränslekostnad kr/kwh                                                                                              |  | kostnad kr/fartyg                                                         |  | antal anslöp                                      |  | kostnad per år              |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| Frej                                                                    |  | 0,8                            |  | 16,357              |  | 5778,5                                                                                                             |  | 3150,630817                                                               |  | 21                                                |  | 66163,24715                 |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| Odn                                                                     |  | 0,8                            |  | 16,33               |  | 5778,5                                                                                                             |  | 3145,430167                                                               |  | 21                                                |  | 66054,0333                  |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| Behrveride                                                              |  | 0,574                          |  | 12,3888             |  | 5778,5                                                                                                             |  | 3352,3550274                                                              |  | 10                                                |  | 35923,65016                 |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| Trans Altek                                                             |  | 0,8                            |  | 7,25                |  | 5778,5                                                                                                             |  | 1396,470833                                                               |  | 32                                                |  | 44687,0667                  |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| BERÄKNAD KOSTNAD FÖR ATT GENERERA EL MED HJÄLPMEDEL FÖR ISKALONVÅRDEN   |  |                                |  |                     |  |                                                                                                                    |  |                                                                           |  |                                                   |  |                             |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| FARTYG                                                                  |  | BRÄNSLEFÖRBRUKNING TON/TIMMARE |  | LIGGETID            |  | BRÄNSLEKOSTNAD                                                                                                     |  | KOSTNAD PER ANSLÖP                                                        |  | ANTAL ANSLÖP                                      |  | KOSTNAD PER ÅR              |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| Coral Ivory                                                             |  | 2,37422304                     |  | 0,08892596          |  | 92                                                                                                                 |  | 5778,5                                                                    |  | 52593,21671                                       |  | 32                          |  | 1682918,935                    |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| Coral                                                                   |  | 0,5687136                      |  | 0,0236964           |  | 20,05                                                                                                              |  | 5778,5                                                                    |  | 2746,234079                                       |  | 16                          |  | 43937,86239                    |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| Cembalo                                                                 |  | 0,5687136                      |  | 0,0236964           |  | 26,27                                                                                                              |  | 5778,5                                                                    |  | 3597,141837                                       |  | 3                           |  | 46762,84388                    |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| Coral Obella                                                            |  | 1,5707328                      |  | 0,0654472           |  | 21,059                                                                                                             |  | 5778,5                                                                    |  | 7986,232561                                       |  | 15                          |  | 119463,4884                    |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| Iceland Cement                                                          |  | 0,5687136                      |  | 0,0236964           |  | 27,11                                                                                                              |  | 5778,5                                                                    |  | 3712,162741                                       |  | 9                           |  | 33469,4667                     |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| Ostravik                                                                |  | 0,5687136                      |  | 0,0236964           |  | 14,4                                                                                                               |  | 5778,5                                                                    |  | 3271,786933                                       |  | 8                           |  | 35774,25338                    |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| Underhållskostnader för motorer                                         |  |                                |  |                     |  |                                                                                                                    |  |                                                                           |  |                                                   |  |                             |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| kostnad underhåll hjälpmotor                                            |  | 13,92                          |  | kr/tm per motor     |  | enligt <a href="http://www.opc.wpc.nl/costs/operational-costs/">http://www.opc.wpc.nl/costs/operational-costs/</a> |  |                                                                           |  |                                                   |  |                             |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| Namn                                                                    |  | Timmars vid kaj/år             |  | Antal hjälpmotorer  |  | Kostnad/år                                                                                                         |  |                                                                           |  |                                                   |  |                             |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| Coral Ivory                                                             |  | 2944                           |  | 3                   |  | 122841,44                                                                                                          |  |                                                                           |  |                                                   |  |                             |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| Orion                                                                   |  | 320,88                         |  | 2                   |  | 8893,2962                                                                                                          |  |                                                                           |  |                                                   |  |                             |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| Cembalo                                                                 |  | 341,51                         |  | 3                   |  | 34261,4576                                                                                                         |  |                                                                           |  |                                                   |  |                             |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| Coral Obella                                                            |  | 315,885                        |  | 2                   |  | 8794,2384                                                                                                          |  |                                                                           |  |                                                   |  |                             |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| Iceland Cement                                                          |  | 263,999                        |  | 3                   |  | 10386,39824                                                                                                        |  |                                                                           |  |                                                   |  |                             |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| Ostravik                                                                |  | 115,2                          |  | 3                   |  | 4810,752                                                                                                           |  |                                                                           |  |                                                   |  |                             |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| Trans(f)                                                                |  | 343,497                        |  | 3                   |  | 14344,43472                                                                                                        |  |                                                                           |  |                                                   |  |                             |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| Trans(Odn)                                                              |  | 342,993                        |  | 3                   |  | 14323,38768                                                                                                        |  | Summa kostnader för hjälpmotorer (bränslekostnader + underhållskostnader) |  |                                                   |  |                             |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| Behrveride                                                              |  | 133,88                         |  | 3                   |  | 5590,8288                                                                                                          |  | Diapharm Västerås 417434,4655                                             |  |                                                   |  |                             |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| Trans Altek                                                             |  | 232                            |  | 3                   |  | 9688,32                                                                                                            |  | Diapharm Köping 193418,101                                                |  |                                                   |  |                             |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| Kostnader för utsläpp då hjälpmotorerna används                         |  |                                |  |                     |  |                                                                                                                    |  |                                                                           |  |                                                   |  |                             |  |                                |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| VÄSTERÅS                                                                |  | kr/kg                          |  | kg                  |  | kr                                                                                                                 |  | KÖPING                                                                    |  | kr/kg                                             |  | kg                          |  | kr                             |  | Summa kostnader nollalternativt, ingen landström används (bränslekostnader + underhållskostnader + möjligkostnader) |  |  |  |  |  |
| flösvärning                                                             |  |                                |  |                     |  |                                                                                                                    |  |                                                                           |  |                                                   |  |                             |  |                                |  | [Diapharm Västerås 1718760]<br>[Diapharm Köping 7337188]                                                            |  |  |  |  |  |
| pH                                                                      |  | 8861,87016                     |  | 67,9402106          |  | 602079,9835                                                                                                        |  |                                                                           |  | 3681,289                                          |  | 431,21447                   |  | 1587425,805                    |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| sm                                                                      |  | 2920,2398                      |  | 203,8215428         |  | 59155,93758                                                                                                        |  |                                                                           |  | 141,6107                                          |  | 1293,64382                  |  | 18319,068                      |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| noe                                                                     |  | 137,26595                      |  | 2944,0888           |  | 404121,2813                                                                                                        |  |                                                                           |  | 125,5737                                          |  | 18465,362                   |  | 2234320,138                    |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| co2                                                                     |  | 1,45                           |  | 162741,6155         |  | 235979,3424                                                                                                        |  |                                                                           |  | -1,45                                             |  | 991793,33                   |  | 148180,329                     |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |
| summa                                                                   |  |                                |  |                     |  | 1001334,547                                                                                                        |  |                                                                           |  |                                                   |  |                             |  | 5448050,148                    |  |                                                                                                                     |  |  |  |  |  |

Figur 2. Beräkning av kostnader för marint bränsle.

[illegible]

Figur 3. Beräkning av kostnader för elförbrukning.

