

# Energieeffektiv svensk sjöfart

Linda Styhre (IVL), Hulda Winnes (IVL), Maria Bännstrand (SSPA), Roger Karlsson (SSPA), Margareta Lützhöft (Chalmers, institutionen för sjöfart och marin teknik), Martin Falk (Chalmers, institutionen för sjöfart och marin teknik) och Daniel Åström (Chalmers, institutionen för sjöfart och marin teknik)

B2155

Februari 2014



Rapporten godkänd:  
2014-02-25

A handwritten signature in blue ink that reads 'Karin Sjöberg'.

Karin Sjöberg  
Enhetschef

**CHALMERS**

**IVL** Svenska  
Miljöinstitutet

|  |  |
|--|--|
| <b>Organisation</b><br>IVL Svenska Miljöinstitutet AB  | <b>Rapportsammanfattning</b>   |
| <b>Adress</b><br>Box 53021<br>400 14 Göteborg  | <b>Projektitel</b><br>Energieffektiv svensk sjöfart<br><br><b>Anslagsgivare för projektet</b><br>Energimyndigheten |
| <b>Telefonnr</b><br>031-725 62 00  |  |
| <b>Rapportförfattare</b><br><br>Linda Styhre (IVL), Hulda Winnes (projektledare) (IVL), Maria Bännstrand (SSPA), Roger Karlsson (SSPA), Margareta Lützhöft (Chalmers, institutionen för sjöfart och marin teknik), Martin Falk (Chalmers, masterstudent) och Daniel Åström   |  |
| <b>Rapporttitel och undertitel</b><br><br>Energieffektiv svensk sjöfart.   |  |
| <b>Sammanfattning</b><br><br>Sjöfarten står inför en enorm utmaning med krav på 40-50 % minskning av koldioxidutsläpp till 2050 jämfört med 2005 års utsläpp, samtidigt som det finns en politisk vilja att öka andelen sjötransporter. Kraftigt ökad energieffektivisering kommer att vara avgörande för att möta utsläppskraven. Dock visar projektioner att det globalt kommer att vara svårt att minska sjöfartens utsläpp via åtgärder som är kända idag. Den här studien pekar på vikten av en snabbare implementering av kända åtgärder och fortsatt utveckling av nya energireducerande tekniker, verktyg och metoder. Ökad energieffektivitet inom sjöfarten kan ske genom operativa, logistiska, tekniska, avtals- och marknadsrelaterade och kommunikativa åtgärder. Åtgärder är kopplade till varandra och bör med fördel betraktas ur ett systemperspektiv. |  |
| <b>Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren</b><br>Energi, effektiv, sjöfart, fartyg, åtgärder, koldioxid   |  |
| <b>Bibliografiska uppgifter</b><br><br>IVL Rapport B2155   |  |
| <b>Rapporten beställs via</b><br><br>Hemsida: <a href="http://www.ivl.se">www.ivl.se</a> , e-post: <a href="mailto:publicationservice@ivl.se">publicationservice@ivl.se</a> , fax 08-598 563 90, eller via IVL, Box 21060, 100 31 Stockholm  |  |

## Sammanfattning

Sjöfarten står inför en enorm utmaning med krav på 40-50 % minskning av koldioxidutsläpp till 2050 jämfört med 2005 års utsläpp, samtidigt som det finns en politisk vilja att öka andelen sjötransporter. Sjöfartens växande betydelse har belysts i olika sammanhang. Kraftigt ökad energieffektivisering kommer att vara avgörande för att möta utsläppskraven. Dock visar projektioner att det globalt kommer att vara svårt att minska sjöfartens utsläpp via åtgärder som är kända idag. Således krävs en kombination av snabbare implementering av kända åtgärder och utveckling av nya energireducerande tekniker, verktyg och metoder.

Ökad energieffektivitet inom sjöfarten kan ske genom operativa, logistiska, tekniska, avtals- och marknadsrelaterade och kommunikativa åtgärder. Åtgärderna är kopplade till varandra och bör med fördel betraktas ur ett systemperspektiv. Åtgärder inom logistikområdet styrs, och till viss del begränsas, av förhållanden inom området avtal och marknad. Åtgärder inom kommunikation och beteende påverkar framgången för åtgärder inom logistik. Tekniska åtgärder har en direkt avspegling i fartygets bränsleförbrukning.

Energieffektivitet i sjöfart definieras som omsatt energi per transporterat gods och distans, t.ex. med enheter som kg bränsle per ton gods och nautiska mil. Ett flertal åtgärder, som minskar bränsleförbrukningen per tonkilometer, är kända men har en begränsad tillämpning trots att de kan visas ha ekonomiska fördelar för rederier. Att åtgärderna inte implementeras får därför antas ha andra orsaker än rent ekonomiska, som till exempel kunskapsbrist, tidsbrist vid beslutsfattande, avsaknad av planeringsunderlag och bristen på incitament. Politiska styrmedel berörs inte i denna studie.

Den samlade potentialen av kända åtgärder för sjöfarten bedöms kunna resultera i 25-75 % reduktion av CO<sub>2</sub>-emissioner från 2007 års nivå. Att implementering av åtgärder uteblir får antas ha andra orsaker än rent ekonomiska, då flera av dem innebär ekonomiska besparingar för rederierna.

Logistiska åtgärder bedöms ha störst potential till bränslebesparingar för sjöfarten. Sänkt fart, ruttplanering, kapacitetsutnyttjande och minskad liggtid i hamn är alla viktiga, varav sänkt fart bedöms kunna bidra allra mest till en sänkt bränsleanvändning generellt inom sjöfarten. Flera rederier arbetar redan med reducerad fart, men potentialen har ändå uppskattats till upp till 30 %. Potentialen av kortare liggtid i hamn uppskattas till upp till 20 % och av ruttplanering efter väder upp till 4 %.

Tekniska åtgärder har energibesparingspotentialer som varierar kraftigt från fall till fall. Att jobba med energieffektivitet i fartygs designfas är det mest effektiva sättet att tekniskt hålla en låg bränsleförbrukning i fartygets driftsfas. För enskilda fartygsindivider kan besparingspotentialerna vara flera tiotals procent.

Studierna av kommunikation och beteende har inte resulterat i kvantitativa värden på besparingspotentialer. Att minimera upplevda ekonomiska risker i samband med investeringar i modern teknik, och att bygga upp incitamentstrukturer för olika delar av

rederiernas verksamheter, torde vara avgörande för att kunna genomföra en majoritet av de bränslebesparande åtgärderna.

Möjligheter till effektivisering på enskilda fartyg skiljer sig betydligt åt både mellan fartyg inom samma fartygssegment och mellan tramp- och linjesjöfart. Störst besparingspotential finns i samband med sänkt fart, något som många operatörer redan tillämpar. För att kunna sänka farten under överfarter är en förutsättning att det finns tillförlitlig information om tillgänglig kajplats tidigt under resan. För fartyg i linjesjöfart är detta givet, medan fartyg i trampsjöfart oftast saknar sådan information och har fördelar av att snabbt nå resans destination och där invänta tilldelning av kajplats. ”Slow steaming” är därmed oftast inte aktuellt.

Vissa typer av avtal som ingås mellan redare och befraktare har visats motverka energieffektiv körning. Avtalen är aktuella för vissa typer av transporter inom trampsjöfarten och kan ha stor påverkan på fartygens bränsleanvändning.

Det finns ett stort behov av kartläggning och systemanalyser av fartygens och sjöfartens energianvändning. Kartläggning av energisystemen ombord och bränslemätning har påbörjats och bör kompletteras med studier som omfattar körsätt, kommunikation och incitament i samband med kontinuerlig mätning av bränsleförbrukningen.

För en effektiv kunskapsöverföring mellan industrin, forskning och utveckling krävs en kartläggning efter svenska förhållanden av varför kända kostnadseffektiva åtgärder inte implementeras. Risktagande för den enskilde redaren behöver minskas. Att satsa på pilot- och demonstrationsprojekt bedöms vara av stor betydelse för tillämpningen av kända åtgärder. I övrigt bedöms forskning i nära samarbete med sjöfartsindustrin underlätta kunskapsöverföring i båda riktningarna.

För Sverige som exportnation är sjöfarten idag oersättlig. Ett nära samarbete mellan forskning, utveckling och industri förbättrar förutsättningarna för att implementera nyttiga åtgärder inom branschen. Baserat på den politiska viljan att kraftigt minska utsläppen till 2050 förväntas ytterligare styrmedel inom området. Samarbetet ger en beredskap som gynnar sjöfarten. Miljövinster kan antas bli betydande, då sjöfartens internationella karaktär innebär att åtgärderna inte begränsas geografiskt. 2007 bedömdes sjöfarten stå för ca 3 % av de globala CO<sub>2</sub>-utsläppen, men andelen förutspås öka betydligt.

Lokala förbättringar i luftkvalitet kan förväntas i hamnstäder vid minskade liggtider och nya reningstekniker. Göteborgs luftkvalitet, som exempel, är till stor del påverkad av sjöfart som är den största bidragande källan till kväveoxider och svaveldioxid.

En ”State-of-the Art”-studie syftar till att beskriva nuläget och de modernaste tekniker, verktyg och metoder. De metoder som använts i denna studie omfattar litteraturstudier, intervjuer, fokusgrupper, observationsstudier samt en fallstudie. Resultaten från de studier som utförts primärt för datainsamling i denna studie presenteras tillsammans med tidigare publicerat material.

Datainsamling för Logistikområdet, Teknikområdet och Avtal- och marknadsområdet bygger delvis på intervjuer. Fyra olika rederier som opererar bulkfartyg och tankers i norra Europa intervjuades för att kartlägga logistiska och operativa faktorer som påverkar fartygens energiförbrukning.

Fokusgrupp användes som datainsamling inom området Kommunikation och beteende. Fokusgrupper är en variant av gruppintervjuer där fokus ligger kring en grupp människor som samlas och diskuterar runt ett på förhand bestämt ämne. Observationsstudier har genomförts på samordningscentralen ”Gothenburg approach” i Göteborgs hamn för att få en överblick av hur kommunikation vid ett anlop i Göteborgs hamn fungerar i dagsläget.

Arbetet inom området Logistik baseras även på en fallstudie av ett bulkrederi som främst opererar inom trampsjöfarten i Östersjön och Nordsjön. Fallstudien har delvis finansierats av detta projekt och delvis av projektet Effship i samarbete med Hannes Jonsson, doktorand på Sjöfart och marin teknik på Chalmers.

## Innehållsförteckning

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Inledning.....  | 5  |
| 1.1   | Sjöfartens energianvändning.....                        | 7  |
| 1.2   | Svensk sjöfart.....                                     | 8  |
| 1.3   | Begrepp och definitioner.....                           | 10 |
| 1.4   | Metodik.....  | 14 |
| 1.4.1 | Litteraturstudier.....                                  | 14 |
| 1.4.2 | Intervjuer.....   | 14 |
| 1.4.3 | Fokusgrupp.....   | 15 |
| 1.4.4 | Observation.....  | 15 |
| 1.4.5 | Fallstudie.....   | 15 |
| 2     | Åtgärder inom teknikområdet.....                        | 17 |
| 2.1   | State of the art.....                                   | 17 |
| 2.1.1 | Åtgärder.....   | 17 |
| 2.1.2 | Potential till energibesparing.....                     | 28 |
| 2.2   | Diskussion – behov av framtida forskning.....           | 35 |
| 3     | Åtgärder inom logistikområdet.....                      | 37 |
| 3.1   | State of the Art.....                                   | 37 |
| 3.1.1 | Åtgärder.....   | 38 |
| 3.2   | Diskussion – behov av framtida forskning.....           | 42 |
| 4     | Åtgärder inom områdena kommunikation och beteende.....  | 44 |
| 4.1   | State of the Art.....                                   | 44 |
| 4.1.1 | Åtgärder.....   | 45 |
| 4.2   | Diskussion – behov av framtida forskning.....           | 49 |
| 5     | Åtgärder inom avtal- och marknadsområdet.....           | 51 |
| 5.1   | ”State-of-the-art”: Avtal och påverkande klausuler..... | 51 |
| 5.1.1 | Åtgärder.....   | 53 |
| 5.2   | Diskussion – behov av framtida forskning.....           | 55 |
| 6     | Övergripande analys och diskussion.....                 | 57 |
| 6.1   | Ansatser på högre systemnivåer.....                     | 59 |
| 6.1.1 | Linjesjöfart.....                                       | 60 |
| 6.1.2 | Trampsjöfart.....                                       | 60 |
| 6.1.3 | Aktörer.....  | 61 |
| 6.2   | Ökad tillämpning av kartlagda åtgärder.....             | 62 |
| 6.2.1 | Status i forskning och utveckling.....                  | 63 |
| 6.2.2 | Status på implementering av åtgärder.....               | 64 |
| 6.2.3 | Gapet mellan FoU och användare.....                     | 67 |
| 7     | Slutsatser.....   | 69 |
| 8     | Referenser.....   | 71 |

# 1 Inledning

Effektiva sjötransporter är av avgörande betydelse för svenskt näringsliv och för Sverige som exportnation. Omkring 90 % av den godsvolym som exporteras eller importeras till Sverige har transporterats med fartyg i någon del av transportkedjan. Sjöfarten står dock inför en enorm utmaning. Politiska mål på 40-50 % minskning av koldioxidutsläpp från sjöfarten till 2050 jämfört med 2005 års utsläpp, skall gå hand i hand med mål att öka andelen sjötransporter (European Commission, 2011). Sjöfartens växande betydelse har belysts i olika sammanhang, t.ex. i kapacitetsutredningen (Trafikverket, 2012a) och i EUs senaste vitbok om transporter (European Commission, 2011). Kraftigt ökad energieffektivisering kommer att vara avgörande för att detta skall lyckas. Samtidigt har projektioner visat att det globalt kommer att vara mycket svårt att minska sjöfartens utsläpp kostnadseffektivt via åtgärder som är kända idag.

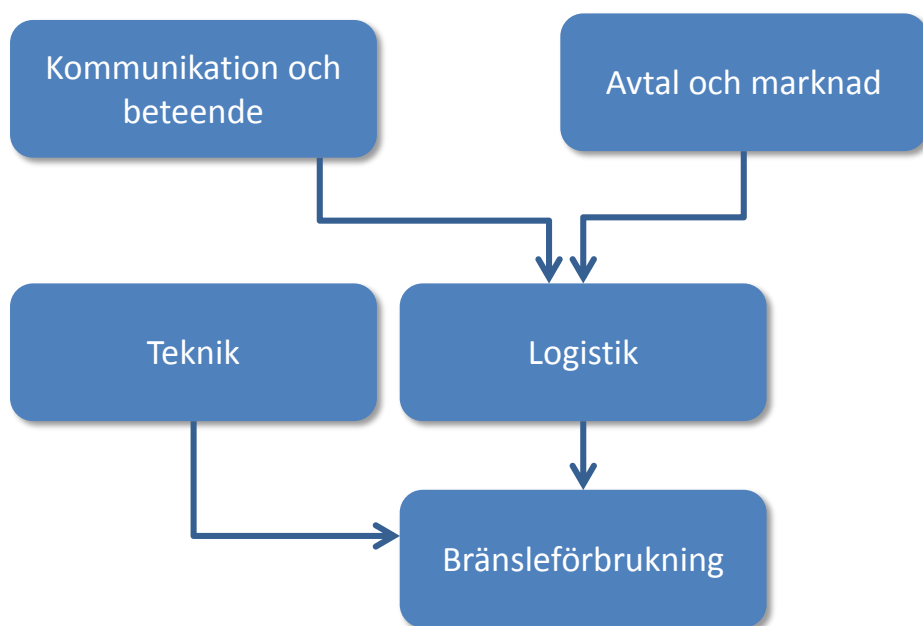
I en rapport till International Maritime Organization (IMO), uppskattade Buhaug et al. (2009) att sjöfartens CO<sub>2</sub>-utsläpp motsvarade 3-4 % av de globala utsläppsmängderna år 2007. Samtidigt prognosticeras att behovet av transportarbetet till sjöss kommer att öka både regionalt och globalt (Buhaug et al., 2009; Trafikverket, 2011; HELCOM, 2009). I studier av den internationella sjöfarten har nettoökningar av energianvändning och CO<sub>2</sub>-emissioner förutspåtts (Buhaug et al., 2009; Eyring et al., 2009). Faber et al., (2009) uppskattar en ökning av CO<sub>2</sub>-emissionerna från sjöfarten i Europa, relativt 2007 års nivå, med 39 % till år 2030 i ett scenario trots att kända kostnadseffektiva lösningar implementeras.

Ökad energieffektivitet kan ske genom operativa, logistiska, tekniska, avtals- och marknadsrelaterade och kommunikativa åtgärder. Energieffektivitet i sjöfart definieras som omsatt energi per transporterat gods och distans, t.ex. med enheter som kg bränsle per ton gods och nautiska mil. Ett flertal kostnadseffektiva åtgärder, ofta av teknisk karaktär, som minskar bränsleförbrukningen per tonkm är kända men har en begränsad tillämpning. Att åtgärderna inte implementeras får därför antas ha andra orsaker än rent ekonomiska. Att potentiella kostnadseffektiva energibesparingar inte utnyttjas är ett fenomen som kan ses i många sektorer och benämns ofta som ”energieffektiviseringsgap” (eng. ”energy efficiency gap”, se till exempel Jaffe och Stavins, 1994). Orsakerna kan möjligen tillskrivas kunskapsbrist, tidsbrist vid beslutsfattande, avsaknad av planeringsunderlag och bristen på incitament. Påverkan av politiska och ekonomiska styrmedel berörs inte i denna studie.

Denna rapport innehåller en ”state-of-the-art”-beskrivning av energieffektivisering inom sjöfarten med syfte att identifiera åtgärder och belysa varför de inte tillämpas i större utsträckning. Forskningsbehov för att driva på utvecklingen mot en energieffektivare svensk sjöfart i framtiden presenteras. Begreppet ”State-of-the-art” används således både för att beskriva status på kunskapen inom forskning och utveckling samt status på implementering av kända åtgärder. Rapporten beskriver gapet däremellan och sätter fokus på åtgärder som bedöms ha stor potential men som skulle behöva studeras ytterligare innan en implementering kan anses genomförbar på bredare front.

För att underlätta förståelsen i ämnet för läsare som inte är väl bekanta med sjöfarten, ägnas fortsättningen på detta inledande kapitel åt att beskriva sjöfartens energianvändning idag specifikt för den svenska sjöfarten, samt att ge förklaringar och definitioner till branschspecifika termer. I kapitel 1 ges även en samlad överblick över de metoder som använts för datainsamling. Kapitel 2 till kapitel 5 ger "state-of-the-art"-beskrivningar och presenterar åtgärder inom områdena tekniska åtgärder (kapitel 2), logistiska åtgärder (kapitel 3), åtgärder inom beteende och kommunikation (kapitel 4), samt åtgärder för marknad och avtal (kapitel 5). Åtgärderna behandlas på en högre systemnivå i kapitel 6. Kapitel 6 ger också en överblick över gapet mellan forskning och tillämpning genom att beskriva forskningsläget och belysa orsaker till att vissa åtgärder inte implementeras. Slutsatser från arbetet presenteras i kapitel 7.

De områden för vilka åtgärder beskrivs är nära sammankopplade. Figur 1 ger en översiktlig bild av hur vi i denna rapport betraktar dessa kopplingar. Åtgärder inom avtal och marknad, kommunikation och beteende samt logistik behandlas i denna rapport som operativa åtgärder. Logistik styrs, och till viss del begränsas, av förhållanden inom området avtal och marknad. Åtgärder inom kommunikation och beteende påverkar framgången av åtgärder inom logistik. De tekniska åtgärderna som beskrivs i rapporten är delvis operativt inriktade men beskrivs till stor del ur ett designperspektiv.



**Figur 1. Beskrivning över hur de olika områdena i denna rapport påverkar bränsleförbrukningen.**

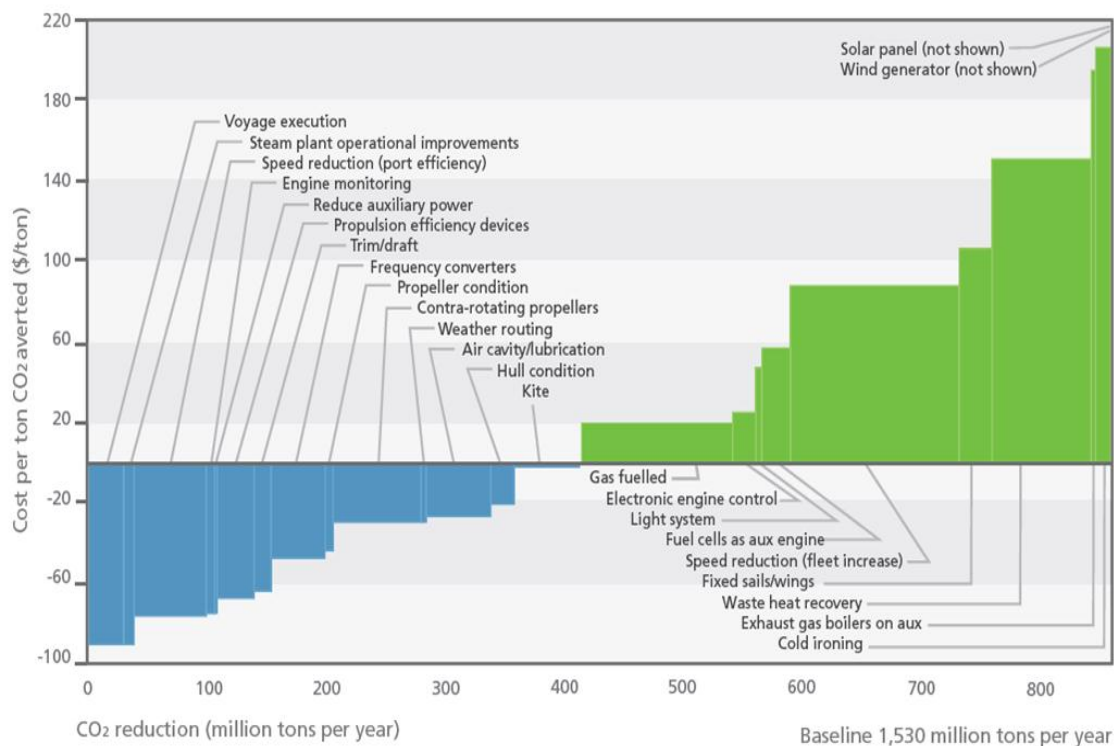


## 1.1 Sjöfartens energianvändning

Totalt uppskattades den internationella sjöfarten att förbruka 150 till 450 MT olja år 2005 (Eyring et al., 2009). Huvudparten av bränslet utgörs av så kallad residualolja eller tjockolja som är en restprodukt från raffinaderier. Resterande bränsle är destillat eller blandningar av tjockolja och destillerade fraktioner. Eyring et al. (2009), uppskattade att 90 % av bränslet var tjockolja och resterande 10 % utgjordes av destillatbränslen.

Regleringar inom sjöfarten sker huvudsakligen i internationella forum och inom miljöområdet är det International Maritime Organization (IMO) som hanterar de internationella konventioner som ligger till grund för lagstiftning. Initiativen inom IMO har bland annat lett till ett obligatoriskt energieffektivitetsindex (EEDI) för nybyggda fartyg från 2013. EEDI beräknas som massan av CO<sub>2</sub>-utsläpp relaterat till ett fartygs storlek och jämförs med en referenslinje som anger basvärden för emissionerna beroende på fartygets storlek. Referenslinjerna skiljer sig mellan olika fartygstyper. I tillägg till EEDI kommer det 2013 även att bli obligatoriskt med en fartygsspecifik plan för energiledning, en så kallad ”ship energy efficiency management plan” (SEEMP). SEEMP är tänkt att fungera som ett operativt hjälpmedel för att förbättra energieffektiviteten på ett kostnadseffektivt sätt. Sjöfarten ryms inte i Kyotoprotokollet. I prognoser som gjorts förutses sjöfarten öka i en takt som gör att effekterna av ett EEDI inte kommer att ge några absoluta minskningar i energianvändning och CO<sub>2</sub>-emissioner (Bazari och Longva, 2011).

Det bedöms finnas ett flertal åtgärder för sjöfarten som är kostnadseffektiva (Eide et al., 2011). Figur 2 visar hur 400 miljoner ton CO<sub>2</sub> uppskattas kunna undvikas per år med kostnadseffektiva åtgärder av vitt skilda typer, i en marginalkostnadsanalys. Denna typ av analyser används som stöd för beslutsfattare och visar kostnader och nyttan för olika åtgärder i förhållande till varandra. Det finns svagheter i att presentera åtgärds-kostnader och förutspådda utsläppsminskningar på detta sätt. Till exempel är det ofta inte möjligt att se vilka data åtgärdernas effektivitet och kostnad bygger på. Vidare gäller de för en specifik tidpunkt och baseras på ett specifikt kostnadsscenario för energin (Kesicki och Strachan, 2011; Kesicki och Ekins, 2012). Figur 2 och liknande illustrationer skall därför ses som grova uppskattningar av åtgärds-kostnader och fungera som diskussionsunderlag. Bränslepriserna som ligger till grund för beräkningarna var i Figur 2, 350 USD/ton tjockolja och 500 USD/ton destillat. Det är svårt att förutspå bunkerpriser i framtiden och studier visare på olika prisnivåer vilket har en avgörande inverkan på beräkningarna (Faber, et al., 2011). Med högre bränslepriser kan förstas ytterligare CO<sub>2</sub>-emissioner undvikas kostnadseffektivt (Det Norske Veritas, 2009).



**Figur 2. Genomsnittlig marginalkostnad för olika åtgärder för att minska CO<sub>2</sub>-utsläpp 2030 (Eide et al. 2011, s. 25).**

## 1.2 Svensk sjöfart

Många aktörer är verksamma inom sjöfarten. Sjöfartsklustret, det vill säga företag som jobbar direkt eller indirekt med sjöfarten, består av drygt 200 000 personer (Svenska redareföreningen, 2011): Svensk sjöfarts klusterkärna består av drygt 25 000 personer sysselsatta i rederier, hamnar, skeppsmäklerier, linjeagenter och varv. Runt denna kärna finns ytterligare cirka 80 000 personer som arbetar med sjöfartsrelaterade frågor. Utöver detta finns cirka 100 000 personer som direkt eller indirekt är beroende av sjöfarten. Många av dessa återfinns inom turism men också inom transport, spedition och underleverantörer.

Sjöfarten är till sin natur internationell och många länders rederier har trafik till och från Sverige. De svenska rederierna hade 2011 396 frakt- och passagerarfartyg registrerade under svensk flagg. Dessa går företrädesvis i trafik på svenska hamnar. Men de svenska rederiernas flottor är större än så. Totalt 906 fartyg seglar i svensk regi (Trafikanalys, 2011).

I huvudsak finns tre sjöfartssegment på den svenska sjöfartsmarknaden; linjesjöfart, trampsjöfart (även kallad spot-sjöfart), och industrisjöfart (UNCTAD, 2004; Christiansen

et al., 2004). Linjetrafiken består av fartyg, främst RoRo<sup>1</sup>-fartyg, färjor och containerfartyg, som går på bestämda rutter enligt fast tidtabell och vanligen med samlastningsfunktion. Fartyg inom trampsjöfart har däremot inga fasta rutter och opereras efter kontrakt för enskilda resor. Dessa fartyg kan även bindas upp på längre kontrakt men går generellt utan tidtabell och kan anlöpa varierande hamnar. I det sista av sjöfartssegmenten finns industrisjöfarten där godsägaren eller transportören kontrollerar fartygen (Christiansen et al., 2004). Linjetrafik och tramptrafik är de dominerande typerna av sjöfart. Industrisjöfart har element från både linjesjöfart och trampsjöfart och behandlas inte separat i denna rapport.

Det fartygsbränsle som säljs i Sverige delas i den nationella statistiken upp i bunker för inrikes- respektive utrikes sjöfart. Försäljningen av bränsle till inrikes sjöfart uppgick 2011 till 136 000 m<sup>3</sup> fördelat på 82 000 m<sup>3</sup> tjockolja, 35 000 m<sup>3</sup> lättare eldningsolja och 19 000 m<sup>3</sup> så kallad dieselolja. Sjöfart i utrikestrafik köpte 2011 1 943 000 m<sup>3</sup> bunkerolja fördelat på 1 701 000 m<sup>3</sup> tjockolja och 242 000 m<sup>3</sup> lättare fraktioner (Statens energimyndighet, 2012). Totalt motsvarar detta cirka 20 % av transportsektorns energianvändning.

Fördelningen av bränsleanvändning mellan linjesjöfart och trampsjöfart är intressant ur aspekten att potentialen för bränslebesparing skiljer sig dem emellan. Tekniska åtgärder är aktuella för både fartyg i linjetrafik och i tramptrafik. Linjesjöfarten kan bedömas ha en större möjlighet till kontroll över logistikkedjan och fartyg kan designas och konstrueras efter färdiga logistikupplägg, vilket innebär att potentialerna till bränslebesparingar genom smidiga transportkedjor anammats redan i tidiga skeden. Trampsjöfarten har andra förhållanden. Marknaden följer ett antal avtalsregler som till viss del motverkar bränslebesparingar (Faber et al., 2011). Likaså finns det hinder för en effektiv logistik kopplat till kommunikationsaspekter. Då ett stort antal parter är inblandade i varje hamnanlöp finns stora potentialer till besparingar inom just trampsjöfart; tillförlitlig information inför ett hamnanlöp är sällan tillgängliga så tidigt under en resa att fartyget kan planera sin resa efter dedikerade hamnplatser och fasta tidfönster i hamn. Bränslebesparingspotentialen för svensk sjöfart bör därför diskuteras utifrån dessa förutsättningar.

Det saknas statistik över hur bränsleanvändningen fördelas mellan sjöfart i linjetrafik och trampsjöfart. Däremot har fördelningar uppskattats för passagerar- respektive godssjöfart. Både i inrikes- och utrikestrafik dominerar försäljningen till passagerartrafik, som är typisk linjesjöfart. Utrikes färjetrafik använde 2010 uppskattningsvis ca 75 % av det bränsle som såldes i Sverige. Fartyg i svenska vatten bunkrar även bränsle i utländska hamnar. Försäljningen av bunkerbränsle varierar också i tiden beroende på faktorer som pris och tillgänglighet. I den svenska sjöfarten utgjorde flytande bulk och torrbulk 53 % av den totala godsmängden (94 miljoner ton) år 2011 (Trafikanalys, 2012). Dessa godsslag transporteras till en dominerande del på fartyg inom trampsjöfart. RoRo-gods och containergod, vilka kan antas till största delen gå i linjesjöfart utgjorde 2011 34 % av den totala mängden och en resterande del på ca 13 % är diverse godstyper och fördelades

---

<sup>1</sup> RoRo fartyg (Roll-on Roll-off fartyg) är fartyg som tar rullande last (till exempel trailers)

sannolikt på både tramp- linje och industrisjöfart. Fartygsanlöpen domineras däremot av linjesjöfart; RoRo- och passagerarfärjor stod för 71 % av alla anlöp i svenska hamnar 2011.

Med hänsyn tagen till den tillgängliga statistiken är det inte möjligt att göra en uppskattning av hur mycket bränsle som används av tramp- respektive linjetrafik. Däremot kan potentialen per fartygsindivid uppskattas vara högre inom trampmarknaden.

Stora besparingar kan förväntas genom förbättrad kommunikation mellan aktörerna på marknaden och genom tillämpade åtgärder som spänner över flera områden. Dessa åtgärder kan sällan sorteras under tydliga rubriker som tekniska åtgärder, logistiska åtgärder eller operativa åtgärder utan bör ses som systemövergripande. Den här rapporten beskriver åtgärder för ett effektivare energianvändande ur flera övergripande perspektiv; sjöfartens olika aktörers roller och betydelse för besparingar beskrivs; kunskapsläget beskrivs ur användarperspektiv och ur forskningsperspektiv, marknadens påverkan på incitament för bränslebesparingsinsatser beskrivs liksom ekonomiska och planeringsmässiga förutsättningar inom rederierna.

## 1.3 Begrepp och definitioner

Ett antal begrepp som används i rapporten förklaras för ökad förståelse i läsningen

### **Befraktare**

En part som avtalar med fartygsägaren eller operatören om att, under en viss period, frakta last eller passagerare på fartyget.

### **Bränslebesparing**

Svensk handelssjöfart är idag helt beroende av flytande bränsle för energiförsörjning. Åtgärder som innebär att mindre energimängd krävs anses ge en bränslebesparing.

### **Bränslebesparingspotential**

Potentialen till bränslebesparing beräknas som skillnaden mellan den bränslemängd som förbrukas innan en åtgärd implementerats och den bränslemängd som förbrukas efter en åtgärd dividerat med den ursprungliga bränslemängden. Begreppet kan kopplas till **Potential till Energieffektivisering** som avser potentialen att öka nyttan av prestanda/tjänster i förhållande till insatsen av energi. Ofta redovisas detta begrepp som differensen mellan den potentiella energieffektiviteten och den nuvarande energieffektiviteten i förhållande till den nuvarande energieffektiviteten.

### **Båtmän**

Benämning på de som arbetar med att köra ut lotsar till fartyg och förtöja fartyg i hamn

## **”Demurrage”**

Kostnad för extra liggetid i last- och/eller lossningshamn utöver vad som stipuleras i fraktkontrakt och som betalas av en befraktare till fartygsägaren/operatören

## **Destillat / Marine Distillate**

Benämning på destillerade kvaliteter av marint bränsle som är tillgängliga på marknaden. Oljorna har lägre innehåll av svavel och metaller än tjockoljorna (se nedan) men standardiserade specifikationer enligt ISO 8217 (DMA, DMB, DMX, DMZ) har relativt höga gränsvärden och tillåter i vissa fall blandningar av tjockolja och destillat. ”MDO” är en ofta använd förkortning som används för ”marine diesel oil” alternativt ”marine distillate oil”, och ”MGO” används för den renare kvaliteten ”marine gasoil”.

## **”Dispatch”**

Kompensation som kan utbetalas av rederi till befraktare, avlastare eller mottagare om befraktaren behöver mindre tid än vad som angetts i fraktkontrakt

## **”Due Dispatch”/”Reasonable dispatch” / ”Utmost dispatch”**

Klausul inom avtal mellan befraktare och redare om att utföra en resa så snabbt som möjligt, utan oförklarliga avvikelser eller stopp.

## **Dödvikt/DWT/TDW**

Ett fartygs dödvikt beskriver fartygets maximala lastkapacitet. I dödvikten ingår inte skrov och maskin men omfattar vikten på last, bränsle, förråd, besättning och passageraren ner till lägsta tillåtna fribord.

## **Energi**

Energi behövs för att ett fysiskt system skall kunna utföra ett arbete. Energi förekommer i flera olika former och är ett svårdefinierat begrepp. Energi kan varken skapas, förbrukas eller förstöras men kan omvandlas mellan olika former. Energi kan alltså i egentlig mening inte besparas.

## **Energibesparing**

Med energibesparing avses en minskning i ett systems energianvändning.

## **Energieffektivitet**

Förhållandet mellan nyttan av prestanda/tjänster och insatsen av energi.

## **Energy Efficiency Design Index (EEDI)**

EEDI är ett index beslutat av IMO som är obligatoriskt för alla nybyggnationer från 2013.

Enkelt uttryckt beräknas ett fartygs CO<sub>2</sub>-emissioner i en specificerad designkondition dividerat med trafikarbetet i samma kondition. Nedan anges grundekvationen för EEDI.

$$EEDI = \frac{CO_2 \text{ emission}}{\text{trafikarbete}}$$

EEDI i grundformen är alltså koldioxidemission/trafikarbete, i princip g CO<sub>2</sub>/ton(möjlig last)/nautisk mil. Tillåten EEDI baseras, för olika fartygstyper, på emissionsdata för fartyg byggda under senare tid. Tillåtet EEDI skall sedan sänkas i 3 steg framöver.

EEDI skall ge ett incitament till design som gör att mindre motorer kan installeras för en given dwt/designfart. Detta kan resultera i lägre hastigheter. Emissionerna är ungefär proportionella mot hastigheten i kub, det vill säga verkligt EEDI stiger med referenshastigheten i kvadrat.

### **Exergi**

Exergi är den i alla andra energiformer omvandlingsbara delen av **Energien**. Exergin hos ett system i en viss omgivning är således den mängd arbete som maximalt kan utvinnas ur systemet i denna omgivning. Exempel på system är en fast kropp, en gasmassa, t.ex. luftmassan i ett uppvärmt hus i en vintrig omgivning, eller en viss kvantitet bränsle, t.ex. bensinen i tanken på en bil. Begreppet arbete skall här endast ses som exempel på en fullständigt ordnad energiform, dvs med entropin lika med noll — minimal oordning eller maximal ordning. Det är endast den nyttiga eller ordnade delen av energin som kan omvandlas till alla andra energiformer.

### **Kortsjöfart**

Sjöfart som bedrivs på kortare sträckor och inte korsar oceaner

### **”LayCan”**

Den tidsram inom vilken befaktaren enligt ett fraktavtal har rätt att disponera fartyget för lastning och lossning.

### **Liggtid i hamn**

Tiden från att ett fartyg lagt till vid en kajplats tills det lämnar platsen.

### **Operatör**

Med operatör avses i denna studie den part som driver fartyget, d.v.s ansvarar för de resor fartyget gör.

### **”Port Control”**

Benämningen på verksamheten för hamnens fartygsplanering

### **Resecerteparti / Resebefraktningcerteparti**

En typ av avtal mellan redare och befraktare. Under ett resecerteparti hyr befraktaren fartyget av ägaren för en enstaka resa.

### **Samlastning**

Samlastning innebär att flera lastägare fraktar sitt gods på samma fartygsresa. Typiskt för RoRo- och containerfartyg.

### **”Slow steaming”**

Fartyget sänker sin hastighet under överfarter för att få en mer energieffektiv framdrift. På så sätt görs också ekonomiska besparingar

### **”State - of - the - Art”**

En ”State-of-the-Art”-studie beskriver kunskapsläget inom ett definierat område.

### **Skeppsmäklare/Skeppsagent/hamnagent**

Generellt kan sägas att skeppsmäklaren fungerar som koordinator mellan redare och befraktare och har ett informativt, förmedlande samt samordnande ansvar.

Skeppsmäklare omfattar fyra kategorier av yrkestitlar; hamnagenter, linjeagenter, befraktningmäklare samt köp- och försäljningsmäklare.

Skeppsmäklaren kan beskrivas som en samlad beteckning på en redares representant i en hamn. Denne representant fungerar som en mellanman på så sätt att den ser till att hamnuppehållet genomförs på ett så praktiskt sätt som möjligt vilket exempelvis innebär att kommunicera med stuverier, speditörer, lastägare och hamnmyndigheter.

### **Svenskt vatten**

Längs med Sveriges kust går den så kallade baslinjen. Svenskt vatten avser oftast svenskt territorialvatten vilket omfattar vattnet mellan baslinjen och 12 nautiska mil (motsvarande 22 km) ut om det är öppet hav och utan konflikter med annat lands territorialvatten. Det finns också en ekonomisk zon som når 200 nautiska mil från baslinjen.

### **Svensk sjöfart**

Svensk sjöfart kan definieras på flera sätt. Sverige hade 396 fartyg över 100 bruttoton i sitt fartygsregister 2011 medan 906 fartyg rapporteras ha varit i svensk regi samma år (Trafikanalys, 2011). I denna rapport frångås fartygets ägandeland i definitionen av svensk sjöfart och den sjöfart som försiggår i svenska vatten anses vara svensk sjöfart. Ur ett energiperspektiv är ägandelandet ointressant och möjligen hade försäljningen av internationell bunker uppdelat på ägandeländer varit en relevant parameter att beakta för

denna rapportens definition av svensk sjöfart. Då sådana uppgifter saknats har en vid definition av begreppet använts.

### **Tidscerteparti / Tidsbefraktningcerteparti**

En typ av avtal mellan redare och befraktare. Under ett tidscerteparti hyr befraktaren fartyget under en viss period, och betalar hyra per dag till ägaren under den specificerade perioden.

### **Tjockolja**

Tjockoljan är en högviskos eldningsprodukt som är en restprodukt från raffinaderier. Oljorna innehåller höga svavel- och metallhalter. Standardiserade kvaliteter enligt ISO 8217 benämns RMA, RMB, RMD, RME, RMG och RMK. Vanligt är att benämna oljorna efter viskositet som har betydelse för bränslesystemen ombord, till exempel RMG380, där 380 står för 380 centiStokes. Förkortningar som ofta används är ”HFO” (heavy fuel oil) och ”IFO” (Intermediate Fuel Oil) som är en blandning av tjockolja och destillat.

### **”Weather routing”**

Ett begrepp som används inom sjöfarten då sjöfartsrutter justeras utifrån väderförhållanden.

## **1.4 Metodik**

En ”State-of-the Art”-studie syftar till att beskriva nuläget och de modernaste tekniker, verktyg och metoder som används inom ett område. De metoder som använts omfattar litteraturstudier, intervjuer, fokusgrupper, observationsstudier samt en fallstudie. Resultaten från de studier som utförts primärt för datainsamling i denna studie presenteras tillsammans med tidigare publicerat material.

### **1.4.1 Litteraturstudier**

En stor del av arbetet i samtliga delområden baseras på litteraturstudier. Litteratur har sökts på Summon (en söktjänst från Chalmers bibliotek), Google scholar (söktjänst från Google för vetenskaplig litteratur), och andra vetenskapliga databaser. En stor del av referenserna kommer från IMOs publicerade rapporter.

### **1.4.2 Intervjuer**

Datainsamling för Logistikområdet, Teknikområdet och Avtal- och marknadsområdet bygger även på intervjuer. Fyra olika rederier som opererar bulkfartyg och tankers i norra Europa intervjuades för att kartlägga logistiska och operativa faktorer som påverkar fartygens bränsleförbrukning.



### 1.4.3 Fokusgrupp

Fokusgrupper användes som datainsamling inom området Kommunikation och beteende. Fokusgrupper är en variant av en gruppintervju där fokus ligger kring en grupp människor som samlas och diskuterar runt ett på förhand bestämt ämne. I en fokusgrupp är idén att medlemmarna skall kunna diskutera relativt fritt med varandra runt ämnet och på så sätt kunna bidra till studien med nya infallsvinklar och åsikter om ämnet (Wibeck, 2000).

En whiteboardtavla användes som hjälpmedel för att skapa rubriker och kategorisera de olika idéerna samt de kommentarer som framkom under fokusgruppens gång. Fokusgruppen fick i slutet möjlighet att peka ut vilka åtgärder inom olika områden som var viktiga respektive möjliga att genomföra.

Fokusgruppen var sammansatt av representanter från båtmännen Göteborg, en fartygsingenjör på ett stort svenskt rederi och anställda på Chalmers Sjöfart och marin teknik i grupperna marin miljöteknik och logistik.

### 1.4.4 Observation

Observationer i form av studiebesök och två miljöseminarier har varit underlag till en generell informationsinsamling inom området Kommunikation och beteende. Observationer har genomförts på samordningscentralen ”Gothenburg approach” i Göteborgs hamn för en överblick om hur kommunikation vid ett anlop i Göteborgs hamn fungerar i dagsläget.

### 1.4.5 Fallstudie

Arbetet inom området Logistik baseras även på en fallstudie av ett bulkrederi som främst opererar inom trampsjöfarten i Östersjön och Nordsjön. Två fartyg valdes ut och kvantitativa data insamlades för dessa fartyg för år 2011: ”reserapporter” (ifyllda excel-ark av besättningen innehållande rutter, bunkerkonsumtion, tid i hamn och till sjöss, etc.) och ”Statement of Facts” (information från hamnen till operativa avdelningen på rederiet innehållande aktiviteter i hamn som tider för ankomst och avgång, tider för lastning och lossning av gods, totalt hanterade volymer, typ av gods, väntetider, raster, etc.). Kvantitativ data kompletterades med kvalitativ data i form av intervjuer med nio personer bland besättning, anställda i land på rederiet (fartygsoperatörer och chefer) samt anställda i två hamnar.

Syftet med fallstudien var att undersöka hamnens roll för att möjliggöra en minskning i bunkerförbrukningen och hur en kortare liggtid för fartyget i hamn kan bidra till energieffektivare sjöfart. Efter att en potentiell och reell tidsreduktion i hamnen tagits fram, så räknades sparad tid om till sjöss, med lägre fart som följd (med undantag för de turer där minskad fart inte innebar en minskad bunkerförbrukning eftersom man i vissa fall redan körde i den mest energieffektivaste farten). Därefter beräknades totala bunkerförbrukningen. Dataalgoritmer för bunkerförbrukningskurvor för de två fartygen togs fram av SSPA.

Fallstudien har delvis finansierats av detta projekt och delvis av projektet Effship (se effship, 2013) i samarbete med Hannes Johnsson, doktorand på Sjöfart och marin teknik på Chalmers.

## 2 Åtgärder inom teknikområdet

Ett fartyg består av ett antal tekniska system som skall samverka för att genomföra en transportuppgift på bästa sätt. Optimeringen av systemet kan baseras på olika utgångspunkter vilket leder till olika resultat. Under lång tid har fokus legat på att producera fartyget till en låg kostnad, delvis drivet av att varven i stor utsträckning varit ledande i utvecklingsarbetet.

För att nå bättre energieffektivitet krävs att det redan under planering och design läggs större fokus på hur fartyget kommer att opereras istället för att optimera för byggnationen. Detta kan i många fall leda till en högre investeringskostnad, men med rätt lösning blir i de flesta fall totalkostnaden under fartygets livslängd lägre.

### 2.1 State of the art

De kommande underkapitlen beskriver mer eller mindre i kronologisk ordning ett fartygs "liv" och de möjligheter som finns att förbättra energieffektiviteten i olika stadier. För varje åtgärd beskrivs kunskapsläge och status på tillämpning och arbetssätt inom industrin.

#### 2.1.1 Åtgärder

I detta avsnitt beskrivs ett stort antal åtgärder inom olika områden som kan och bör beaktas vid framtagning av ett nytt fartyg. Ett FoU-kunnande finns inom de flesta av dessa områden.

Det finns dock ett stort gap mellan tillgänglig och tillämpad teknik. Detta har flera orsaker:

- Fartygsutveckling är ofta driven av varv vilket leder till att produktionsoptimering eftersträvas istället för att anlägga ett livscykelperspektiv
- Bristande kunskap hos många rederier leder till en icke optimal lösning
- Bränslekostnader har tidigare varit en mindre del av den totala driftkostnaden. Situationen har förändrats men fokus ligger i många fall fortfarande på att bygga fartyg till låg kostnad. Ett exempel på utvecklingen de senaste åren ges för ett typiskt kusttankfartyg i Tabell 1.

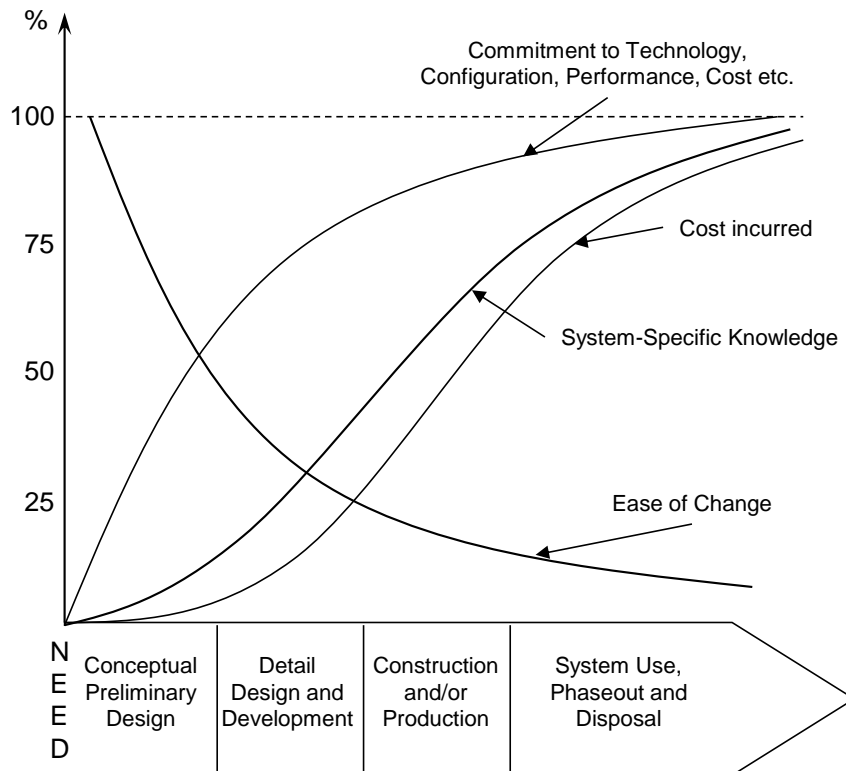
**Tabell 1 Exempel på hur bunker kostnad kan påverka livscykelkostnad för ett fartyg**

| Kostnader             | 2002        | 2012        |
|-----------------------|-------------|-------------|
| Bunker kostnad / år   | 100 USD/ton | 700 USD/ton |
| Bunker/ år            | 3 MSEK      | 19 MSEK     |
| Kapitalkostnad / år   | 11 MSEK     | 12 MSEK     |
| Operationskostnad /år | 13 MSEK     | 15 MSEK     |

Bunker kostnadens del av ett dylikt fartygs totala kostnader har alltså stigit från 10 % till 40 % under det senaste decenniet.

### **Planering, konceptstudier**

Ofta fokuserar man vid tal om energieffektivisering på fartygets komponenter och vad man kan göra åt maskiner och annan utrustning ombord. Det är dock helt klart att den tidiga planeringen, med en definition av transportupplägg och fastläggande av fartygets huvuddimensioner, är den viktigaste perioden ur ett energieffektivitetsperspektiv. Som illustreras i Figur 3 är det i planeringsfasen som en mycket stor del av designen, och därigenom energieffektiviteten, låses (Commitment to Technology i Figur 3). Det är även i detta skede beslut kan tas utan stora kostnader. Längre fram i projektet ger förändringar en mindre effekt till en betydligt högre kostnad.



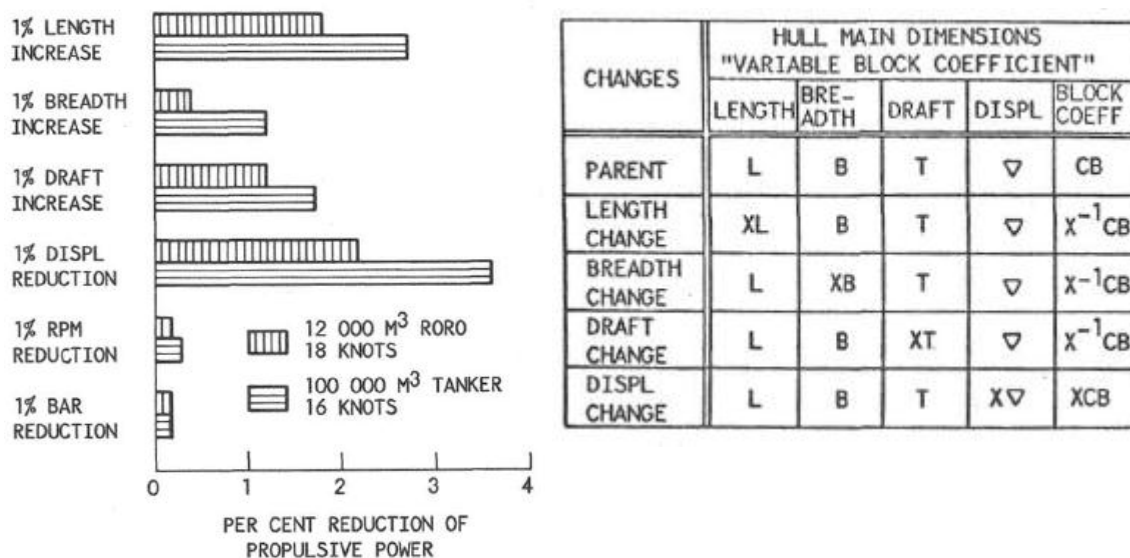
**Figur 3. Effekt av beslut i olika faser av ett projekt (Blanchard och Fabrycky, 1998).**

Ett antal frågor behöver besvaras i konceptfasen. Ju bättre man kan definiera driftprofilen i planeringsfasen, desto bättre möjlighet har man att ta fram ett fartyg med goda egenskaper. En viktig parameter, som till viss del motverkar optimeringsfilosofin, är att man i många fall eftersträvar en stor flexibilitet i transportlösningen.

Nedan följer ett antal punkter som behöver belysas i planeringsstadiet.

- Vilken transport är fartyget avsett att utföra
  - Avstånd
  - Område
  - Volym/vikt
  - Tidtabell/drifftid
  - Lastning/lossning
  
- Speciella krav
  - Dimensioner
  - Fart
  - Vågbildning
  - Emissioner (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>,...)
  - Bränsleförbrukning (EEDI, ...)
  - Bränsle
  - Komponentval
  - .....
  
- Övrigt att tänka på
  - Flexibilitet
  - Uppgradering (förlängning, ...)
  - Driftprofil
  
- Utdata för design
  - Huvuddimensioner
  - Preliminärt General Arrangement (GA)
  - Lastkapacitet
  - Fart
  - Huvudmaskineri
  - Hjälpmaskineri
  - Manövrering (thrusters, ...)
  - Till och från kaj, förtöjning
  - Lasthantering
  - .....

Bland de viktigaste parametrarna i detta skede är fastläggandet av huvuddimensioner; längd, bredd, djupgående och displacement. För många fartygstyper kan en liten förändring av dimensioner ge en stor förändring i energibehov. I Figur 4 nedan, visas effekten av dimensionsförändringar hos två olika typfartyg. Genom att öka längd, bredd och/eller djupgående med bibehållen vikt kan skrovet göras mindre fylligt (den sk blockkoefficienten minskas), vilket speciellt för fylliga fartyg som tankfartyg ger en stor effektbesparing. Att minska vikten, t.ex. genom att använda andra material, ger också stor påverkan på effekten.



Figur 4. Påverkan av förändring i olika huvudparametrar för två olika fartyg (Williams, 1980)

## Design

När planeringen är "klar" vidtar en detaljerad design och optimering av fartyget. Man kan skilja på ett antal huvuddelar

- Skrov- och propellergeometri; En process med hydrodynamik som huvudkomponent. Fartygets displacement, huvuddimensioner och utformning optimeras med avseende på motstånd i stilla vatten och vågor under beaktande av övriga parametrar som stabilitet, sjöegenskaper i vågor och manöverförmåga. Propellersystemet utformas för bästa effektivitet i olika konditioner (lastat/tomt fartyg, stilla vatten/vågor,...) och med beaktande av parametrar som kavitationsegenskaper, manöverförmåga och det tänkta maskineriets egenskaper.
- Skrovkonstruktion; Konstruktionen tas fram med minsta möjliga vikt med beaktande av krav på global och lokal styrka, lastlådans krav, byggmetoder mm. Häri ingår materialval för skrovets olika delar.
- Framdrivningsmaskineri; Beroende på driftformer väljs ett lämpligt maskineri med bästa möjliga egenskaper. Valet står oftast mellan långsamtgående 2-taktsmotorer med direkt driven propeller (med bäst verkningsgrad), 4-takts medelvarvsmotorer med

växel och propeller (något sämre verkningsgrad men mer kompakta enheter) eller dieselelektriska system (hög flexibilitet men normalt sett sämre verkningsgrad i drift och en betydligt större investeringskostnad).

- Hjälpmaskinerier, kringsystem; Hjälpmaskinerier är oftast betydligt mindre än framdrivningsmaskineriet, men kan i vissa fall utgöra en stor del av fartygets energikonsumtion. Utformningen av dessa liksom andra kringsystem kan påverka fartygets totala energikonsumtion i stor utsträckning. Bland annat är kylning och värmning av boendetrymmen mm ombord en stor konsument av energi.
- Värmeåtervinning - värmebalans; Fartyg har ofta ett stort behov av uppvärmning och kylning av olika komponenter. Samtidigt finns det normalt stora mängder spillvärme från maskinerna ombord som utnyttjas i större eller mindre grad. Att etablera värmebalansen i fartygets olika operativa situationer är ett viktigt arbete både för dimensionering av systemen och för möjligheten att optimera värmeåtervinning ombord.
- Lasthantering; Lasthanteringen skall vara snabb, effektiv och säker. Lasthantering kan i vissa typer av fartyg utgöra en stor del av energiåtgången. Det kan gälla pumpning av flytande laster, ventilation av lastrum vid tex RoRo-hantering eller inertering av lasttankar i tankfartyg. En snabb lasthantering ger också en tidsbesparing som kan nyttjas för att göra själva resan mindre energikrävande.
- Alternativa drivkällor; Främst vindkraft i form av segel, men även solenergi och vågkraft är tänkbara källor. För att minska emissioner är även alternativa bränslen av intresse.

Nedan en listning av områden där man under designstadiet kan åstadkomma förbättringar och en bedömning av kunskapsläget.

## **Skrov- och propellergeometri**

**Skrovlinjer;** En ständig utveckling pågår med hjälp av numeriska metoder och modellförsök. Ofta optimeras skrovet utgående från en designkondition, en trend mot att designa för flera olika konditioner (Scantling = max djupgående, Design = ett djupgående som anses vara representativt för normal drift, Ballast = djupgående utan last) kan ses. Det kommande EEDI (Energy Efficiency Design Index) baseras till exempel på Scantling draft.

**Kunskapen** inom området är stor. Detta är det område inom hydrodynamiken som under lång tid haft störst uppmärksamhet, och beräkningar och försök genomförs normalt inför varje fartygsbygge. SSPA har till exempel testat mer än 8000 skrovformer och närmare 3000 propellrar. Numeriska beräkningar (Computational Fluid Dynamics, CFD) används normalt för optimering i tillsammans med modellförsök.

**Motstånd i vågor;** Optimering av skrov sker oftast för gång i stilla vatten, delvis baserat på att detta är det driftfall man har vid leveransprovturen. Verklig drift sker dock i princip alltid i vågor, större eller mindre, som ökar motståndet väsentligt. Utformningen av framförallt



förskeppet påverkar denna motståndsökning i stor grad, och utveckling av förskepp för minimal motståndsökning pågår på många håll i världen.

En optimering av skrovet avseende vågor kräver goda indata avseende driftformer.

**Kunskapen** inom området är omfattande och en kontinuerlig utveckling pågår. I samband med diskussioner om Ultra Slow Steaming (mycket låg fart för vissa fartygstyper) blir motståndsökningen i vågor mycket intressant, då ett fartyg optimerat för låg fart får ett maskineri som i vissa lägen är för svagt för att fartyget skall kunna manövrera säkert i dåligt väder. Regler och testmetoder för att säkerställa manövrerbarhet i dåligt väder är under utveckling.

**Propelleroptimering;** Propellrar optimeras utgående från ett antal olika kriterier. En optimal verkningsgrad, som är bäst ur energisynvinkel, ger normalt sämre egenskaper avseende de tre andra huvudkriterierna kavitation, buller och vibrationer. Olika propellerarrangemang med t.ex. motroterande propellrar, dysor etc. används i vissa tillämpningar för att uppnå bättre egenskaper. Samverkan med skrovet är även viktig, och metoder för att studera denna numeriskt och i modellförsök är allmänt etablerade. System för att förbättra strömningsbilden kring propellern, och därigenom verkningsgraden, har på senare år blivit alltmer vanliga.

**Kunskapen** inom området är stor. Kommande regler vad avser buller genererat från fartyg har gjort att visst fokus för närvarande läggs på FoU avseende kopplingen mellan kavitation och buller, bland annat inom EU-programmen SILENV och AQUO.

## **Skrovkonstruktion**

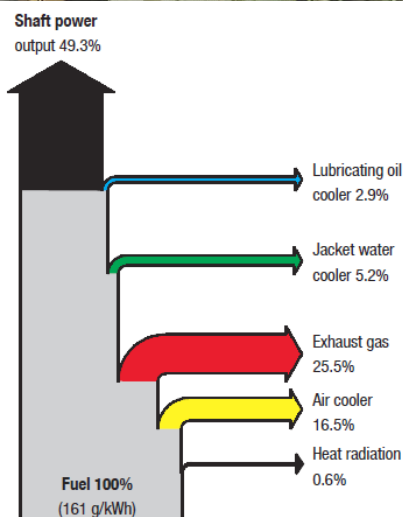
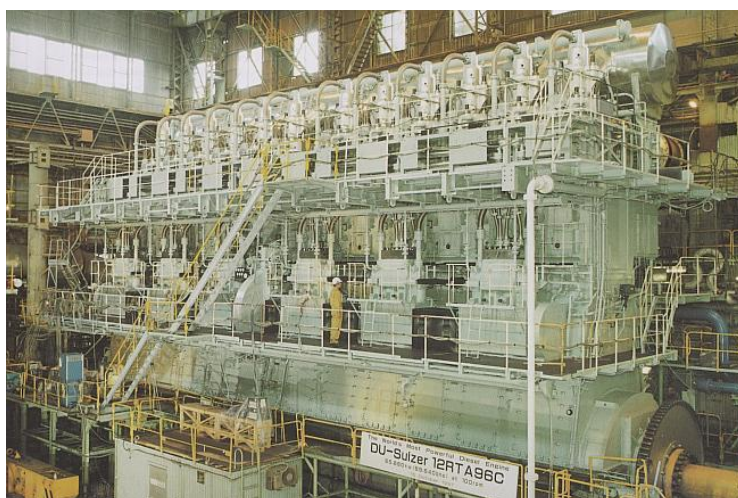
**Skrovbalkens styrka;** Ett fartygsskrov utsätts för olika belastningar, och konstruktionen måste beräknas för att tåla såväl globala belastningar (främst böjmoment och skjuvkrafter orsakade av vågor och lastfördelning ombord) som lokala belastningar (punktlast ombord, krafter från förtöjningar, bogserbåtar etc.). Ett fartygsskrov är normalt sett hårt belastat, och utmattning av konstruktionen är en parameter i designarbetet där man dimensionerar styrkan beroende på operationsområde och förväntad livslängd. En normal standard är Winter North Atlantic 25yrs, dvs en dimensionering för att tåla vågsituationen i en kontinuerlig drift i Nordatlanten under 25 år utan farlig sprickbildning i skrovet. Målet är att konstruera skrovet så lätt som möjligt med bibehållen styrka. Då låg vikt också bidrar till minskad bränsleförbrukning är en optimerad konstruktion viktig för energieffektiviteten.

**Kunskapen** inom området är stor, och framförallt klassällskapen bedriver en omfattande FoU avseende skrovhållfasthet och utmattning. De dimensioneringskriterier som finns framtagna fungerar, i kombination med de inspektionsrutiner som också finns reglerade, bra. Skrovbalken i sig är väl optimerad för minimerad vikt.

## Framdrivningsmaskineri

**Motorer;** För fartygsdrift används främst dieselmotorer. Två huvudtyper är dominerande, 2-takts långsamtgående motorer och 4-takts medelvarvmotorer.

2-taktsmotorer är de mest energieffektiva förbränningsmotorerna som finns med en verkningsgrad på ca 50 %, se Figur 5. De byggs i effekter från ca 4000 till drygt 80000 kW. De används i alla typer av fartyg och är helt dominerande när det gäller större fartyg som tankers, bulkfartyg och större containerfartyg.



Figur 5. En stor 2-takts dieselmotor (80200 kW) samt en beskrivning av förluster i motorn.

4-taktsmotorer har en något sämre verkningsgrad men har fördelen att vara kompaktare, framförallt är de betydligt lägre, se Figur 6. De används därför i fartyg där man har behov av öppna däck över fartygets hela längd tex färjor och RoRo-fartyg. De byggs även i

mindre storlekar ( effekter från 500 kW) och de används därför i mindre fartyg. Hjälpmaskinerier ombord är normalt sett också baserade på 4-taktsmotorer.



**Figur 6. 4-taktsmotor avsedd för framdrift, effekt ca 8500 kW.**

**Kunskapen** inom området är stor och utvecklingen drivs främst framåt av de stora motortillverkarna. Fokus ligger på bättre verkningsgrad, lägre emissionsnivåer och, för 2-taktsmotorer, lägre varvtalet. Det lägre varvtalet ger möjlighet att installera en större propeller vilket också bidrar till en högre verkningsgrad. 4-taktsmotorer kombineras normalt med en växel innan propellern vilket gör att man kan välja varvtalet mera fritt.

### **Hjälpmaskineri, kringssystem**

Ett stort antal kringssystem används ombord. Huvudmaskineriet behöver förses med bränsle, kylvatten, luft, smörjolja mm. Besättnings- passagerar- och lastutrymmen behöver värmas/kyla, ventileras och belysas. Lasthanteringsutrustning, framförallt på tankfartyg, kräver periodvis stora effekter. Till stor del använder dessa system elkraft, producerad av hjälpmaskinerier. Även för ett normalt lastfartyg till sjöss är konsumtionen av el ofta 5-10 % av huvudmaskinens effekt, för passagerarfartyg är kringssystemens effektbehov betydligt större. Genom att titta på hela systemets effekt- och värmebalans och med en genomtänkt design kan denna effekt sänkas avsevärt.

**Kunskapen** inom området, framförallt på komponentnivå, är stor. Vad avser tillämpning på systemnivå är dock kunnandet sämre. Samverkan mellan olika system ombord är ett komplext problem, och det finns inte några riktigt bra, praktiskt användbara, modeller för denna typ av optimeringar.

Ett mera energieffektivt system blir normalt sett mer komplext, och därmed möjligen mindre driftsäkert. Att energipriset tidigare varit lågt har därför gjort att man satsat på mindre komplexa system med större driftsäkerhet, men därigenom också med sämre energieffektivitet.

Teknikutvecklingen främst avseende varvtalsstyrning av elmotorer har börjat avspegla sig i effektivare pump- och fläktsystem ombord på en del fartyg.

## **Värmeåtervinning**

Även om en dieselmotor är förhållandevis effektiv blir ändå minst 50 % värmeförluster. Denna värme har olika kvalitet, från lågtemperaturkylvatten (LT) med ca 30° C, via högtemperaturkylvatten (HT) med 85-90° C till avgaser med en temperatur på 200-350° C. De spillvärmekällor som normalt används ombord är avgaserna som får generera ånga för värmning av olika komponenter samt HT-vattnet som används för att producera färskvatten. En stor del av värmen körs dock ut i havet, samtidigt som man parallellt periodvis eldar i värmepannor ombord. Anledningen är, precis som med hjälpsystemen, att man velat undvika alltför komplexa system. Det finns dock en stor potential att utnyttja en större del av spillvärmen

**Kunskapen** inom området är inte så spridd inom sjöfartsbranschen, och åter är det ett systemkunnande som saknas. Stort fokus har lagts på värmeåtervinning för att producera mekaniskt arbete, men dessa system är komplexa och dyra och kan även med dagens bränslepriser bara bli lönsamma för stora maskinerier, i storleksordningen 30000 kW och mera.

Att återvinna spillvärme för värmebehoven ombord är känd teknik och med ett bättre systemkunnande bör detta kunna ge avsevärda energibesparingar i vissa driftfall.

## **Alternativa drivkällor**

Sedan först ångmaskinen och sedan dieselmotorn gjorde debut inom sjöfarten har dessa varit helt dominerande som drivkällor. Olika typer av bränsle har använts och diskuteras även idag. Som exempel kan nämnas kol, LNG (gas), kärnkraft och biobränslen. Detta faller dock delvis vid sidan av energieffektivitets-begreppet även om de kan bidra till minskade emissioner.

De alternativa drivkällor som kan begränsa energianvändningen är främst vind, vågor och sol. Segel är en framdrivningsform som har mångtusenåriga anor. Ett stort antal idéer och prototyper har testats ombord på handelsfartyg sedan 1970-talet, då den första ”energikrisen” kom. Att segling är ett fungerande alternativ är helt klart, frågeställningen är främst hur man kommer fram till system som är kostnadseffektiva, säkra och enkla. Det finns också en principiell fråga om huruvida man skall bygga segelfartyg eller motordrivna fartyg med segel som hjälpkraft.

Vågkraft som framdriftshjälp har endast testats på mindre båtar och fartyg. Teknologi finns, men problem med stora krafter har hämmat utvecklingen.

Solenergi är, precis som på land, en möjlighet. Även när det gäller denna är det en fråga om kostnadseffektivitet. Tillgängliga utrymmen ombord är normalt så små att solenergi endast kan svara för en mindre del av energibehovet.

**Kunskapen** avseende segling är stor. Ett antal projekt pågår för närvarande där olika tekniker testas teoretiskt, i modell och som prototyper.

Vågkraft för fartygs framdrift är ett i princip utforskat område. Under 80-talet testades en sk "Foilpropeller" på ett norskt fiskforskningsfartyg med lovande resultat, men de praktiska problemen i operation sågs då som för stora för att rättfärdiga vidare installationer.

Solceller är en växande marknad för landbaserat bruk, och mindre testanläggningar har monterats ombord för att kontrollera driftsäkerheten i marin miljö.

## **Byggnation**

Byggandet i sig innebär stor energikonsumtion, men varvsverksamheten i Sverige är i princip borta.

Byggnation av fartyg berörs därför inte närmare i denna rapport.

För fartygsoperatören gäller det i detta skede framförallt att säkerställa att fartyget byggs i enlighet med de specifikationer och intentioner som fastställts tidigare.

## **Driftfasen**

Jämfört med övriga faser i fartygets livscykel omsätts absolut mest energi under fartygets driftsfas.

De tekniska åtgärder som kan vidtas under resan är främst att se till att köra med optimala inställningar. De faktorer som främst påverkar, och kan påverkas är fartygets lastfördelning (trimläge), ballastmängd ombord, optimering av framdriftsmaskineriet parametrar och minimering av kringutrustningens energikonsumtion.

## **Optimerad drift**

Optimering av reseutförande berörs i andra delar av denna rapport. Det handlar i stor utsträckning om att köra med rätt och så låg fart som möjligt eftersom energiåtgången ökar med (minst) hastigheten i kvadrat.

## **Fartygets tekniska status**

Fartygets tekniska status påverkar energikonsumtionen betydligt.

Maskinkontrollsystem ombord kontrollerar maskineriets parametrar för att kontrollera att det fungerar på bästa sätt. Skrovets och propellerns skrovlighet påverkar energiåtgången väsentligt. Val av bottenfärg och periodisk polering av skrov och propeller är ytterst viktigt för att hålla nere energikonsumtionen. Även underhåll i samband med dockningar påverkar fartygets prestanda.

**Kunskapen** vad gäller maskineriets kondition och hur det påverkar bränsleförbrukningen är god. Av ”tradition” och praktiska skäl händer det dock ofta att fartygsmaskineriet inte opereras helt optimalt.

Ytråheten på skrov och propeller och dess betydelse för energiåtgången är ett område där mycket forskning gjorts. Färgfabrikanter arbetar också aktivt med att ta fram färgsystem som minimerar friktionsmotståndet.

Inverkan av tidig beväxning, så kallat ”slime” och annan beläggning, på motståndet är ett område där kunskan inte är fullständig, och lämpliga strategier för att optimera underhållet av skrov- och propelleryta avseende motstånd saknas.

### **”Performance monitoring”**

Ett område som fått stort intresse på senare tid är ”Performance Monitoring”. Genom kontinuerlig mätning av driftdata som fart, effekt, miljöparametrar och bränsleförbrukning kan man få en bättre bild av fartygets driftstatus. Genom att jämföra med teoretiska beräkningar kan man analysera avvikelser vilket kan ge ett beslutsstöd avseende lämpliga åtgärder. Denna typ av system är enligt många en förutsättning för att kunna arbeta effektivt med det ”Energy management system” (SEEMP) som blir obligatoriskt från 2013 (MEPC, 2011a och MEPC, 2012).

**Kunskapen** inom området är under utveckling. Ett fartyg befinner sig normalt sett i ett driftfall som kan vara svårt att analysera med vind, vågor och ström. De värden som kommer ut ur ett ”Performance Monitoring System” är därför beroende av bra beräkningsmodeller för att ge användbara resultat.

### **2.1.2 Potential till energibesparing**

Tekniska åtgärder har energibesparingspotentialer som är lättare att uppskatta och mäta än åtgärder som behandlas i andra delar av denna rapport. Potentialen varierar dock kraftigt från fall till fall, och de siffror som nämns i avsnitten nedan kan bara ses som exempel. När det gäller operativa åtgärder påverkas också förbättringen av hur väl eller illa fartyget opererats innan åtgärder vidtas.

De siffervärden som publicerats och presenterats avseende besparingspotential varierar också kraftigt och spannen i generella betraktelser blir ofta så stora att de inte ger någon direkt ledning (Buhaug et al, 2009). En bedömning från fall till fall blir oftast nödvändig.

Den totala effekten av olika tekniska åtgärder påverkas också av hur stor del av tiden de kan användas på avsett sätt. Denna viktökning tar bort en del av vinsten, och fartyget blir väsentligt dyrare. Ett annat exempel är segel. Några segelidéer ”marknadsförs” med stora besparingspotentialer i specifika förhållanden, i flera fall krävs medvind. Dessvärre är det i en operativ miljö segling mot vinden som är dominerande.

De potentialer som kvantifieras i styckena nedan är hämtade ur Buhaug et al., 2009 och Imarests rapport till IMO:s Miljöskyddskommitté, MEPC 62 (MEPC, 2011b), och ur SSPAs interna arkiv om inget annat anges.

## **Planering**

Som nämnts tidigare är det i planeringen av ett nytt fartyg som man kan göra de stora vinsterna. Genom rätt val av huvuddimensioner, driftprofil, systemutformning mm kan stora besparingar uppnås.

## **Design**

Ett försök till kvantifiering av förbättringspotentialen för olika specifika åtgärder ges i detta avsnitt.

**Huvuddimensioner;** Potentialen är väldigt olika från fall till fall. Generellt kan dock sägas att dimensioner idag ofta styrs av tradition och/eller varvets optimering.

Ett exempel på skillnad; Ett tankfartyg med ett displacement på ca 90000 ton har blivit en typ av standardfartyg, sk LR1 (LR=Long range). Huvuddimensionerna har sedan länge varit L=228.6 m (750 fot), B=32.26 m (Panamakanalens bredd, denna utökas till 52 m 2014), designdjupgående 12 m med en dödvikt på 55-59000 ton och en max dödvikt på 75000 vid 14.2-14.5 m djupgående. Genom att göra detta fartyg 240 m långt, 36 m brett och något slankare och med bästa tillgängliga motorteknik kan energibehovet per transporterat gods vid en operativ fart på 15 knop minskas med mer än 30 %, varav skrovförändring står för 2/3 av förbättringen.

**Skrovlinjer;** Optimering (numerisk och med hjälp av modellförsök) av skrovlinjer utgående från fastlagda huvuddimensioner och preliminära linjer ger normalt en förbättring på minst 2-3 %, i vissa fall betydligt mera. Moderna CFD-verktyg ger möjligheten att jämföra ett stort antal utföranden till en hanterbar kostnad.

**Motstånd i vågor;** Optimering av motståendet i vågor kontra motståndet i stilla vatten är en avvägning som behöver göras baserat på fartygets operativa profil. Det är svårt att ge siffror på möjlig besparing.

**Propulsivt system;** Att sänka varvtalet på propellern, med en ökad diameter, är det sätt som främst används för att öka verkningsgraden. Begränsningarna är oftast geometriska, dvs propellern måste få plats, och tillgänglig motorvarvtal (om man använder 2-taktsmotorer utan växel). I ett typfall där varvtalet sänks från 105 till 97 varv/minut minskade energibehovet med 3.5 %.

Dysor, vingar och andra statorer som förbättrar strömningen till propellern kan öka verkningsgraden, ett antal system finns på marknaden. Varje installation är unik och kräver noggranna beräkningar, besparingar på 3-6 % är möjliga med dagens teknik. MEWIS-dysan, som marknadsförs av Becker Marine Systems, är en av de mest effektiva tillgängliga lösningarna och har installerats på ett stort antal fartyg.

Att använda motroterande propellrar, dvs två propellrar efter varandra som roterar åt motsatt håll, är ett sätt att minska rotationsförlusterna efter propellern. Besparingar på upp till ca 10 % är möjliga, men komplexiteten och kostnaden har hittills gjort att väldigt få installationer gjorts.

**Propelleroptimering;** Propelleroptimering är en fintrimning av propellern för att få bästa kombinationen avseende verkningsgrad, kavitations- och bulleregenskaper. Genom förfinade beräknings- och testmetoder kan man här åstadkomma förbättringar på någon enstaka procent.

**Viktbesparing;** Fartygsskrov är generellt sett väl optimerade ur viktsynpunkt. Möjligheter till viktbesparing finns främst avseende materialval (höghållfast stål, aluminium, kompositer etc).

Vad gäller komponenter ombord finns en större potential. Det kan gälla överbyggnader, lastdäck, master, fundament mm som ofta är kraftigt överdimensionerade av produktionstekniska hänsyn eller andra skäl. En överbyggnad på ett normalt handelsfartyg byggs till exempel oftast med 6-7 mm tjockt stål för att få en plan yta, medan det ur hållfasthetssynpunkt skulle räcka med hälften. Går man över till kompositmaterial skulle man kunna reducera vikten med 60-80 % (Karlsson, 2007).

Om viktreduktionen görs på ”rätt” ställe ombord kan den också ge synergieffekter avseende energibesparing. Ett exempel; Ett MR-tankfartyg (MR=Medium range ca 45000 TDW) har en överbyggnad som traditionellt väger ca 700 ton. En viktminskning med 500 ton ger vid fullast i sig en energibesparing på 0,7 %, eller 1,2 % extra last med samma bränsleförbrukning. I ballast blir energibesparingen bara 0,4 %, men viktminskningen i aktern ger en möjlighet att trimma fartyget mera optimalt vilket kan ge en total energivinst på 4,7 % (Karlsson, 2012).

**Huvudmaskineri;** Dieselmaskinerier är idag totalt dominerande som framdriftskälla. Utvecklingen sker främst av motorfabrikanter, några av de större är MAN, Wärtsilä och MaK. Samtliga dessa tillverkare är europeiska, och utvecklingen sker till större delen vid huvudkontoren. Tillverkningen av motorer sker dock oftast på licens i närheten av byggvarven där de större komponenterna tillverkas på plats och andra komponenter med speciella tillverkningskrav köps in från olika leverantörer.

Utvecklingen på motorsidan fokuseras sedan ett antal år främst på två områden, energieffektivitet och sänkta emissioner av NO<sub>x</sub>.

Energieffektiviteten ökas genom högre förbränningstryck (vilket höjer NO<sub>x</sub>-emissionerna), förbättrad detaljutformning för mindre förluster i motorn och effektivare turbosystem. På 2-taktsmotorer försöker man också sänka varvtalet för att ge en bättre verkningsgrad på den direktdrivna propellern. MAN:s nya G-serie har till exempel sänkt varvtalet med ca 10 % samtidigt som man sänkt bränsleförbrukningen med 2-4 % och höjt effekten på motsvarande motorstorlek med 10-13 %. Samtidigt har man utvecklat bättre metoder för optimering av motorerna vid dellast. I en typisk installation kan detta ge en bränslebesparing på 5-7 %.



Minskade NO<sub>x</sub>-utsläpp åstadkoms genom fintrimning av förbränningsprocessen (främst justering av bränsleinsprutningsförloppet) och genom sänkning av förbränningstrycket (vilket ger en något försämrad verkningsgrad). För de kommande reglerna i IMO:s Tier 3, vilka innebär sänkta utsläppsnivåerna av NO<sub>x</sub> med ca 80 % från den referensnivå som etablerades 1996, krävs installation av system för katalytisk rening, avgasåterföring eller liknande. En intensiv utveckling pågår inom detta område för att hitta kostnads- och energieffektiva lösningar.

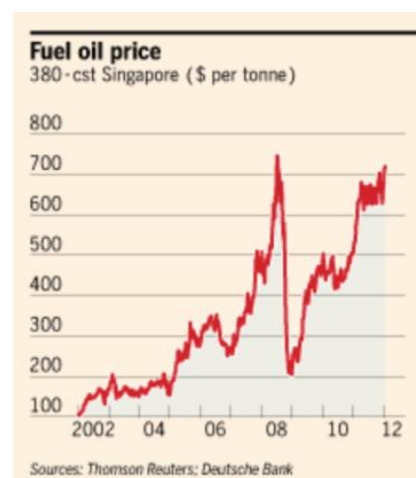
**Hjälpmaskineri, kringssystem;** Även hjälpmaskinerier för elgenerering är oftast dieselmotorer. Dessa motorer är oftast mindre 4-taktsmotorer och det finns ett stort antal tillverkare. Mindre motorer, upp till ca 800 kW, är ofta baserade på lastbilmotorer. Utvecklingen följer i stort samma linjer som huvudmaskinerier, det är samma problemområde. Ett alternativ som används av många fartyg är att generera el med en axelgenerator kopplad till huvudmaskineriet vilket, om utförandet är riktigt, kan spara bränsle genom att huvudmotorn normalt arbetar effektivare, och dessutom genom att spara underhållskostnader

När det gäller kringssystemen, som används för att serva huvud- och hjälpmaskinerier, finns det ett antal möjligheter och system att tillgå. Bland dessa kan nämnas frekvensstyrning av pumpar, fläktar mm. I ett antal fall har elförbrukningen ombord halverats, vilket typiskt innebär en total energibesparing på 5-8 %.

**Värmeåtervinning;** Som nämnts tidigare genereras det stora mängder spillvärme ombord, mer än 50 % av bränslet blir värme. Denna spillvärme har olika "kvalitet" (jämför exergibegreppet) där temperaturen kan variera mellan 30-250 °C och där mediet kan vara avgaser, färskvatten, havsvatten eller luft. Behovet av värme ombord varierar också starkt beroende på operationsområde, fartygstyp, typ av last mm. Generellt finns det stora besparingar att göra, systemen ombord är fortfarande normalt optimerade utgående från situationen med mycket billigt bränsle. Med bränslepriser som stigit 7-falt under den senaste 10-årsperioden har marknaden inte hunnit med, **Error! Reference source not found..**

Det finns också möjligheter att omvandla spillvärmerna till mekaniskt arbete, vilket kan minska bränsleförbrukningen för framdrivning med ca 10-12 %. Denna typ av "Waste Heat Recovery" (WHR)-system marknadsförs av ett antal tillverkare, men priset är så högt att en företagsekonomisk lönsamhet endast kan uppnås för stora fartygsmotorer (>25 MW).

System för elproduktion baserade på "Organic Rankine Cycle" (ORC)-principer, i princip en omvänd värmepump, som kan använda sig av lågkvalitativ värme har testats och marknadsförs. Prisläget är osäkert, indikationer för två år sedan visade på ett för högt pris för en lönsam installation, men nya aktörer dyker just nu upp på marknaden. En bränslebesparing på 7-9 % kan uppnås i vissa fall.



De fall där värmeåtervinning kan ge störst besparing är de fall där ett stort värmebehov finns ombord. Som exempel kan nämnas ett tankfartyg på 75000 TDW som fraktar tung eldningsolja. Denna olja måste hållas vid en temperatur på minst 40°C, vilket normalt sker med ånga från en oljeeldad panna. Förbrukningen för värmning är 8-12 ton/dygn (fartygets övriga förbrukning ca 35 ton/dygn) beroende på omgivningens temperatur. Genom att använda tillgänglig spillvärme kan detta klara hela värmebehovet 95 % av tiden, det vill säga transportens energibehov minskar med ca 13 % (25 % i lastat tillstånd men halva tiden utan last, ingen besparing då).

Det som främst behövs för att möjliggöra besparingar är en förståelse för värmebalansen ombord och hur olika system ombord kan samverka på bästa sätt. Kunnandet inom detta område är begränsat hos både redare, varv och tillverkare.

**Alternativa drivkällor;** Segel för framdrift kan ge stora besparingar. Ett fartyg kan drivas med endast vindkraft, möjlig besparing styrs främst av vilken hastighet transporten skall ske med respektive vilken acceptans man har för förseningar.

De system som hittills har utvecklats är tänkta som ett tillskott till det normala maskineriet. Besparingen är kraftigt beroende av operationsområdet, i Nordatlanten finns det i snitt 5 ggr mer vindenergi än i tropiska områden. I ett examensarbete från Chalmers (Johansson och Kjellberg 2007) beräknades besparingen i Nordatlantisk fart på årsbasis till ca 2 kW motoreffekt/m<sup>2</sup> segel för ett system med fasta vingsegel. För det studerade tankfartyget skulle 6 vingsegel med vardera 100 m<sup>2</sup> segelyta ge en besparing på 1200 kW (ca 5.5 ton bränsle/dygn), motsvarande ca 15 % av motoreffekten vid en medelfart på 14 knop. För en rutt mellan Europa och södra Sydamerika blev besparingen ca 1/3 av den Nordatlantiska ruten.

Besparingspotentialen för solkraft är direkt proportionell mot tillgänglig yta för placering av solceller. Med dagens solcellsteknik blir bidraget endast någon enstaka procent. Om man på ett kusttankfartyg kan installera 1000 m<sup>2</sup> solceller (halva däcksytan) skulle dessa ge en maxeffekt på ca 120 kW. Energiproduktionen under ett år blir ca 100000 kWh, motsvarande ca 20 tons bränsleförbrukning. Den totala bränsleförbrukningen för ett sådant fartyg under ett år är i storleksordningen 3000 ton.

Den möjliga besparingen av vågkraft är mycket osäker. De försök som gjorts har alla varit med mindre båtar, och en uppskalning av resultaten är inte möjlig. Fortfarande finns också många praktiska problem att lösa. Det finns dock en stor potential, energimängden i de vågsystem ett fartyg möter är stor.

## **Byggnation**

Byggnationsfasen behandlas inte i denna rapport.

## **Drift**

**Fartygets tekniska status;** För att få fartyget att konsumera minsta möjliga energi krävs att alla system ombord är i gott skick. De större delarna är:

- **Framdriftsmaskineri;** Statusen är oftast väl kontrollerad och jämförs med referensvärden från tillverkare mm, och inga stora vinster kan förväntas. Ett antal möjliga optimeringsfaktorer som bedöms ha stor potential men vara begränsat kända berörs under optimerad drift nedan.
- **Hjälpmaskineri, kringsystem;** I väsentliga delar samma som för framdriftsmaskineri
- **Skrov och propeller;** Mekaniska skador på skrov och propeller detekteras oftast snabbt. Den faktor som påverkar bränsleförbrukningen mest är dock skrovligheten. Även ett nymålat skrov har normalt 6-10 % större motstånd än ett helt slätt skrov, och med tiden ökar skrovligheten och motståndstillägget, ofta med mer än 1 % /månad i varma vatten. Att ha kontroll på skrov- och propellerstatus är därför en mycket viktig faktor. Voulvolis et al. (2002) uppskattade att bränsleförbrukningen ökar med 6 % för varje 100 mikrometer av tillväxt som förekommer över hela undervattensroppen.
- **Roder;** Fartyg körs större delen av tiden med autopilotssystem inkopplat. En felaktigt justerad autopilot kan öka bränsleförbrukningen med 2-4 %. Autopiloten är ett viktigt instrument på ett fartyg som har en stor påverkan på fartygets drift och bränsleförbrukning. Autopilotens uppgift på fartyget är att med små rodervinklar motverka krafterna utifrån så att fartyget stannar på sin förinställda kurs. På så sätt undviks justeringar som ökar fartygets motstånd och, följaktligen, energianvändningen (EU, 2012 och Cut et al., 2004). En ny autopilot, med modernare styralgoritmer, kan ofta minska bränsleförbrukningen med 0,4 – 2,5 % jämfört med en 20 år gammal konstruktion (Buhaug et al., 2009).

**Optimerad drift;** Vikten av låg fart berörs på annan plats i rapporten. Det kan dock förtjäna att repetera att bränsleförbrukningen ökar med hastigheten i kvadrat eller mer. Ett typiskt kusttankfartyg som på en tur från Göteborg till Nynäshamn ökar farten från 13 till 13,5 knop sparar 90 minuter (3,7 % på en 37 timmars resa) med ökar samtidigt bränsleförbrukningen med 1,7 ton (7,8 %, ökning från 21,7 till 23,4 ton).

Optimering av drift innebär också att, med en given fart eller accepterad tidsåtgång för en resa, köra fartyget på bästa sätt. Här ingår bland annat:

- **Ruttoptimering;** Planering av resan utgående från kända parametrar och med hänsyn tagen till vädersituation, trafik i området, säkerhetsaspekter mm.
- **Framdriftsmaskineri;** Ett antal parametrar går att ändra ombord, till exempel:
  - Att sänka kylvattentemperaturen (på lågtemperatursidan) med 10 grader ger t.ex. en bränslebesparing på 0,5-1 %. Detta är möjligt i nordliga farvatten (normalt har man 36 grader i LT-systemet) men görs normalt sett inte, termostater mm är inställda på 36 grader "av gammal vana".
  - En frekvent (eller automatiserad) optimering av balansen mellan förbränningstryck i motorns cylindrar kan ge 1-2 % besparing, men ger merarbete och extra kostnader.

Med en kontinuerlig uppföljning av driftdata finns möjligheten att optimera ett antal av dessa parametrar.

- **Hjälpmaskineri, kringssystem;** Här gäller det framförallt att spara elektricitet. Stora konsumenter är som nämnts tidigare pumpar och fläktar i maskinrummet, som ofta går med 2-5 gånger högre effekt än vad som behövs. Även normalt hushållande avseende belysning, ventilation i hotelldelen mm kan ge stora besparingar utan någon kostnad. Byte till lågenergilampor ger också stora besparingar, ett LED-lysrör minskar förbrukningen till 1/3 jämfört med vanliga lysrör. En beräkning för ett kusttankfartyg visar att en besparing på upp till 80000 kWh/år kan åstadkommas bara genom att byta ut alla lysrör ombord, ca 600 st.
- **Optimerat trim;** Optimalt trim är då fartygets undervattenskropp med hjälp av fartygets ballasttankar har anpassats så att det möter minsta möjliga vattenmotstånd när det gör fart genom vattnet. Det optimala trimmet är inte bara specifikt för varje fartyg utan varierar även för varje resa. Det påverkas av fartygets aktuella displacement, farten fartyget håller under en resa och vattendjupet (Hansen och Freund, 2010). Optimering av trim kan ge stora energivinster, värden på 5-9 % nämns ofta. Vad man då bortser ifrån är att fartyget för att kunna operera vid det optimala trimmet behöver byggas mycket starkare, och tyngre, för att kunna lastas på det optimala sättet. Buhaug et al. (2009), uppskattar den möjliga energibesparingen med denna metod till 0,1-1 %) och specifika fall har pekat på potentialer på strax under 9 % (Hansen och Freund, 2010).
- **Ballast-optimering;** Ballast-optimering betyder att endast den mängd ballast som behövs för fartygets säkra framfart används. En mindre mängd ballast minskar fartygets displacement och därmed bränsleförbrukningen. Det finns idag inga effektiva hjälpmedel för att optimera ballastmängden. En bedömning görs ombord och är en avvägning mellan säkerheten för fartyget och dess besättning och den potentiella bränslebesparing som finns. Den potentiella besparingen av ballast-optimering bedöms att ligga mellan 0,1-1 % av den totala bränsleförbrukningen (Henningsen, 2000).
- **Framdrivningsarrangemang;** Det propulsiva arrangemanget är normalt optimerat för en viss driftkondition. Beroende på utförande förändras effektiviteten ibland drastiskt när man avviker från denna driftpunkt, till exempel vid "slow steaming". Många fartyg, speciellt i närsjöfart, har till exempel ett system där huvudmaskinen via en växel driver en ställbar propeller med ett fast varvtal. Till växeln är också en generator kopplad som ger elektricitet till fartyget. För att sänka farten minskar man propellerns stigning. I detta läge blir propellern mindre effektiv, och bränsleförbrukningen minskar inte i den utsträckning man skulle förvänta sig.

I fallstudien som beskrivs under logistiska åtgärder i denna rapport studerades bränsleförbrukningen för ett typiskt fartyg, designat för en fart på 14 knop (Johnson

och Styhre, 2013). Det visar sig att detta fartyg ökar sin bränsleförbrukning per seglad sträcka vid en fart under 10 knop. Vid den hastighet man normalt håller, 11-13 knop, konsumerar fartyget ca 15 % mer bränsle (ca 2 ton/dygn extra) än om det körts med ett lägre varvtal och en optimalt inställd propeller. Det finns skäl att tro att ett stort antal fartyg opereras på liknande sätt. Tekniska lösningar för att åstadkomma besparingen, eller snarare undvika överkonsumtionen, finns. Med ett sådant system skulle man också kunna sänka farten ytterligare i många fall med ytterligare besparing som följd.

- **Driftnalys och kunskapsuppbyggande;** Många av de nämnda besparingarna är svåra att kvantifiera. För att möjliggöra ett systematiskt arbete krävs att ett antal huvudparametrar loggas som stöd för analyser och beslut om åtgärder. Med en automatiserad loggning av driftdata kan operatören också få en "early warning" om att något håller på att hända med fartyget.

## 2.2 Diskussion – behov av framtida forskning

Det pågår forskning och utveckling inom de flesta "traditionella" tekniska områdena inom sjöfarten, såsom effektoptimering, kavitation, sjöegenskaper, motorteknik mm. Att i denna rapport rangordna och peka ut eftersatta områden är inte möjligt.

De områden vi identifierat där det finns en brist på kunnande är främst

- Fartygs energisystem, det vill säga en systemanalys av maskinsystem med mera ombord för att åstadkomma energioptimala lösningar. Denna typ av forskning bedrivs på Chalmers men behöver studeras vidare.
- Fartygs operativa profil. För att kunna optimera fartygsdriften krävs ett kunnande om hur fartyg opereras i daglig drift. Denna kunskap saknas både hos forskarvärlden och i de flesta rederier. Detta gör det svårt att ge råd om förbättring av operationen. För att öka kunnandet behövs en utveckling av ombordsystem för loggning och analys av driftdata, kopplat till det kunnande inom hydromekanik, motorteknik mm som redan existerar.

Den stora identifierade bristen är dock att befintlig kunskap inte tillämpas i design och drift av fartyg. Här krävs insatser för att förbättra medvetandet och kunnandet om möjliga lösningar. Beslutsfattare inom många rederier behöver i vissa fall få en bättre beställarkompetens som gör att de kan fatta beslut för en bättre energieffektivitet i samband med nybyggen och ombyggnationer liksom under fartygets drift. Olika sätt att åstadkomma detta skulle kunna vara

- Utbildning/information/kursverksamhet där forskare, utvecklare och "konsumenter", främst rederirepresentanter, utbyter erfarenheter och informerar om tillgänglig teknik och möjliga lösningar. Viktigt är att formen på denna information är riktig, se till exempel diskussioner i Vinnova (2005).

- Konsultstöd till rederier i samband med planering/start av större (eller mindre) utvecklingsprojekt, liknande de konsultcheckar<sup>2</sup> som länsstyrelserna kan bidra med.
- Demonstrationsprojekt där ny teknik kan introduceras på något/några fartyg för att testa och visa upp ny teknik.

---

<sup>2</sup> Konsultcheckar kan beviljas med en stödandel upp till max 50 procent av konsultkostnaden. Konsultcheck kan uppgå till maximalt 150.000 kr per investeringsprojekt och får enligt förordningen 2000:283 om regionalt bidrag till företagsutveckling lämnas i hela länet. Konsulten skall vara oberoende och extern. Stöd ges endast till mjuka investeringar såsom marknadsföring, produktutveckling, kompetensutveckling, organisationsutveckling, affärsutveckling, vissa juridiska tjänster.

### 3 Åtgärder inom logistikområdet

Sjöfartslogistik handlar om fysisk förflyttning av fartyg för transport av gods mellan olika hamnar. Ett effektivt logistiksystem bygger på god kunskap om sjöfartens tekniska och marknadsmässiga förutsättningar. Logistiska aspekter för sjöfarten kan på traditionellt vis delas in efter planeringshorisonten: strategisk, taktisk och operativ (Christiansen et al., 2007). Bland de strategiska långsiktiga besluten ingår val av marknad och godssegment, sammansättning av flottan, utformning av transportnätverket med hamnar och rutter. Taktisk planering, som har en kortare planeringshorisont än de strategiska besluten innehåller justering av fartygsflottans storlek och sammansättning, samt hur de opererar. Här tas kundkraven i beaktande, till exempel frekvens, transporttid, pris, etc. som omsätts i en grov planering av fartygens geografiska täckning och önskvärd fart. Den kortsiktiga operativa planeringen justeras kontinuerligt, i synnerhet för fartyg som opererar på spotmarknaden där ständigt nya uppdrag kommer in. Operativa beslut är till exempel godkännande och inplanering av nya uppdrag, optimal fart för att komma punktligt till hamn men utan risk för förseningar, ruttplanering utifrån väderförhållanden och lastplanering för att få ett högt kapacitetsutnyttjande, god stabilitet och möjliggöra effektiv godshantering.

Fartygsoperatören och hamnagenten har viktiga uppgifter för den operativa planeringen av fartygens rörelser. Fartygsoperatören roll är att planera resan för rederiet och hålla en daglig kommunikation med hamn och skeppsmäklare för att ge instruktioner och få information. Hamnagenten är utnämnd av rederiet (eller ibland även av lastägare i t.ex. industrihamnar) för att hantera informationen kring transporten och godset i hamn för att fartygsanläppet skall fungera praktiskt. Exempel på arbetsuppgifter är fartygsanmälan, beställa lotsar, förmedla kontakt med stuverier, kommunicera med leverantörer, kontakta lokala medmyndigheter, etc. Hamnagenten bör ha kontinuerlig kontakt med fartygsoperatören och besättningen ombord om situationen i hamn för att undvika väntetider eller förseningar.

#### 3.1 State of the Art

Logistiska åtgärder för energieffektivisering är kopplade till fartygsrörelser och fart. Minskad fart till sjöss, så kallad ”slow steaming”, har en mycket stor påverkan på bränsleförbrukningen, då även små fartminskningar kan leda till stora besparingar. Dock innebär en lägre fart att fler fartyg måste sättas in eller att tiden i hamn behöver reduceras för att bibehålla ett konstant transportarbete. Vidare är minskad liggtid för fartyget i hamn är en mycket viktig och kostnadseffektiv åtgärd liksom ett ökat kapacitetsutnyttjande av fartygen. Ruttplanering är en ytterligare åtgärd som beskrivs nedan. Dock har ruttplanering en större potential för oceangående transporter än för kortsjöfarten.

För att genomföra de logistiska åtgärderna behövs oftast stödjande informationssystem och god kommunikation, t.ex. väderdata för ruttplanering och daglig kontakt med skeppsmäklare och hamnpersonal för att få uppdaterad information om transportuppdrag och situationen i hamn. Därutöver krävs även god teknisk kunskap bland besättning och

landpersonal i rederiet för att operera fartyget på ett energieffektivt sätt ur ett logistiskt perspektiv.

### 3.1.1 Åtgärder

Åtgärder som belyses i detta stycke är relaterat till hamnaktiviteter, tiden till sjöss och kapacitetsutnyttjandet av fartygen.

#### **”Slow steaming”**

”Slow steaming” är ett begrepp som används när fartyget drar ner på farten vilket leder till en lägre bränsleförbrukning. Det minskade transportbehovet under hösten 2008 på grund av den finansiella krisen och den följande lågkonjunkturen i kombination med leveranser av många nya stora fartyg, resulterade i en stor överkapacitet i världsfloTTan (UNCTAD, 2009). Som en konsekvens av detta började rederierna minska farten, så kallad ”slow steaming” för att binda upp mer fartygskapacitet och för att minska kostnaderna (Nguyen, 2009; Styhre, 2010).

”Slow steaming” är ingen ny företeelse utan var mycket vanligt förekommande under och efter oljekrisen på 70-talet (Chrzanowski, 1980; Ronen, 1982). Eftersom relationen i fartygsfart och bränslekonsumention per tidsenhet är kubisk medför en liten minskning i fart en relativt stor påverkan på bunkerförbrukningen. Förenklat brukar man säga att kraften från fartygets maskin kan beskrivas som en tredje gradens potensfunktion av fartygets hastighet, så att när fartyget minskar hastigheten med 10 % så reduceras kraften från maskin med 27 % (Faber et al., 2012). Om man antar ett konstant transportarbete så kan reducerad fart åstadkomma genom en utökning i antal fartyg i flottan eller genom förkortad liggtid i hamn.

”Slow steaming” brukar räknas som den åtgärd för sjöfarten som har störst besparingspotential, men potentialen varierar kraftigt beroende på bland annat fart och sjöfartssegment. I extrema situationer kan 1 knop reduktion innebära 11 % i bunkerbesparing (Wärtsilä, 2008).

Upp till 30 % energibesparing vid konstant transportarbete är ofta realistiskt för enskilda fartyg beroende på förutsättningarna (EU, 2012).

Dock finns det tekniska begränsningar i hur långsamt ett fartyg kan opereras. Fartyg är byggda för att operera effektivast i designfart. För låg fart kan innebära högre föroreningshalter i avgaserna och ge upphov till design- och säkerhetsproblem. Vidare ger minskad fart endast minskad bunkerförbrukning ner till en viss punkt, som kan kallas den mest energieffektiva farten. Därefter ökar ofta konsumtionen per transporterad enhet igen (Cariou, 2011). Dock bedömer Faber et al. (2012) att de tekniska problemen som uppstår då man opererar fartyg i lägre farter än designfart, relativt lätt kan överbryggas med justeringar av befintliga motorer.

Fartygshastigheter följer normalt konjunkturen och bunkerpriset (Faber et al. 2012), och sänkt fart är främst en möjlighet för rederiet att sänka kostnader som får till följd att



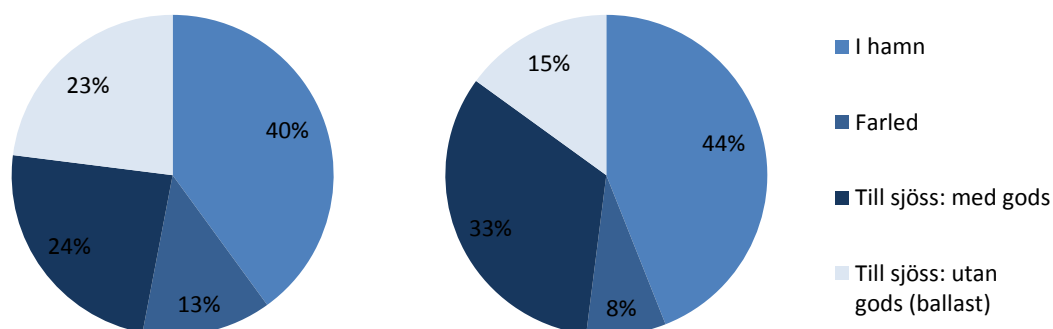
energianvändningen, och följaktligen CO<sub>2</sub>-utsläppen, minskar. Rederiernas vinstmaximering innebär i och med detta en risk för att farten kommer att öka igen, och därmed energianvändningen, i bättre ekonomiska tider (Lindstad, et al. (2011). Förslag på en bibehållen låg fart i världsfloTTan för att minska CO<sub>2</sub>-utsläppen är till exempel ökad bränsleskatt (Cariou, 2011; Corbett et al., 2009) och fartrestriktioner för fartygen (Faber et al., 2012; Lindsted et al., 2011).

### **Minskad liggtime i hamn**

En åtgärd med stor potential för att öka energieffektiviteten är reducerad fart till sjöss genom en kortare liggtime i hamn. Faber et al. (2009) har uppskattat att upp till 10 % förbättring är möjlig, och Bazari och Longva (2011) har påvisat att ungefär 10 - 20 % är möjligt att uppnå beroende på fartygstyp och storlek. Vidare menar Eide et al. (2011) att ökad hamneffektivitet är bland de åtgärder som har störst potential och även en låg ekonomisk insats med en negativ åtgärds kostnad på -60 USD/ton, se Figur 2.

Liggtime i hamn kan minskas på två sätt: genom effektivare lastning och lossning (dvs. produktivitetshöjning), eller genom minskning av väntetider i hamn innan, under och efter att godset lossas eller lastas. Kvantitativ forskning kring produktivitetshöjande åtgärder för att minska liggtime i de stora containerhamnarna är omfattande (se t.ex. Paixão och Marlow, 2003; Steenken et al., 2004). Dock bedrivs betydligt färre forskningsprojekt om mindre hamnar av den typen vi har i Sverige. Vidare har inga studier funnits om hur väntetider kan reduceras i dessa mindre hamnar.

För att belysa möjligheter att minska liggtime i hamn genomfördes en mindre fallstudie av ett rederi som opererar bulkfartyg i Nordsjön och Östersjön (se vidare Johnson och Styhre, 2013). Studien av två fartyg visar att ungefär 40 % av den totala tiden på årsbasis tillbringas i hamn, se Figur 7. Tas även hänsyn till tid för lots och farledspassage tillbringas fartygen mer än hälften av tiden i eller i närhet av hamnen.



**Figur 7. Driftsprofiler för två bulkfartyg som opererar i Östersjön och Nordsjön.**

I studien undersöktes hur tiden utnyttjades i hamn. Resultatet visar att cirka 50 % av totala tiden går till annat än godshantering. Tabell 2 visar orsaker till väntan för de två fartygen. Kategorin ”Övrigt” omfattar till exempel avsaknad av lediga kajer eller väntan på lastpapper eller annan administration.

**Tabell 2. Orsaker till väntan i hamn (preliminära resultat)**

| Orsak till väntan              | Fartyg A                                  |                           | Fartyg B                                  |                           |
|--------------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------|
|                                | Genomsnittlig väntetid per anlop (timmar) | % av total liggtid i hamn | Genomsnittlig väntetid per anlop (timmar) | % av total liggtid i hamn |
| För tidig ankomst              | 7,6                                       | 22,2 %                    | 11,8                                      | 29,6 %                    |
| Hamnen stängd                  | 5,9                                       | 17,1 %                    | 5,4                                       | 13,5 %                    |
| Väntan efter avslutad lastning | 1,1                                       | 3,3 %                     | 2,9                                       | 7,4 %                     |
| Väntan på lots                 | 0,7                                       | 2,0 %                     | 0,1                                       | 0,2 %                     |
| Övrigt                         | 1,7                                       | 5,0 %                     | 1,0                                       | 2,6 %                     |
| Total                          | 17,0                                      | 49,6 %                    | 21,2                                      | 53,3 %                    |

Tabell 2 ovan visar att fartygen som bulkrederiet opererar i genomsnitt anländer 7,6 respektive 11,8 timmar för tidigt, det vill säga innan lastning/lossnings-operationen kan starta. Tid som i större utsträckning skulle kunna användas för att med långsammare fart anlöpa till hamnen mer punktlig (”just-in-time”). Viss extra tid är nödvändigt för att förbereda förtyget (t.ex. öppna lastluckor) och dokumentation, men det finns en stor möjlighet att minska farten till sjöss för att minska väntetiden.

Dock finns det operativa skäl att anlöpa med extra tid, då försenad ankomst kan få stora konsekvenser. Till exempel kan det medföra förseningsavgifter för väntande stuveriarbetare, konsekvensförseningar inför nästa uppdrag, eller flera dagar av väntan på ny last vid en missad ”laycan”<sup>3</sup> för lastning/lossning. Det senare förklarades av en anställd på rederiet: ”om ett fartyg har en ”laycan” och det är dåligt väder eller is, det bästa alternativet är då att fortsätta i högre fart än vad som annars skulle vara nödvändigt. En besparing på 1 ton bunkerolja motsvarar 750 dollar vilket är låg prioritet ifall ett uppdrag står på spel. Ifall jag missar transporten förlorar jag flera dagar innan jag kan få nästa uppdrag och tjäna pengar. Om denna väntan är på tre dagar så har jag förlorat 3x4000 dollar eller 12 000 dollar, att jämföras med 750 dollar”.

<sup>3</sup> Den tidsram inom vilken befraktaren enligt ett fraktavtal har rätt att disponera fartyget för lastning och lossning

En annan viktig faktor som förlänger hamntiden är hamnens öppettider. Hamnarna i svenska vatten har sällan öppet på nätter och kvällen, vilket innebär att om fartyget inte hinner lastas klar under dagen så behöver den stanna över natten innan den är klar för avgång. En del hamnar jobbar övertid, men den är frivillig och kan oftast inte planeras i förväg då den beslutas dag för dag.

Kvantitativ data i kombination med intervjuer gav att mellan 1 och 4 timmar av tiden i hamnen torde kunna reduceras enbart genom att minska väntetider (produktivitetshöjande åtgärder är ej beaktade). För de två fartygen skulle detta innebära en minskning i den totala energiåtgången på 2 -8 % (Johnson och Styhre, 2013). Detta är något lägre än vad som redovisats i litteraturen (Bazari och Longva, 2011; Eide et al., 2011; Faber et al., 2009). Den främsta orsaken är troligtvis att fartygen i studien redan i stor utsträckning tillämpar ”slow steaming”. Således borde besparingspotentialen vara betydligt högre ifall reduktionen i fart beräknades från designfart (cirka 14 knop för de specifika fartygen) ner till den mest energieffektiva farten (cirka 10 knop). I dagsläget är farten i majoriteten av transportererna 11-13 knop.

## **Ruttplanering**

En åtgärd för energieffektivisering är ruttplanering. Det innebär att simuleringsverktyg används för att etablera effektiva transportrutter för fartygen (Christiansen et al., 2004). På en operationell nivå kan även rederierna tillämpa ”weather routing” för att möjliggöra en anpassning av ruten till rådande väderförhållanden.

”Weather routing” är ett begrepp som används inom sjöfarten då sjöfartsrutter justeras utifrån väderförhållanden. Faktorer som spelar en viktig roll är vind, ström, sjö och vattendjup (SMHI, 2012). 1983 tog IMO initiativ till ”weather routing”, och då ur en säkerhetssynpunkt, eftersom man kan minska risken för lastförskjutningar om en kraftig sjögång kan undvikas i större utsträckning (IMO, 1983). Idag används systemen också för att spara pengar, tid, bränsle och ge en ökad komfort för passagerare. Moderna väderplaneringssystem kombinerar väderprognoser med fartygsinformation för att planera rutter för ett specifikt fartyg (Henningsen, 2000).

IMO har uppskattat de potentiella besparingarna av ruttplanering utifrån väderdata till mellan 0,1 och 4 % i bränsle (Henningsen, 2000; EU, 2012). Rederiet Wallenius Wilhelmsen Logistics, WWL, som främst opererar stora RoRo-fartyg på transoceaniska rutter anger att bränsleförbrukningen under optimala förhållanden kan minska med 5 % genom väderplaneringsverktyg (SMHI, 2012). Besparingspotentialen för kortsjöfarten inom Europa torde dock vara lägre, eftersom potentialen är större för längre rutter där fartyget är utsatt för väder under lägre tider och där det finns fler alternativa rutter (Trafikverket, 2012b). Potentialen är också stor för fartyg som trafikerar vatten där besättningen inte har kännedom om eller tidigare erfarenheter av vädersituationer, samt för fartyg som trafikerar områden med instabilt väder (Buhaug et al., 2009).

## Ökat kapacitetsutnyttjandet av fartygen

Ett annat tillvägagångssätt att minska bränsleförbrukningen per tonkilometer är att öka kapacitetsutnyttjandet av fartygen. Kapacitetsutnyttjande kan definieras som relationen mellan transporterat gods (faktiskt output) och tillgänglig transportkapacitet (potentiell output) under en viss tid och uttrycks ofta med en procentsats (Styhre, 2010).

Det är svårt att nå ett högt kapacitetsutnyttjande i sjöfarten på grund av säsongvariationer i efterfråga, obalanser i export-/importvolymerna och sjöfartens stora känslighet för konjunkturfluktuationer (Fusillo, 2004; Haralambides, 2004), kundkrav på hög avgångsfrekvens (Mangan et al., 2002; Higginson och Dumitrascu, 2007) och en tendens att rederierna opererar överstora fartyg i förhållande till tillgängligt gods (Styhre och Lumsden, 2007; Wu, 2009).

Ett högre kapacitetsutnyttjande kan nås genom att transportera mer gods per avgång och genom att minimera resorna i ballast där fartyget kör tomt mellan en lossningshamn och en lastningshamn för att ompositionera sig till det stället där godset finns tillgängligt<sup>4</sup>. Ballasttransporter är mycket vanligt inom främst tank- och bulk-segmentet på grund av varornas (t.ex. olja och järnmalm) typiska produktions- och konsumtionsmönster. Exempel på olika typer av tillvägagångssätt för att öka kapacitetsutnyttjandet i kortsjöfarten beskrivs av Styhre (2010): stand-by gods, överbokning, prisdifferentiering, bättre kommunikation med hamnen, justering av tidtabell, utveckling av en passande fartygsdesign för godset, förbättrad lastningsplan och strategiska allianser med andra rederier.

## 3.2 Diskussion – behov av framtida forskning

En ökad forskningsinsats kring logistiska aspekter kring sjöfarten är ett mycket viktigt inslag för att uppnå en mer energieffektiv sjöfart. Det finns en rad områden kopplat till logistik där det finns behov för forskning.

Hamnens roll mycket viktig för energieffektivare sjötransporter. Ökad produktivitet i hamnverksamheten och minskade väntetider skulle få stora positiva effekter både i effektivisering i stort och i energiåtgång. Därmed skulle sjöfarten både stärka sin position gentemot landbaserade transporter och minska sin miljöpåverkan. Det borde finnas stor potential i förhållande till insats genom bättre kommunikation, samordning och information mellan involverade aktörer. Det skulle vara värdefullt att närmare undersöka hamnarnas varierande förutsättningar och möjlighet att minimera liggtiderna vid kaj för de olika fartygstyperna. Produktivitetshöjande åtgärder och möjligheter att minska väntetider i hamn, genom bland annat längre öppettider, är områden som skulle behöva belysas mer.

Den enskilt viktigaste åtgärden för energieffektivisering av sjöfarten är ”slow steaming”. Rederierna har minskat farten under senare år vilket har fått en stor positiv påverkan på

---

<sup>4</sup> Ballast-transporter för de två studerade bulkfartygen visas i Figur 8 ovan, vilka uppgår till 15 % respektive 23 % av den totala transporttiden för de två fartygen på årsbasis.

bunkerförbrukningen. Dock är denna åtgärd inte främst en energibesparingsåtgärd utan följderna av en önskan att minska kostnaderna i en lågkonjunktur med mindre volymer, låga fraktrater och även högt oljepris. Det innebär att det finns risk att farten ökas igen vid nästa högkonjunktur. Det finns en rad utforskade forskningsområden kopplat till detta:

- Undersökning av ekonomiska styrmedel i samverkan med logistiska aspekter av fartminskningen skulle ge en bättre kunskap om möjligheterna att bibehålla en lägre bunkerkonsumtion även i framtiden.
- Kombination av tekniska och logistiska aspekter för att öka kunskapen om hur fartygen påverkas av att operera under designfart under långa perioder.
- Systemanalys av relationer mellan fartygsflottans storlek och utformning då farten sänks.

Ytterligare ett intressant område är undersökning av energieffektivitetspotentialen för implementering av kostnadseffektiva tekniska och logistiska åtgärder för olika fartygssegment vilket är ett forskningsområde som bland annat har identifierats av Eide et al. (2009).

Slutligen bör logistiska förutsättningar för energibesparing undersökas från ett systemperspektiv. Det är många åtgärder som påverkar varandra och därmed den samlade förbättringspotentialen. Få studier beskriver hur fartyget och dess logistiksystem och omgivning interagerar. I detta arbete bör även undersökas hur ökat kapacitetsutnyttjande kan nås för de olika fartygssegmenten och ur det kan bidra till en energieffektivare svensk sjöfart.

## 4 Åtgärder inom områdena kommunikation och beteende

Detta kapitel beskriver ett antal åtgärder där en effektiv kommunikation och ett förändrat beteende kan anses vara en nyckelkomponent för en framgångsrik implementation av mer energieffektiva åtgärder för sjöfarten. Operativa åtgärder inom områdena kommunikation och beteende får effekt i kombination med logistiska åtgärder. Genom körsätt kan också beteendet påverka bränsleförbrukningen direkt. Vanligt inom sjöfarten är att fartygen håller hög fart under sjöresorna för att sedan ligga överksamma i, eller i närheten av, lastningshamnen och vänta på lasten (Buhaug et al., 2009). Detta ger inte bara ökade utsläpp under sjöresan utan också större miljöproblem lokalt för hamnområden där fartyget ligger i väntan på lasten. En fungerande kommunikationen skall ses som en förutsättning för en framgångsrik tillämpning av övriga åtgärder.

Åtgärder inom denna kategori kan även omfatta beslutsfattande som rör energianvändning under driften, till exempel ett beslut att optimera maskinerna för ett specifikt driftsfall. I dylika fall kan beteende anses koppla direkt till teknikåtgärder, i den här studien fokuseras dock kopplingar till logistikåtgärder. Mer precist beskrivs åtgärder relaterat till risktagande och incitament, energiledningssystem, tid till hamn och tid i hamn.

### 4.1 State of the Art

Operativa åtgärder kan omfatta åtgärder av vitt skilda karaktärer. Följande stycken gör en ”state-of-the-art”-beskrivning av operativa åtgärder inom områdena kommunikation och beteende. Som tidigare konstaterats är åtgärderna inom dessa områden avgörande för framgången av typiskt logistiska åtgärder. Ofta kan åtgärder klassificeras under mer än en rubrik, till exempel kan en ”just-in-time”-strategi vara en typisk logistisk åtgärd men omöjlig att genomföra utan en effektiv kommunikation.

En åtgärd kan eventuellt betecknas som en kommunikationsåtgärd om ett stort antal aktörer skall hantera information för att en logistisk eller teknisk åtgärd skall genomföras. En teknisk eller logistisk åtgärd kan tillskrivas området beteende om den kan styras till att vara mer eller mindre effektiv beroende på en mänsklig handling och därför i stor utsträckning beroende på inblandade människors erfarenhet, engagemang och utbildning och så vidare. En viktig parameter för åtgärder som kopplas till beteende är också förekomsten av incitament. Det finns även en koppling till området marknad och avtal, vilket utgör incitamentsstrukturer för olika aktörer inom branschen.

Genom litteraturstudier, fokusgrupper och observationsstudier har flera åtgärder för energieffektivisering identifierats, som till stor del är beroende av en fungerande kommunikation och beteende som främjar bränslebesparingar.

Studien med fokusgruppen resulterade i ett antal centrala begrepp. Kommunikation, planering, flexibilitet, avtal och ett antal operativa åtgärder nämndes av fokusgruppen som

viktiga åtgärder. De områden som bedömdes som möjliga att påverka var kommunikation, information mellan aktörer och utformning av skrov, vilket är en tydlig indikation på att visar att det finns stor potential inom dessa området

Kommunikation valdes av fokusgruppen som en av de viktiga åtgärderna att förbättra. En förbättrad kommunikation skulle troligtvis ha viss påverkan på ett flertal av de andra problemområdena som pekades ut av fokusgruppen. Kommunikationens koppling till minskad tid i hamn och energieffektiva hamnanlöp framkom tydligt. Ett fartygsanlöp innebär att mycket information behöver skickas, då det finns många aktörer så som stuveri, skeppsmäklare, lots, VTS, terminal, båtmän, bogserbåtar, servicetjänster och tull som skall ha information om fartyget, lasten eller besättningen. En kartläggning av informationsbehov för hamnar i Europa inom EU-projektet MarNIS visade att varje anlöp förde med sig runt 30 informationsöverföringar och att flertalet av dokumenten inte var standardiserade utan var specifika för enskilda hamnar eller länder (MarNIS, 2006). För att optimera ett fartygsanlöp måste kommunikation vara enkel, bred och effektiv. Med dagens teknik finns det goda möjligheter för dessa aktörer att upprätthålla en god kommunikation på ett enkelt och smidigt sätt. Arbete pågår även för en ökad standardisering och utveckling av elektroniska gemensamma system för flera aktörer att minska antalet tillfällen då information skickas.

#### **4.1.1 Åtgärder**

I följande stycken beskrivs åtgärder relaterat till risker och incitament, energiledningssystem, tid till hamn och tid i hamn.

##### ***Risker och incitament***

I fokusgruppens diskussioner poängterades ordet risktagande, vilket eventuellt skulle kunna tillskrivas en brist på risktagande. Säkerhetsmarginaler hos aktörerna är något som fokusgruppen har talat om som ett potentiellt problem och viljan att släppa sina egna säkerhetsmarginaler kan svikta när vinsten inte nödvändigtvis tillfaller den som gör uppoffringen utan endast kan ses ifrån ett systemperspektiv. En annan förklaring till att ordet frekvent använts skulle kunna vara den komplicerade riskspridningen inom sjöfarten. På grund av att det generellt inom sjöfarten är stora summor inblandade i en transport kan det finnas en allmän ovilja till ett ökat individuellt risktagande inom branschen.

Det finns fartyg där befälhavaren får en ekonomisk bonus baserad på hur ofta han tar hjälp av bogserbåtar vid hamnanlöp. Detta kan då leda till ett ökat risktagande. För rederiet kan detta incitament, om risktagandet blir för högt, få motsatt effekt på grund av de kostnader som uppstår av det ökade risktagandet. Det kan då bli dyrare än om man använt bogserbåtar mer frekvent.

Service nämndes av fokusgruppen som ett potentiellt område där förbättring kan göras och då främst i form av så kallad ”good will”, det vill säga då man gör en ansträngning som för stunden inte gynnar den som gör ansträngningen men som längre fram kan ges tillbaka som någon form av gentjänst eller belöning ifrån systemet. Det främsta problemet som nämndes av fokusgruppen i samband med detta symboliserades av uttrycket ”what’s in it

for me?”. Vilket innebär att ser man ingen personlig vinst så gör man heller inte gärna någon ansträngning för att avhjälpa ett problem.

”Feed-back” är viktigt för att det mitt uppe i en situation kan vara svårt att avgöra vad som kan göras bättre. Det kan också påverka arbetet med energieffektivitet då ”feed-back” kan fungera som ett incitament för personalen att göra små extra ansträngningar som tillsammans blir en stor besparing.

Mätsystem för bränsleförbrukning där den enskilde befälhavaren kan se sin bränsleförbrukning per nautisk mil, hastigheter, tankmätare och hur långt de kört kan öka energieffektiviteten (Trafikverket, 2012). System finns där informationen analyseras av en dator och visas på en display. Verktygen kan visa en översikt av flottan och hur mycket bränsle en enskild befälhavare förbrukar. I ett försök med mätutrustning på en av Styröbolagets fartyg påvisades skillnader i bränsleförbrukning för resor under liknande yttre förhållanden på upp till 40 % (Svensson, 2012). Kostnaden för att köpa och installera mätsystemet sparades av Styröbolaget in på sex månader.

### **På väg till hamnen**

En åtgärd som har identifierats som särskilt avhängig av en god kommunikation är punktliga anlöp (”just-in-time”-anlöp”) som beskrivs ovan under rubriken logistiska åtgärder. ”Just-in-time”-principen inom sjöfarten innebär främst att minimera väntetider för fartygen utanför hamn. För att minska väntetider för fartyget utanför hamn är det viktigt med en fungerande kommunikationen mellan lastägare och fartyg. Kommunikationen går sällan direkt emellan dessa utan passerar flera led. Ett exempel på en sådan kedja är från lastägare via terminal, hamnpersonal och agent till fartyg.

Fokusgruppen nämnde en princip som används av en del hamnar som kallas ”first come, first served” det vill säga det fartyg som är först på plats får gå till kaj först. Det bildas en typ av väntelista för fartygen som ligger till ankars utanför hamnen. Det kan då bli en form av kapplöpning mellan fartyg för att komma först till hamnen även om kajplatsen inte blir ledig på länge. Detta påverkar rederiernas planeringsmöjligheter negativt och främjar inte anammande av punktliga anlöp. I analysen av materialet från fokusgruppen framkom också att både åtgärder som syftar till förbättrad planering och ökad flexibilitet anses vara eftersträvarvärda.

I Göteborgs hamn finns ett projekt som kallas ”Gothenburg approach”. Där man samlat ”Vessel Traffic Service” (VTS), Lots och ”port control”<sup>5</sup> i samma lokaler vilket har förbättrat kommunikationen och ökat samarbetet mellan dessa aktörer. Det har lett till ett bättre informationsflöde jämfört med tidigare då de olika avdelningarna var geografiskt åtskilda. I följande stycken beskrivs bakgrund och resultat från observationsstudien som har gjorts på ”the Gothenburg approach”.

---

<sup>5</sup> ”Port Control” är benämningen på verksamheten för hamnens fartygsplanering



Fartygsanmälan skall göras 24 timmar innan fartygets ankomst till ”port control”. Därefter sker kommunikation mellan ”port control” och övriga aktörer i hamnen. En lotsbeställning skall göras senast fem timmar innan den planerade lotstiden och ändring kan göras fram till tre timmar innan, annars debiteras fartyget för ändringen. Ett fartyg som anlöper har kommunikation med VTS som ger information till fartyget om eventuella fartygsmöten, hinder eller känsliga passager. VTS tar även emot den information som fartyget skall lämna vid anlop. I kommunikationskedjan finns även en så kallad agent. Det är agenten som gör fartygsanmälan, beställer lotsar, båtmän, proviant, färskvatten, bunker, avfallshantering och även sköter kontakt med myndigheter. Agenten är, som det framkom i fokusgruppen, spindeln i nätet med god lokal kännedom. Terminalen sköter turordningen och fördelning av kajplatser, kranplacering, lastnings och lossningstider. När något i kommunikationsledet blir fel kan det leda till förseningar och liggetid utanför hamn.

Fartygens avgång kan påverka om ett ankommande fartyg blir liggande utanför för att vänta. Även om fartyget är redo för avgång kanske inte nästa lastningshamn finns tillgänglig för fartyget och då har fartyget ingen vinning i att gå från kaj och liggetiden till kaj går över planerad tid, vilket leder till att ankommande fartyg blir liggande och får vänta. Andra faktorer så som is (fartygen kommer inte till kaj på grund av isen) och tillgång till bogserbåtar och lots kan leda till försening. Exempel är om lotsbeställning inte har gjorts i tid eller ingen tillgänglig lots är tillräckligt erfaren för att kunna ta lotsningen, blåser det mycket kräver regelverk att bogserbåt skall användas och då måste de finnas tillgängliga.

Göteborgs hamn har angivit några faktorer som de anser är viktiga för ett bra anlop, dessa är samordning mellan olika aktörer som är involverade i ett fartygsanlop, vikten av att få rätt information i rätt tid för att informera alla berörda, bra samarbete och integrerade system. Det här speglar de aspekter som fokusgruppen ansåg viktiga för ett lyckat anlop. Eftersom både Göteborgs hamn och fokusgruppen påpekat vikten av dessa faktorer kan det tolkas som att det finns förbättringar att genomföra i detta område.

Att hamnen får rätt information i rätt tid innebär att information om förseningar måste komma i god tid så åtgärder kan genomföras, samt att informationen som de får är rätt och enkel att tolka. Likaså måste fartygen få tydlig information i god tid tillbaka så de också hinner vidta åtgärder.

Regelbundna uppdateringar mellan hamn och fartyg om lägesituationer anses som en viktig faktor för att öka effektiviseringen. Elektroniska plattformar som fokusgruppen tog upp som en viktig punkt nämns även av hamnen som påpekar att det är viktigt med integrerat system där aktörerna kan se alla fartygsanlöpen, vilka tidpunkter, hur det ligger till i tidsplanen och eventuella ändringar skulle kunna vara ett bra alternativ för aktörer som är involverade. Ett problem med ett sådant system är konkurrensen mellan fartyg, agenter och andra aktörer, om det finns viktig information som olika aktörer inte vill dela med sig av, kan det innebära att ofullständig information sprids.

## **Tid i hamn**

Tiden ett fartyg spenderar i hamn påverkar den totala energieffektiviteten (Buhaug et al., 2009). Det finns en mängd intressenter i ett fartyg. Beroende på kontraktsförhållande kan

det vara till exempel fartygsägaren, befraktare, lastägare, lastmäklare, hamnmyndigheter och terminaler. Under tiden i hamn är det dessutom ett flertal andra aktörer som direkt eller indirekt kan komma att påverka tiden till kaj. Exempel på dessa aktörer kan vara lotsar, stuveriarbetare, bogserbåtar, bunkerleverantörer. En optimal lasthantering i hamn har uppskattats kunna minska energianvändningen med 1–5 % (Buhaug et al., 2009).

Fokusgruppen underströk hur viktigt det är med kommunikationen vid ett fartygsanlop för att det skall bli så energieffektivt som möjligt. En effekt av bristfällig kommunikation är en potentiell dominoeffekt som kan uppstå då ett fartyg blir sent vilket i sin tur påverkar nästa fartyg i kedjan. Ett elektroniskt system för att kunna dela information med alla inblandade togs upp som förslag till förbättring av informationsutbytet mellan aktörer vid ett hamnanlop. Exempel på sådana elektroniska system finns, dock är inte dessa system lika omfattande och tillgängligheten är inte lika stor som för de system man föreslog i fokusgruppen.

Fokusgruppen ansåg att det inte fanns många tydliga incitament för besättningen att vara klar tidigt med lossningen. Däremot kunde stuveriarbetarna ha incitament för en snabb lossning då de kan få sluta arbetet tidigare, med betalt, om de är klara innan utsatt tid. För de fartyg som har befälhavare med lotsdispenser till hamnen i fråga kan det finnas individuella vinster då man har möjlighet att gå från kaj direkt när lossningen är klar och är på så vis inte beroende av att lotsen har beställts eller kommer i tid. Befälhavaren vill ibland ha del i den besparingen som rederiet gör då han har en egen lotsdispens till en hamn. Det är viktigt med regelbundna uppdateringar mellan hamnen och fartyget om den aktuella lägesituationen och avgångstiden

## **Energiledningssystem**

Energi behövs inte bara för ett fartygs framfart utan även till en mängd andra system ombord. Besättningsutrymmena och fartygsbryggan behöver elektrisk energi vilket hjälpmaskinerna ombord förser dem med. Många fartyg har energikrävande elektriskt drivna bogpropellrar för att kunna flytta fartyget i sidled vid precisionsmanövrering som till exempel vid hamnanlop. De flesta fartyg har dessutom både diverse pumpar, fläktsystem och liknade som omsätter energi. Energianvändningen kan också skilja stort mellan olika fartyg beroende på vilken typ av last fartyget transporterar. Ett passagerarfartyg har stor energianvändning på grund av den stora hotelldelen. Andra fartyg har en last som kräver antingen kylning eller uppvärmning under sjöresan vilket kan kräva stora mängder energi. IMO har i en rapport listat ett antal åtgärder för att sänka energianvändningen genom energiledningssystem ombord och dessa är:

- Undvika onödig konsumtion av energi.
- Undvika parallell körning av elgeneratorer.
- Optimering av ångpanna (tanker).
- Optimering av bränsleseparatorn.
- Optimering av HVAC (Heating; Ventilation; Air Condition).
- Rengöring av värmeväxlare.

Motivering, utbildning och incitament för att styra energianvändningen ombord är en annan åtgärd som passar in under rubriken energiledning. För att uppnå resultat kan utbildning och motivation av besättningen vara av vikt. Värmeförluster förekommer i alla system ombord och elektrisk utrustning är ofta påslagen även då det inte behövs. Automatiska funktioner som styr användningen av fläktsystem och belysning ombord kan hjälpa till att hålla energianvändningen på en låg nivå. En besparing mellan 1 och 2 % av den totala bränsleförbrukningen beräknas vara möjlig genom med hjälp av IMOs guide i energiledning (Energy management) (Buhaug et al., 2009).

## 4.2 Diskussion – behov av framtida forskning

Det bedöms finnas ett behov av ett verktyg för att skapa och upprätthålla förutsättningar för en förbättrad kommunikation inför och under hamnanlöp. Utveckling av en gemensam elektronisk plattform med information om hamn, statistik och information om fartyget och involverade aktörer är ett sätt att närma sig detta. En sådan plattform skulle behöva ha en allmän tillgänglighet för att bli effektiv. Ytterligare problem med en kan vara att tillgång till information inte är likställt med insikt, förståelse eller kunskap, vilket betyder att en plattform med samlad information troligtvis inte ensam är en lösning.

Att både planering och flexibilitet valdes ut av fokusgruppen som viktiga områden att förbättra är intressant då ett förhållande mellan de båda existerar. I en idealvärld där man har en perfekt planering som aldrig går fel behövs ingen flexibilitet i systemet då inga oväntade situationer som kräver flexibilitet kommer att uppstå och vice versa. Detta kan symboliseras som en vågskål med planering på ena sidan och flexibilitet på den andra. Har man då mycket av den ena kommer det krävas mindre av den andra för att få ett bra resultat och skulle man fylla på i den ena vågskålen kan man således plocka ur den andra med bibehållet resultat. Med en perfekt flexibilitet bör således planering vara överflödigt då de oväntade situationer som uppstår enkelt åtgärdas genom en flexibilitet som aldrig slår fel. Det finns olikheter i system och jämförelser mellan ett system byggt på mycket planering och ett system med en stor flexibilitet för att se om skillnader i effektivitet finns kan vara intressant och kan beaktas som utgångspunkt inför framtida forskning. Forskningen av incitament riktade mot besättningen och dess effekter är bristfällig och här finns potential för framtida studier.

De möjliga incitamenten för en ökad energieffektivitet ser troligtvis relativt olika ut för en redare jämfört med besättningen. Incitamenten för redaren omfattar främst ekonomiska incitament, incitament i regelverk och kontrakt samt förbättrad image (varumärke). För besättningen kan incitamenten i stället ofta vara i form av ekonomisk bonus, utbildning och beröm. Tävlingar där vinnaren belönas förekommer också. De incitament som gäller redaren påverkar hur besättningen arbetar, och redarens inställning till miljöarbetet har troligtvis en stor påverkan på hur miljöarbetet längre ned i leden bedrivs, ett exempel på detta är energiledningssystem.

I den här studien är teknik och kommunikation och beteende inte tätt kopplade. Värdefull kunskap om hur körsätt påverkar bränsleförbrukning kan fås genom installationer av

mätutrustning för bränsle och kvalitativ datainsamling hos befälhavare och besättning. Detta kan också kopplas till arbetssätt och policies inom den aktuella organisationen.

## 5 Åtgärder inom avtal- och marknadsområdet

Denna studie kommer att inrikta sig på trafik som opererar på trampmarknaden, då linje- och färjetrafik som är styrda av fasta ruttor och tider ges liten öppning att energieffektivisera genom dessa åtgärder.

### 5.1 "State-of-the-art": Avtal och påverkande klausuler

För att reglera förhållandet mellan fartygsägare och befektare används särskilda kontrakt, certepartier. Ett certeparti stipulerar villkoren för användningen av ett fartyg under den period en befektare hyr fartyget av en fartygsägare och i dessa avtal finns ett antal klausuler som på olika sätt reglerar var och när resan skall ske och inom vilken tidsram. Vidare finns klausuler om fartygets prestanda och garantier för fart och bunkerförbrukning samt regleringar om eventuell större eller mindre tidsåtgång än beräknat. Samtliga sådana klausuler påverkar energieffektiviteten.

Det finns två former av certepartier:

- *Tidsbefraktningcerteparti*: Under ett tidscerteparti hyr befektaren fartyget under en viss period, och betalar hyra per dag till ägaren under den specificerade perioden. Med befektare avses en part som avtalar med fartygsägaren om att, under en viss period, frakta last eller passagerare på fartyget. Fartygsägaren ansvarar för bemanning och operativa kostnader medan befektaren bestämmer vilka resor fartyget skall gå och vilken last som skall lyftas, dock i enlighet med i kontraktet stipulerade acceptabla laster, och betalar resekostnader (inklusive bränslekostnader). Befektaren kan även i sin tur hyra ut fartyget till en underbefektare, antingen på ett tidscerteparti eller för en enstaka resa. Förseningar i hamn eller under resan är befektarens ansvar förutom då det gäller förseningar uppkomna på grund av fel på fartyget eller av på fartyget planerat underhåll. Vidare finns en underkategori till tidscerteparti kallad "bareboat charter", där befektaren tar över ansvar för fartygsunderhåll och besättning och legalt agerar som ägare under hyrperioden. Behandling av denna specifika typ av befektningssavtal ryms dock inte i studien.
- *Resebefraktningcerteparti*: Under ett resepartier hyr befektaren fartyget av ägaren för en enstaka resa. Kostnaden, den s.k. frakten, baseras vanligen per ton last som transporteras från en lastningshamn till en lossningshamn. Fartygsägaren ansvarar för såväl operativa som resespecifika kostnader (inklusive bränslekostnader). Befektaren ansvarar vanligen för förseningar uppkomna i lastnings- eller lossningshamn.

Det finns i certepartierna en mängd regleringar vad gäller hur och när resan skall utföras, vilken frakt som betalas, vilken fart som skall hållas i förhållande till en viss mängd bunker

per dag och hur eventuella förseningar regleras. Viktiga regleringar i detta fall är redovisade nedan:

”LayCan”(Liggetid): En charterterm som står för ”Layday commencement and cancelling” vilket innebär den tidsram inom vilken befraktaren enligt fraktavtalet har rätt att disponera båten för lastning och lossning (Sjöfartstidningen, 2012).

”Demurrage” (Överliggetid): Kompensation, som skall betalas av befraktaren, avlastaren eller mottagaren per dygn eller pro rata för extra liggetid i lastnings- och/eller lossningshamn utöver vad som stipuleras i fraktkontrakt (Sjöfartstidningen, 2012).

”Dispatch” (Underliggetid): omvänt mot ”demurrage”; om befraktaren behöver mindre tid än den angivna liggetiden kan certepartiet ange att fartygsägaren/operatören skall ersätta befraktaren för denna tid. ”Dispatch” är alltså den gottgörelse, som rederiet betalar till befraktare, avlastare eller mottagare per dygn eller pro rata för insparad tid i lastnings- och/eller lossningshamn jämfört med vad som stipuleras i fraktkontrakt (Sjöfartstidningen, 2012).

”Charter party (C/P) speed”(Kontraktsfart): Innebär den snittfart operatören skall hålla under resan, och ofta finns en fart/förbrukningsklausul som stipulerar fart i förhållande till bunkerförbrukning (BIMCO, 2012).

”Ready berth clause”: En klausul om ledig kaj innebär att liggedagarna börjar räknas så fort fartyget ankommer hamnen, oavsett om det kommer till kaj eller inte. Den här klausulen skyddar fartygsägaren/operatören mot förseningar som beror på brist på kajplats (BIMCO, 2012).

”Reasonable dispatch”: innebär att fartyget skall göra resan utan ”oförklarliga eller avsiktliga förseningar”, att det skall nå hamnen och vara klart att lasta/lossa som förväntat såvida det inte uppstår förseningar som ligger utanför fartygets kontroll (BIMCO, 2012). Uttrycket ”due dispatch” kan användas för samma företeelse. Vidare används uttrycket ”utmost dispatch” för samma sak i många certepartier, men detta är ett starkare uttryck d.v.s. det anses vara lite mer bråttom än att bara göra resan utan deviation (Bird, 2011).

Kontraktspunkter ovan är exempel på faktorer som måste tas hänsyn till vid en eventuell överenskommelse om energieffektivisering genom fartreduktion och visar på några av svårigheterna med att avtala om energieffektivisering genom fartreduktion. Det finns ansatser till regleringar gjorda av Baltic and International Maritime Council (BIMCO), Oil Companies International Marine Forum (OCIMF) och International Association of Independent Tanker Owners (Intertanko) genom framtagande av standardklausuler, men även om en standardklausul förs in i certepartier kvarstår en stor del arbete för att täcka in alla operativa aspekter då varje certeparti som innehåller någon form av energieffektiviseringsåtgärd måste ta hänsyn till en mängd frågeställningar:

- Vilka är ägarens skyldigheter och i vilken omfattning kan de avvika från att uppfylla kraven?
- Hur skall de oundvikliga konflikterna mellan bränslebesparing och övriga certepartiklausuler, såsom "due dispatch" och prestandagarantier, hanteras? Eller snarare; hur skall certepartierna skrivas för att kunna kombinera den mest bränsleekonomiska resan med krav på en viss minimumfart eller med krav på att resan skall göras utan avsiktliga förseningar?
- Om prestandagarantier dessutom innehåller begränsningar som att fartygets fart och förbrukning gäller i "bra väder" eller "om det inte är motström", hur definieras då bra väder eller under vilka perioder av resan var det bra väder eller motström?
- Vilken omfattning skall befraktaren lägga på ersättningsnivån för förluster och skyldigheter som ägaren/operatören lidit under resan på grund av att de följt energibesparingsåtgärder?
- Vad händer om fartyget missar sin plats i turordningen för att gå till kaj om det är beordrat att gå med reducerad fart till hamn?
- Hur skall fördelningen ske vad gäller pengar sparade på minskad bunkerförbrukning kontra längre restid?

Sammantaget kan ses att det finns en stor del energieffektiviserande åtgärder som kan vidtas vad gäller utformningen av kontrakt, men att det också finns en mängd faktorer som måste granskas närmare och klargöras för att ge branschen incitament att arbeta på ett nytt sätt. En annan aspekt som är värd att granska är den potentiella tidsbesparingen som kan göras under fartygets tid till kaj, under lastnings- och lossningsoperation. Kan tiden till kaj bli mer effektiv blir det per automatik mer tid över till själva sjöresan, som eventuellt kan nyttjas till att köra mer bränsleeffektivt. Debatten om prestandagarantier och "due dispatch" kvarstår dock.

### **5.1.1 Åtgärder**

Det har gjorts ansatser till avtal om energieffektivisering, i form av BIMCOs "slow steaming" klausuler och genom Intertankos och OCIMFs "Virtual Arrival"-process (Intertanko och OCIMF, 2011). Avsikten med klausulerna är att sänka farten och därigenom spara bränsle. Detta anses vara den mest betydande parametern som kan påverkas genom kontraktsskrivning.

#### ***"Slow steaming" klausul***

Höga bunker- och smörjöljepriser i en lågkonjunktursmarknad med överkapacitet av fartyg har varit ett incitament för ägare och operatörer att försöka finna sätt att minska bränsleförbrukningen. I januari 2010 startade BIMCO ett projekt för att ta fram certepartiklausuler om reducerad fart, och klausulerna antogs i november 2011, för tidscertepartier, respektive i april 2012 för resepartier. Användandet av dessa klausuler syftar till att reglera förhållandet mellan den extra tid som förbrukas och besparingen av bränsle. De juridiska aspekterna på att införa en fartreduktionsklausul under ett

tidscerteparti handlar främst om ägarens skyldigheter att följa befraktarens instruktioner om reducerad fart och samtidigt ta hänsyn till fartygets, besättningen och lastens säkerhet och skyldigheter gentemot tredje part, exempelvis innehavare av lastkonossement, det vill säga de papper som specificerar lasten ombord, mängden last och vem som är ägare till lasten (Hunter, 2011).

De legala aspekterna på ”slow steaming” under ett resepartier skiljer sig något från tidscertepartiet; i resepartiet relaterar man till ägarens/operatörens skyldigheter gentemot tredje part, exempelvis innehavare av lastkonossement, med hänsyn tagen till fartygets, besättningens och lastens säkerhet (Hunter, 2012).

Det finns exempel där operatörer har valt att gå ifrån ”slow steaming”-klausuler i sina resepartier och istället jobbar med att definiera och få in en klausul om för fartyget optimal C/P fart i kontraktet. Accepteras det ger det operatören hela förtjänsten av en minskad bunkerförbrukning.

### **”Virtual Arrival”**

Intertanko och OCIMF har initierat en process som kallas ”Virtual Arrival”, och som innebär att ägare och befraktare gör en överenskommelse om att reducera farten på en resa för att ankomma hamnen vid en reviderad ankomsttid om det blir känt att det är förseningar i lossningshamnen. Fartreduceringen leder till en minskad bunkerkonsumtion vilket i sin tur minskar utsläpp av växthusgaser och andra avgaser. I Intertankos ”Virtual Arrival” beskrivs ett antal förutsättningar för att ingå ett ”Virtual arrival”-avtal:

- En känd försening i lossningshamnen
- En gemensam överenskommelse mellan ägaren/operatören och befraktaren. Andra parter kan finnas med i beslutsprocessen; terminaler, lastmottagare och kommersiella intressenter.
- En bestämd certepartiklausul som slår fast villkoren för att implementera ”Virtual Arrival”.
- Ett avtal om hur beräkning och rapportering av fartygets prestation under resan skall ske.
- Ett avtal om hur fördelning av vinster skall ske.

Själva processen i ”Virtual Arrival” innehåller en mängd steg och beskrivs enligt Intertanko ut enligt nedan:

1. Före fartygets avgång från lastningshamn, eller på väg till lossningshamn, identifieras en försening i lossningshamnen, exempelvis beroende på att samtliga kajer är upptagna eller på grund av brist på utrymme i mottagande tankar.
2. Med kännedom om förseningen kan fartygsägaren/operatören och befraktaren påbörja en diskussion om att ingå ett ”Virtual arrival”-avtal för resan.
3. Fartygsägaren/operatören förser befraktaren med uppgifter om fartygets prestanda för att möjliggöra en initial uppskattning om resan baserat på fartygets servicefart.



4. Befraktaren och ägaren/operatören kommer överens om en tid då fartyget senast måste ankomma lossningshamnen (RTA, "required time of arrival") och hur resekalkylen skall göras och vilka rapporteringskrav som finns, alternativt kommer överens om att använda sig av en WASP ("weather analysis service provider", en oberoende enhet som gör resekalkyler och rapporter i samband med en "Virtual Arrival" resa) för att göra resekalkylen och understödande rapporter.
5. Parterna avtalar om att använda sig av "Virtual arrival" genom en certepartiklausul.
6. Den första rapporten skall innehålla:
  - Metod för att bestämma fart och bunkerförbrukning
  - Beräknad ankomsttid (ETA), baserat på normal servicefart
  - Beräknat ETA, baserat på normal servicefart och förväntat väder ("Virtual arrival" - ETA)
  - RTA; tid då fartyget senast måste ankomma.
  - Fart eller varvtal för att nå RTA
  - Ombordbunker vid tiden då man ingår "Virtual arrival"-avtalet
7. Fartyget saktar ner för att nå RTA.
8. Vid resan slut gör en WASP, en slutrapport innehållande en fullständig analys av resan med alla data som krävs för att fastslå fartygets "Virtual arrival"-tid och för att kunna beräkna bränslebesparingen och minskningen i utsläpp.
9. I slutförande av "Virtual-arrival"-tid görs en uppskattning om hur mycket väder, sjö och ström har påverkat resan genom att jämföra de faktiska förhållandena med de som förväntades när man fastslog provisoriskt "Virtual arrival" - ETA.
10. Den överenskomna "Virtual arrival"-tiden används som tid för att fastslå eventuell "demurrage"<sup>6</sup>.

## 5.2 Diskussion – behov av framtida forskning

För att hitta incitament för intressenterna att intensivt arbeta för energibesparande åtgärder och nå en optimering av resor avseende såväl miljö och ekonomi som flexibilitet föreslås vidare studier göras.

En juridisk studie som undersöker möjligheter att utforma certepartier på ett sätt som underlättar och främjar energieffektivt beteende i branschen. Studien bör också omfatta

---

<sup>6</sup> Kostnad för extra liggetid i lastnings- och/eller lossningshamn utöver vad som stipuleras i fraktkontrakt och som betalas av en befraktare till fartygsägaren/operatören

ansvarsfördelning och acceptans vid förseningar eller andra incidenter som påverkar resan. En annan studie med juridisk inriktning bör göras för att kartlägga möjligheter till hamnans anpassning till ”slow steaming”- och ”virtual arrival”-klausuler. Till exempel vid kösystem vid terminal; vad händer om ett fartyg saktat ner för att anpassa sin ankomst till en viss tid och det plötsligt sker förändringar som gör att ett annat fartyg tas in före på grund av att det första fartyget inte är på plats? Vem står för den förlorade tiden?

Det finns också ett behov för studier som rör sjöfartens avtal och marknad och som kopplar till kommunikation- och kunskapsåtgärder för att kartlägga och få svar på följande frågor:

- Hur är kunskapsnivån om energieffektivisering iland bland de som aktivt jobbar med att sluta avtal om resor?
- Vilken information behövs för att styra resorna bättre?
- Vem skall ha information och när skall informationen ges?

Ekonomiska studier som är nära kopplade till de juridiska studier som nämns ovan bör göras för att kartlägga hur vinster och förluster beräknas i samband med de nya klausulerna och hur de lämpligen bör fördelas för att styra en transport mot en lägre energianvändning.

## **6 Övergripande analys och diskussion**

Den svenska sjöfarten består av linjesjöfart och trampsjöfart vilka båda har stora möjligheter till energibesparingar. Den övergripande beskrivningen av tillgängliga åtgärder i studien tillåter inte en djupare analys kring lämpliga kombinationer av åtgärder för specifika fartygssegment. Resultat för den svenska sjöfarten har inte särskiljts från internationell sjöfart. De resultat och slutsatser som presenteras gäller dock för svensk sjöfart.

De studerade områdena har på flera sätt kopplingar till varandra och ett flertal av åtgärderna kan inte enkelt rubriceras under antingen teknik, logistik, kommunikation eller marknad. Marknaden och avtalen anger ett ramverk som måste följas och till vilket övriga åtgärder måste anpassas. Kommunikationen är viktig på alla nivåer och är i många fall en förutsättning för att särskilt logistiska åtgärder skall bli framgångsrika. Teknikåtgärder implementeras med fördel redan i designstadiet av ett fartyg, även om en del tekniska åtgärder kan genomföras på befintliga fartyg.

Ett flertal av de operativa åtgärderna som beskrivs har en mindre påverkan på bränsleförbrukningen som en enskild åtgärd, men om flera implementeras parallellt kan den totala effekten (uttryckt som CO<sub>2</sub> sparpotential) bli en betydande besparing. Tabell 3 och Tabell 4 nedan visar på resultat från två studier som undersöker den sammanslagna potentialen.

**Tabell 3. Potential för ett antal operativa energieffektiviseringsåtgärder. (Henningsen, 2000) (författarens översättning).**

| <i>Åtgärd</i>                                      | <i>Bränsle/CO<sub>2</sub> sparpotential</i> | <i>Kombinerat</i> | <i>Totalt</i>   |  |
|--|---|-------------------|-----------------|--|
| <i>Operativ planering / Val av fart</i>            |   |                   |                 |  |
| <i>Fleet planning</i>                              | <i>5 - 40 %</i>                             | <i>1 - 40 %</i>   | <i>1 - 40 %</i> |  |
| <i>'Just-in-time'-planering</i>                    | <i>1 - 5 %</i>                              |                   |                 |  |
| <i>Weather routing</i>                             | <i>2 - 4 %</i>                              |                   |                 |  |
| <i>Blandade åtgärder</i>                           |   |                   |                 |  |
| <i>Konstant varvtal</i>                            | <i>0 - 2 %</i>                              | <i>0 - 5 %</i>    |                 |  |
| <i>Optimalt trim</i>                               | <i>0 - 1 %</i>                              |                   |                 |  |
| <i>Minskad tid i ballast<sup>7</sup></i>           | <i>0 - 1 %</i>                              |                   |                 |  |
| <i>Optimalt propeller-pitch</i>                    | <i>0 - 2 %</i>                              |                   |                 |  |
| <i>Optimalt roder</i>                              | <i>0 - 0,3 %</i>                            |                   |                 |  |
| <i>Reducerad tid i hamn</i>                        |   |                   |                 |  |
| <i>Optimal lasthantering</i>                       | <i>1 - 5 %</i>                              | <i>1 - 7 %</i>    |                 |  |
| <i>Optimal tilläggning, ankring och förtöjning</i> | <i>1 - 2 %</i>                              |                   |                 |  |

---

<sup>7</sup> Fartyget går utan last mellan två hamnar

**Tabell 4. Potential för ett antal energieffektiviseringsåtgärder (Buhaug et al., 2009)(författarens översättning).**

|  | Besparing<br>CO <sub>2</sub> /ton-<br>NM | Kombinerat | Kombinerat |
|--|--|------------|------------|
| <b>DESIGN</b>                                |  |            |            |
| Koncept, fart och förmåga                    | 2 - 50 %*                                | 10 – 50 %* | 25 – 75 %* |
| Skrov och överbyggnad                        | 2 - 20 %                                 |            |            |
| Effekt och framdrivningssystem               | 5 – 15 %                                 |            |            |
| ”low-carbon”-bränslen                        | 5 – 15 %**                               |            |            |
| Förnyelsebar energi                          | 1 – 10 %                                 |            |            |
| Avgasrening CO <sub>2</sub>                  | 0 %                                      |            |            |
| <b>DRIFT</b>                                 |  |            |            |
| Logistik, incitament och styrning av flottan | 5 – 50 %*                                | 10 – 50 %  |            |
| Optimering av resor                          | 1 – 10 %                                 |            |            |
| Energiledning                                | 1 – 10 %                                 |            |            |

\*Reduktioner på den här nivån förutsätter sänkt fart

\*\*CO<sub>2</sub>-ekvivalent, baserad på LNG-användning

Nedan visas på kopplingar mellan de studerade områdena ur olika perspektiv samt behov av framtida forskning. Status på forskningen kring energieffektiv sjöfart och implementering av energieffektiva åtgärder leder fram till en analys av gapet mellan kunskapen inom forsknings- och utvecklingsverksamheter och tillämpningen inom industrin.

## 6.1 Ansatser på högre systemnivåer

De ansatser som beskrivs delas upp i linjesjöfart och trampsjöfart vilka i sin tur kan delas in i underkategorier. Samtliga sjöfartstyper finns representerade i båda kategorierna, dvs. tankers, bulkfartyg, containerfartyg, RoRo-fartyg och passagerarfartyg men generellt kan sägas att tankers och bulkfartyg är mer representativa för trampsjöfart medan container, RoRo och passagerarfartyg är mer typiska för linjetrafik. Skillnaderna mellan de två typerna av sjöfart är i vissa aspekter betydande, särskilt med avseende på planeringshorisont, tillförlitlighet och punktlighet. Industrisjöfart har element från både linjesjöfart och trampsjöfart och behandlas inte separat i denna rapport.

Nedan behandlas linjesjöfart och trampsjöfart i 6.1.1 respektive 6.1.2. Skillnaden mellan linje- och trampsjöfart är att rederier inom trampsjöfarten oftast är betydligt mindre, med mycket mindre landorganisation och avsaknad av avancerade stödfunktioner (teknik, juridik, ekonomi). Detta gör att tramprederier generellt har mindre möjligheter att tillgodogöra sig tekniska landvinningar utan externt stöd.

I 6.1.3 görs en övergripande analys av nyckelaktörer inom energieffektivisering för sjöfarten.

### **6.1.1 Linjesjöfart**

Rederier som bedriver linjesjöfart har ofta stora möjligheter att planera utformningen av sin fartygsflotta och kombinationen av fartygen på specifika linjer. Vilka hamnar som skall anlöpas och vilka kajplatser som skall brukas bestäms oftast innan en linje startas. Vidare bygger ofta svensk linjesjöfart på långa traditioner och väl inarbetade sjöfartslinjer, vilket medför att god kommunikation och långsiktiga avtal finns som har en positiv inverkan på en effektiv användning av fartygen.

Att utnyttja den besparingspotential som finns för linjesjöfart är främst beroende av tekniska åtgärder. Linjetrafiken inom kortsjöfart är oftare anpassad efter övrigt transportsystem eller industrin, oftast med tydliga kundkrav på frekvens och transporttider. Detta innebär att det kan vara svårare att tillämpa logistiska åtgärder som ”slow steaming” och ruttplanering. Oceangående fartyg i linjetrafik bedöms ha större besparingsmöjligheter med nämnda logistiska åtgärder och flera stora oceanrederier har anammat dessa åtgärder.

På många fartyg saknas idag utrustning för tillförlitlig mätning av bränsleförbrukning och andra driftsdata. Det förekommer att det mått man använder för förbrukningen baseras på bunkrad mängd och intervall (antal resor) mellan bunkringar. Denna avsaknad på information om exakt bunkerförbrukning samt bristande feedback till besättningen på konsumtionen försvårar tillämpning av åtgärder för ett bränsleeffektivt körsätt. Bränslemätare med hög tidsupplösning möjliggör kommunikation till kapten och styrmän angående hur deras körsätt relaterar till bränsleförbrukning och kan vara grunden i en incitamentsstruktur inom rederier. Förbättringar bör vara mätbara för att åtgärder med framgång skall implementeras. God kontroll på bränsleförbrukningen och hur mycket energi som används av olika system ombord är därmed en förutsättning för energieffektivisering inom branschen generellt. En annan åtgärd som är viktig för ökad tillämpning av kända tekniker är kopplad till den risk som finns i anammandet av tekniker som är relativt nya på marknaden och som innebär höga investeringskostnader.

### **6.1.2 Trampsjöfart**

Inom trampsjöfarten finns vid sidan av tekniska åtgärder som beskrivs ovan för linjesjöfarten, stor potential till besparingar inom områdena logistik, kommunikation, avtal och marknad. En viktig aspekt är hur anlöp till hamn kan ske på ett välplanerat sätt genom god kommunikation mellan involverade aktörer. Syftet är att gynna en optimal energieffektiv fart under resan. Idag finns också möjlighet att utforma avtal så att det blir ett incitament för aktörerna att spara bränsle. Kommunikationen är viktig men försvåras eftersom fartygen inom trampsjöfarten tenderar att anlöpa betydligt fler antal hamnar och ibland med kort framförhållning än vad fartyg gör som kör på linje.

Hamnens effektivitet har en stor inverkan på kortsjöfarten då en stor del av fartygets tid spenderas i hamn. Hamnanlöpen påverkar bränsle förbrukningen under en hel resa då

tillgången på kajplatser är begränsad och fartygen ofta går med högre hastighet än nödvändigt till en hamn för att ha tidsmässiga säkerhetsmarginaler. Besparingarna inom den här typen av sjöfart nås genom minskad liggtid i hamn vilket ger möjlighet till lägre hastigheter under överfarter och därigenom en lägre bränsleförbrukning per tonkilometer eller passagerarkilometer. Eftersom fartygen operas dygnet runt, året runt, så påverkas de i stor utsträckning av hamnens öppettider, vilket visades i kapitel 3.1.1 om åtgärder inom logistikområdet.

### 6.1.3 Aktörer

Aktörer som bedöms ha nyckelpositioner i arbete med energieffektivisering är redare, fartygsoperatör, besättning, befraktare och hamnagent.

Redaren fungerar som beställare av ett fartyg ansvarar för design och har därigenom stora möjligheter att utforma fartyget för energieffektiv drift. Rederiet har möjlighet att besluta vilka investeringar i energibesparande tekniker som skall göras. Detta görs ofta i samrådan med varven. Dock upplever SSPA i sin kontakt med internationella varv att det under senaste året har funnits ett ökat intresse för energieffektivare tekniska lösningar, eftersom varven försöker nischa sig inom det området.

Under driftsfasen varierar redarens roll i en transport beroende på avtal och trafikupplägg. I linjetrafik har redaren ofta fullt ansvar för fartygen och transportererna, vilket innebär att de betalar bränsle. Därmed har redaren ekonomiska incitament att jobba för energieffektiva lösningar och logistikupplägg. Om fartygsdesignen är framtagen av samma rederi som senare opererar fartyget finns bättre möjligheter för en samverkan mellan teknik och logistik för optimala energilösningar. I vissa fall anlitas externa operatörer som tar över redarens operativa roll. Operatörer arbetar för redaren och kan ha allt ansvar för den dagliga driften av ett fartyg. Det innebär också att operatörer kan vara de aktörer som har överblick över bränsleförbrukningen på ett fartyg.

En viktig person inom rederiet är den tekniske inspektören som har det tekniska kunnandet om fartyget och överblick över systemen ombord. Den tekniske inspektörens roll är att bistå besättningen med att få de tekniska systemen att fungera bra och att ansvara för att bränsleförbrukningen håller en acceptable nivå ur ett tekniskt perspektiv. Denna person är stationerad på land och ansvarar ofta för flera fartyg i flottan.

Besättningen har en mycket viktig roll i energieffektivare sjötransporter. De besitter en specifik fartygsrelaterad kunskap som innebär att bunker kan sparas genom till exempel rätt trim och ballast, god lastplanering som påverkar fartygets framdrivning till sjöss samt rätt fart i förhållande till distans, tid och väderförhållande för att nå nästkommande hamnen med god punktlighet.

I tramptrafik dikterar kontrakt (certepartier) mellan rederi och befraktare vem som står för bränslekostnaderna under en transport. Vid ett resebefraktningcerteparti är befraktaren ansvarig för resekostnader inklusive bränsle. I dessa fall kan en redare inte få någon ekonomisk kompensation för eventuella investeringar i energisparande utrustning vid fartygets konstruktion.

Det finns också klausuler i resekontrakten som gör att en fartygsoperatör genom att komma tidigt till en hamn gör ekonomiska besparingar eftersom befraftaren skall betala hyra för fartyget så fort det rapporteras ha nått hamn. Detta ger incitament till högre farter till sjöss och därmed lägre energieffektivitet. En aspekt som relaterar till avtal är att fartygsägare/operatörer i dagens konjunkturläge ibland har en högre ”demurrage”<sup>8</sup> än fraktintjänning, och för en resa där fartyget hamnar på ”demurrage” kan det vara ett mer attraktivt alternativ för den enskilde operatören än att gå med reducerad fart och spara bunker.

En annan viktig aktör är hamnagenten<sup>9</sup>, som har möjlighet att påverka fartyget då det skall in till hamn. Hamnagenten är rederiets representant i hamnen och hanterar och samordnar information från lotsar, fartyg, båtmän, hamn, stuveri med flera. Hamnagenten har en nyckelposition som kan utnyttjas för att undvika väntan på kajplats och långa liggetider i hamn, något som kan främja att fartygen körs energieffektivare under resorna.

## 6.2 Ökad tillämpning av kartlagda åtgärder

Som framgått av tidigare kapitel så är sjöfarten en komplex industri där logistik, teknik, juridik, ekonomi och beteendevetenskap påverkar hur rederierna opererar sina fartyg och agerar på sjöfartsmarknaden. Alla dessa aspekter påverkar redarens, och övriga aktörers, möjligheter och förutsättningar för att tillämpa energieffektiva åtgärder.

Vidare visar åtgärderna på skilda karaktärer som gör dem lämpliga att tillämpa eller applicera vid olika tidpunkter. T.ex. kan vissa tekniska åtgärder relativt lätt implementeras för existerande fartyg, medan andra endast är möjliga för nybyggnation. Slutligen är en del åtgärder inte än kommersiellt tillgängliga på en bredare front (Det Norske Veritas, 2009).

Faber et al. (2011) anger tre huvudsakliga skäl till varför kända kostnadseffektiva åtgärder inte implementeras. Ett av skälen är de tekniska barriärer som relaterar till kunskap om tekniker hos användarna och till risktagande i samband med investering i nya tekniker. En

---

<sup>8</sup> Kostnad för extra liggetid i lastnings- och/eller lossningshamn utöver vad som stipuleras i fraktkontrakt och som betalas av en befraftare till fartygsägaren/operatören

<sup>9</sup> Generellt kan sägas att skeppsmäklaren fungerar som beställare och koordinator mellan redare och befraftare och har ett informativt, förmedlande samt samordnande ansvar.

Skeppsmäklare omfattar fyra kategorier av yrkestitlar; hamnagenter, linjeagenter, befraftningsmäklare samt köp- och försäljningsmäklare.

Skeppsmäklaren kan beskrivas som en samlad beteckning på en redares representant i en hamn. Denne representant fungerar som en mellanman på så sätt att den ser till att hamnuppehållet genomförs på ett så praktiskt sätt som möjligt vilket exempelvis innebär att kommunicera med stuverier, speditörer, lastägare och hamnmyndigheter.



andra anledning är institutionella barriärer och relaterar dels till låga andrahandsvärden och priser för att chartra ett fartyg som inte reflekterar fartygets energieffektivitet. Institutionella barriärer omfattar enligt Faber et al. (2011) även varvens möjligheter att påverka designen av nya fartyg. Varven har inte nödvändigtvis ett livscykel-tänkande och har inte heller alltid möjlighet att erbjuda förändringar i existerande design, alternativt är förändringarna mycket kostsamma för redaren (Faber et al., 2011). Det slutliga skälet som anges av Faber et al. (2011) är finansiella barriärer som associerar till ekonomiska risker med vissa tekniker. Johnson och Andersson (2011) diskuterar barriärer utifrån ett redarperspektiv och ser ett behov av organisationsförändring, särskilt vad gäller mätning och uppföljning av energiförbrukning. Det argumenteras också för att policy-skapare skulle kunna ta en bredare ansats för att minska dessa barriärer, t ex genom att skapa nätverk och sprida information. I ett forskningsprojekt om implementering av energiledningssystem på ett rederi diskuterar Johnson et al. (2012) hur förmåga till effektiv projektledning, tydlig ansvarsfördelning, förmåga att mäta, analysera och följa upp bränsleanvändning, intern kommunikation och tillgång på kompetens påverkar arbetet med energieffektivisering.

### 6.2.1 Status i forskning och utveckling

Energieffektiviseringen inom sjöfarten som forskningsområde är inte särskilt utvecklat. De flesta studierna och forskningsrapporterna som är tillgängliga har publicerats under de senaste tre åren. Några få rapporter har uppskattat potentialen i en mängd åtgärder, vilka refereras flitigt. Osäkerheterna i uppskattningarna är dock stora i dessa arbeten och återger endast medelvärden för den internationella sjöfarten. Detaljerade studier av enskilda åtgärders potential samt undersökningar av särdrag för olika delar av fartygsflottan eller mellan fartygstyper och fartygsindivider bör stärka tillförlitligheten i dessa värden. Det är tydligt att det finns en mycket stor potential att minska energianvändningen inom sjöfart genom kunskapsutveckling samt att i större utsträckning tillämpa de forskningsresultat som görs tillgängliga.

Den här rapporten har dels studerat åtgärder av skild karaktär var för sig och dels studerat skärningslinjer för trampsjöfart och linjesjöfart, som en grov indelning av sjöfarten. Åtgärder har även betraktats ur ett aktörsperspektiv för att tydliggöra nyckelaktörers roller för en energieffektiv sjöfart. Status på forskning och utveckling skiljer sig åt mellan de olika områdena och generellt har betydligt fler studier gjorts inom enskilda områdena än studier med systemansats. Ett antal studier presenterar marginalkostnadsanalyser av åtgärder (t. ex. Faber et al., 2009.; Faber et al., 2011; Eide et al., 2011.; Buhaug et al., 2009) för att prognostisera möjligheter att minska sjöfartens andel av globala och regionala CO<sub>2</sub>-utsläpp och studerar effekter av olika policy-instrument.

Logistikforskning inom området förekommer och redan vid oljekrisen på 70-talet kom det forskningsrapporter inom området, främst inom området ”slow steaming”. Luckor är dock tydliga; till exempel finns mycket få rapporter och vetenskapliga artiklar som beskriver hur produktiviteten kan höjas för fartyg i trafik på mindre hamnar av den typ vi har i Sverige och likaså saknas beskrivningar och åtgärdsförslag inom forskningen rörande kopplingen till kommunikation vid hamnanlöp. Generellt saknas forskning om åtgärder inom området kommunikation och beteende, med undantag av vissa utvecklingsprojekt i bränsleeffektiva

körsätt. Teknikforskning är tätt kopplat till utveckling och fartygsdesign. Status inom forskning och utveckling för tekniska åtgärder är förhållandevis mogen men saknar, som nämnts ovan, ett systemsynsätt där teknikens inverkan på varandra undersöks, samt den totala besparingspotentialen när flertalet tekniska åtgärder samverkar.

En bristfällig kunskap om orsakerna till att kända åtgärder inte implementeras märks inom alla områden men har börjat hanteras i rapporter som tar en övergripande ansats på sjöfarten i stort. I Sverige pågår forskning på Chalmers institution för sjöfart och marin teknik av teknisk och organisatorisk karaktär för systemmodellering av energianvändningen på fartyg.

### 6.2.2 Status på implementering av åtgärder

Teknikutvecklingsarbete har lett till att ett flertal rederier och operatörer, företrädesvis inom linjesjöfarten har kommit långt i arbetet med att skapa energieffektivare fartyg, självklara åtgärder som strömlinjeformade skrov kan räknas in i denna kategori av åtgärder. Det finns ett stort teoretiskt kunnande inom de flesta kärnområdena som påverkar ett fartygs energieffektivitet. Detta till trots förekommer enligt SSPAs erfarenhet från projekten EFFSHIP, fartyget EVOLUTION och från diskussioner med rederipersonal:

- Fartygsskrov byggda med en design som ger en bränsleförbrukning som är upp till 30 % högre än vad den skulle kunna vara
- Propulsiva arrangemang som, vid normal drift visar sig konsumera 20-30 % mera bränsle än vid försök till energiekonomisk körning.
- Fartyg som konsumerar 20-40 % mera energi än de borde på grund av dålig status på skrov och propeller, utan någon åtgärd .

Precis utrustning för att mäta bränsleförbrukning och andra driftsdata saknas dock fortfarande på en stor del av alla fartyg, vilket påverkar möjligheterna att följa upp hur olika faktorer påverkar energianvändningen. Utrustningen kan också förbättra förståelse för hur de energianvändande systemen ombord samverkar, något som i praktiken till stor del saknas i dagsläget.

Även åtgärder av mer logistisk karaktär som ”slow steaming”<sup>10</sup>, effektiv lasthantering och ruttplanering har anammats av många rederier inom linjesjöfarten, främst inom oceangående containertrafik, men även för andra segment.

Höga bränslepriser ökar incitament för rederier att effektivisera driften av sina fartyg. Incitamenten för implementering av åtgärder är mindre tydliga inom trampsjöfarten. Någon tydlig skiljelinje mellan de två typerna av transportupplägg kan dock inte dras i fråga om hur långt framskridet marknadens arbete med implementering av dylika åtgärder är.

---

<sup>10</sup> Fartyget sänker sin hastighet under överfarter för att få en mer energieffektiv framdrift. På så sätt görs också ekonomiska besparingar

Många aktörers samverkan ställer höga krav på god daglig kommunikation av inblandade parter. Särskilt utpräglat är detta för trampsjöfarten som ofta inte har bestämda ruttor och kajplats i hamn. Den här studien har fokus på hamnanlöp, en avgörande del av fartygets logistik ur energieffektivitets-synpunkt. Ett gott exempel på hur detta kan hanterats är satsningen i Göteborgs hamn där lots, VTS och ”port control” arbetar i gemensamma lokaler.

Efter genomgång av tillgänglig forskning om energieffektiv sjöfart så är det tydligt att det finns kunskap om åtgärder för energieffektivisering som inte tillämpas på bred front. Tydliga orsaker till varför enskilda användare inte anammar ny kunskap i stor utsträckning är bristfälligt beskrivet i litteraturen.

Resultaten av den här studien pekar på att anledningen inte nödvändigtvis är brist på kunskap bland användarna, utan orsaken är snarare relaterade till tidsbrist vid beslutsfattande, avsaknad av planeringsunderlag och bristen på incitament. Nedan sorteras viktiga orsaker under rubrikerna Transportens organisation och marknad, Rederiers planeringsmässiga förutsättningar och Rederiers ekonomiska förutsättningar.

### **Transportens organisation och marknad**

En viktig faktor som påverkar möjligheten att implementera åtgärder för energieffektivisering är förknippad med transaktionskostnader och svårigheter att fördela kostnader och vinsten mellan olika företag för en investering som gynnar flera aktörer (Kesicki och Strachan, 2011). Detta kan få till följd att kapital inte fördelas till den verksamhet där den gör störst nytta. Ett problem som diskuterades under en intervju var förlängda liggstider i hamn då lastning eller lossning måste avbrytas vid dåligt väder eftersom en hel del bulkvaror, t.ex. spannmål, järnprodukter och pappersrullar, är mycket känsligt för vatten och snö. Väderavbrotten kan bli mycket kostsamma för rederiet om förseningar som uppstår behövs köras in eller om konsekvensförseningar uppstår till nästa hamn vilket kan medföra straffavgifter eller missade nya transportuppdrag. En väderskyddad kaj hade troligtvis varit en investering som varit lönsam ur ett relativt kort perspektiv för redaren. Dock är det inte redaren utan hamnen som står för investeringskostnaderna, vilket motverkar en vilja att införa åtgärden. Ett annat typiskt exempel på avsaknad av incitament är då rederiet betalar för nybyggnationen av ett fartyg men bränslekostnaderna under driftsfasen till stor del förskjuts till kunden (Faber et al., 2009). Därmed motverkas investeringsviljan i dyra energieffektiva tekniker inom sjöfarten.

Flera aktörer skall samarbeta och kommunicera för en smidig logistik och en situation då detta är tydligt är vid anlöp till hamn av fartyg som går i tramptrafik. Vid resebefraktningsavtal där motparterna varierar resa efter resa kan det vara än mera komplext att skapa ett helhetsperspektiv. Detta bedöms vara en starkt bidragande orsak till att åtgärder inte anammas under sådana här förhållanden. Möjligheterna till förbättrande åtgärder relaterat till avtalsskrivning påverkas också av att olika avdelningar inom samma organisation har olika kunskaper; de tekniska avdelningarna som är inblandade i byggnationen av fartyg är inte inblandade i vilka resor fartyget gör. Den rent tekniska specifikationen av fartyget vägs inte in i någon större utsträckning vid ett avtal om en viss

resa, i synnerhet inte då det gäller ett resecerteparti, förutom att det skall uppfylla givna garantier om en viss bunkerförbrukning vid en given fart.

En annan aspekt som relaterar till avtal är att fartygsägare/operatörer i dagens konjunkturen ofta har en högre ”demurrage<sup>11</sup>” än fraktintjäning, och för en resa där fartyget hamnar på ”demurrage” kan det vara ett mer attraktivt alternativ för den enskilde operatören än att gå med reducerad fart och spara bunker. Enligt fokusgruppen är tillvägagångssätten vid kontaktsskrivande i sjöfarten kulturstyrda med traditioner som är svåra att ändra på. I dagsläget saknas enligt fokusgruppen incitament för att kunna få igenom några ändringar i detta beteende.

De klausuler som arbetats fram av BIMCO och Intertanko för att underlätta ”slow steaming” lämnar viktiga detaljer i avtalen upp till parterna. Som exempel säger BIMCOs ”slow steaming”-klausul för tidscertepartier<sup>12</sup> att ”befraktaren kan välja att i skrift ge instruktioner till kaptenen för att reducera farten eller varvtalet... och/eller... för att anpassa fartygets fart till att möta en specificerad ankomsttid till en viss destination”. Kaptenen kan vägra att följa instruktionerna med hänsyn till fartygets säkerhet eller på grund av tekniska skäl, men då måste det gå att visa att fartygets maskin inte klarar av en längre period av gång med reducerad fart utan att ta skada, baserat på tillverkarens rekommendationer. I övrigt skall befraktarens instruktioner följas. Ingen ersättning ges för skada, som uppstått efter en längre tids reducerad fart, som innebär att fartyget inte längre kan prestera i enlighet med avtalade garantier, exempelvis om fartygets maskin är designad för att operera på en optimal fart eller om anti-foulingen är mindre effektiv vid lägre farter (Wortely, 2012). I Intertankos klausuler för resecertepartier delas vinsten av bunkerbesparingen mellan ägaren/operatören och befraktaren, antingen genom ett avtal som ställts samman före resan eller genom en analys när resan är avslutad.

Sammanfattningsvis kan sägas att innan klausuler om energibesparande åtgärder förs in i certepartierna behöver båda parter noga väga vilka skyldigheter de tar på sig och hur detta påverkar andra klausuler i certepartiet, samt avtala om hur beräkningar skall ske. Det finns dock potential till stora, om än osäkert hur stora, energibesparingar vad gäller den avtals- och marknadsmässiga delen av sjöfarten och att detta är ett område som kräver vidare arbete.

### **Rederiers planeringsmässiga förutsättningar**

De flesta rederier är förhållandevis små med begränsade personalresurser (se t. ex. fallstudien Johnson et al., 2012). Organisationerna är också ofta slimmade med stort fokus på daglig drift och på att hålla fartygen i rörelse, medan mera långsiktiga analyser inte hinns

---

<sup>11</sup> Kostnad för extra liggetid i lastnings- och/eller lossningshamn utöver vad som stipuleras i fraktkontrakt och som betalas av en befraktare till fartygsägaren/operatören

<sup>12</sup> En typ av avtal mellan redare och befraktare. Under ett tidscerteparti hyr befraktaren fartyget under en viss period, och betalar hyra per dag till ägaren under den specificerade perioden.

med. Under intervjuer med flera rederier framgick det att rederiernas fartygsoperatörer ofta är mycket stressade eftersom de ofta har ett stort ansvarsområde och opererar många fartyg parallellt, ibland upp till 7-8 fartyg. Tidsbrist medför att planering och analys av fartygsrörelser försvåras. En fartygsoperatör beskrev hur mer tid skulle kunna förbättra planeringen för minskad bunkerförbrukning: ”I så fall skulle jag när jag planerar för en resa kunna jämföra med en tidigare resa; hur fartyget presterade, vad som hände under vägen, etc. Nu kan jag få ett samtal som säger att ett fartyg måste till en specifik hamn. Ok, jag skicka fartyget dit, men jag har inte tid att beräkna när det exakt behöver vara där”. Med mer tid skulle det vara möjligt att beräkna potentiell besparing vid lägre hastighet och senare ankomst.

En annan operatör beskrev svårigheten att operera fartyg inom trampsjöfart där nya kontrakt och hamnanlöp ständigt kräver omplanering: ”Alltså om jag ser till vår flotta och våra kontrakt hur man skulle kunna minska bunkerförbrukningen är om vi gick som linjeslingor. När man har linjebåtar som går på en fast schedule [tidschema] då kan du planera. Men som vi kör så här och resorna kastas om hela tiden. Och ofta blir det väldigt bråttom.”

### **Rederiers ekonomiska förutsättningar**

En annan aspekt på kortsiktigheten är att en ny investering ofta kräver mycket korta avskrivningstider. Många rederier har inte viljan eller möjlighet på grund av kostnadsskäl att investera i årgärder som har längre än några års avskrivningstid trots att fartygets livslängd är betydligt längre än så (Faber, 2009)

Fartyg har också låga andrahandsvärden som inte reflekterar eventuella investeringar i energieffektiv utrustning.

### **6.2.3 Gapet mellan FoU och användare**

Det finns ett gap mellan kunskapen inom forsknings- och utvecklingsverksamheter och tillämpningen inom industrin. Orsakerna till detta beskrivs i ett fåtal övergripande rapporter och artiklar och sammanfattas i 6.2.2. För att nå en högre energieffektivitet i svensk sjöfart behöver gapet överbryggas. Denna studie har identifierat ett antal förutsättningar för att göra detta möjligt.

En sådan förutsättning är att tillgodose ett kartläggningsbehov av bränsleanvändningen inom svensk sjöfart och ombord på enskilda fartyg. Kartläggningar på rederinivå har utförts bland annat inom ett samarbetsprojekt på Chalmers (Johnson et al., 2012). Kartläggning av energianvändningen för olika system ombord och förståelse om växelverkan mellan de olika systemen är av direkt intresse för redaren för att kunna minska energibehovet.

Behovet av en bättre kunskapsöverföring mellan forskarvärlden och fartygsägare/operatörer bedöms vara stort. Finansiella risker med investering i ny teknik och arbetssätt gör att tillämpningen av nya kunskaper fördröjs. När nya tekniker, verktyg och metoder visar sig vara väl fungerande finns dock en vilja att snabbt ta efter. Därför

bedöms pilot- och demonstrationsprojekt vara av stor betydelse för snabbare tillämpningen av kända åtgärder. I övrigt bedöms tillämpad forskning i nära samarbete med sjöfartsindustrin underlätta kunskapsöverföring i båda riktningarna och öka möjligheterna för en effektivare implementering av förbättringsåtgärder. Lyckade demonstrationsprojekt bidrar till att riskerna upplevs som lägre.

Det framgår tydligt av de sjöfartsstudier som försöker ta ett helhetsgrepp på energieffektiviseringen att det inte är enskilda åtgärder som kan föreverkliga EUs mål för sjöfartens CO<sub>2</sub>-utsläpp 2030. Istället krävs att flera åtgärder av olika karaktär samverkar för en total minskad energianvändning inom sjöfarten. Därmed behövs ökad kunskap om hur olika förbättringsinsatser påverkar varandra och växelverkar för att skapa ett så effektivt övergripande transportsystem som möjligt med en tydlig roll för sjöfarten. Utöver denna nödvändiga samordning, kommer det troligtvis att behöva utvecklas helt nya tekniker, verktyg och metoder för att minska energianvändningen i framtiden (Det Norske Veritas, 2009). Att överföra dessa idéer till ett praktiskt dagligt användande står inför ett flertal utmaningar. En redare har ett antal fartygsindivider med olika möjligheter till energieffektivisering beroende på en mängd parametrar. Fortsatta forskningsstudier av rederier och fartyg av olika karaktär skulle ge ökad förståelse för bredden på rederiers verksamheter och kunna resultera i åtgärdsförslag baserade på de förutsättningar som råder i skilda delar av branschen.

Tidsperspektivet i branschen är kortsiktigt och många operativa beslut behöver ständigt fattas utan tid till planering och jämförande med tidigare erfarenheter. Forskningens tidsperspektiv är i de flesta fall mycket långsiktigt och att överbrygga dessa kulturella motsättningar är en utmaning. Förbättrat beslutsunderlag är något som forskningen kan bistå med. Utöver beslutsunderlag riktade åt branschen är det också viktigt att följa upp konsekvenser av den regelutveckling som sker på området (Johnson et al., 2013).

En viktig aspekt för sjöfartens energieffektivisering som det saknas kunskap om är orsaker till att tillgängliga åtgärder inte implementeras. Denna rapport har berört några av de som framkommit i intervjuer, som är baserade på egen erfarenhet och som finns nämnda i litteraturen. Dock saknas övergripande vetenskapliga studier där man verkligen analyserar orsakssamband till att implementering inte sker för vissa typer av åtgärder inom vissa typer av fartygssegment. I en sådan typ av studie bör samtliga sjöfartsegment ingå, då de har skilda förutsättningar.

För att upprätthålla hög energieffektivitet kan incitament användas för besättning och även för agent och hamn. Exempel på sådana incitament är bättre betalt, utbildning eller enbart uppdatering för den enskilde navigatören om hur mycket bunker som förbrukas under hans körning. Det finns en brist på forskning om hur incitament kan användas för att styra utvecklingen mot mer allmän implementering av åtgärder inom alla de områden som tas upp.

## 7 Slutsatser

Effektiva sjötransporter är av avgörande betydelse för svenskt näringsliv och för Sverige som exportnation. Omkring 90 % av den godsvolym som exporteras eller importeras till Sverige har transporterats med fartyg i någon del av transportkedjan. Det är mycket viktigt att hitta kostnadseffektiva lösningar för att sänka industrins transport- och logistikkostnader samt förbättra den globala tillgängligheten för svenskt gods. Sjöfartens växande betydelse har belysts i olika sammanhang, t.ex. i kapacitetsutredningen och i EUs senaste vitbok om transporter, med uttalade mål att lyfta över gods från landbaserad infrastruktur till sjö. Dock står sjöfarten för enorma utmaningar med krav på 40-50 % minskning av koldioxidutsläpp till 2050 jämfört med 2005 års utsläpp, samtidigt som studier av den internationella sjöfarten visar på en trolig nettoökning av energianvändning och CO<sub>2</sub>-emissioner på grund av ökat transportarbete. 2007 motsvarade sjöfartens CO<sub>2</sub>-utsläpp 3-4 % av de globala utsläppsmängderna. En kraftigt ökad energieffektivisering kommer att vara helt avgörande för att en minskning till angivna nivåer skall lyckas.

Operativa, logistiska, tekniska, avtals- och marknadsrelaterade och kommunikativa åtgärder är nyckelkomponenter i målet att minska emissionerna från sjöfarten. Den samlade potentialen för sjöfarten i stort som beskrivs i litteraturen visar att mellan 25-75 % reduktion av koldioxid är möjligt genom att implementera kända åtgärder. Möjligheter till effektivisering på enskilda fartygs skiljer sig åt betydligt både mellan fartyg inom samma fartygssegment och mellan tramp- och linjesjöfart.

Att kända åtgärder inte implementeras får antas ha andra orsaker än rent ekonomiska, då ett flertal av dem innebär ekonomiska besparingar för rederierna. En del förbättringar, främst tekniska, är enklast att implementera vid nybyggnation. Men eftersom fartyg har lång livslängd, oftast upp mot 30 år, är det även mycket betydelsefullt att se vilka förändringar som kan göra med befintlig flotta. Åtgärder inom marknad, avtal och kommunikation är dock ofta oberoende av fartygens ålder för att kunna tillämpas.

För att nå målen med minskade emissioner från transportsystemet krävs kartläggning, vidare forskning och ett ökat fokus på implementeringen av tillgängliga åtgärder

Det behövs vidare forskning på och utveckling av såväl befintliga åtgärder som nya tekniker och metoder för energieffektivare sjötransporter. Arbetet med att energieffektivisera fartygen har pågått sedan mycket lång tid tillbaka genom till exempel teknisk utveckling av skrov och propellrar, containerisering och effektivare hamnoperationer, förbättrade informationssystem, etc. Dock är kombinationen av olika besparingsåtgärder för att minska den totala energiomsättningen, ett relativt nytt forskningsområde både i Sverige och internationellt. Det finns ett stort behov av att förstå hur tekniska, logistiska, beteendevetenskapliga och marknad- och avtalsrelaterade åtgärder påverkar varandra både inom respektive område, men kanske framför allt i kombination mellan ämnesområdena. Samtliga författare som skrivit rapporter eller artiklar inom energieffektiv sjöfart är rörande överens om att det inte finns någon enskild lösning som kraftigt kommer att minska sjöfartens utsläpp av klimatpåverkande gaser. I stället

förespråkas kombinationer av många olika förbättringsåtgärder. Således föreslås en systemanalys av fartygens energianvändning. Detta arbete bör även inkludera analys av de olika sjöfartssegmentens och fartygstypernas skilda förutsättningar för energieffektivisering.

Studien har också identifierat ett behov av kartläggning av svensk sjöfarts bränsleanvändning för att möjliggöra att åtgärder för energieffektivisering används på bästa sätt. Att kartlägga vilka kontrakt som styr bränsleanvändningen i området kan visa vilka åtgärder som bör prioriteras. Kartläggning av energisystemen ombord och bränslemätning har påbörjats och kan kompletteras med studier som omfattar körsätt, kommunikation och incitament i samband med kontinuerlig mätning av bränsleförbrukningen.

Det krävs också ett ökat fokus på att faktiskt implementera tillgängliga åtgärder. För att möjliggöra en positiv utveckling för energianvändandet i sjöfart handlar det troligen om en kombination av politiska styrmedel, vilket dock inte rymts inom denna studie, och också om information och kunskapsöverföring mellan industrin och forskningen. För att åstadkomma detta krävs en kartläggning efter svenska förhållanden av varför kända kostnadseffektiva åtgärder inte genomförs. Därefter bör det undersöka hur man på olika sätt beroende på åtgärder kan nå en snabbare och kostnadseffektivare implementering utan alltför stort risktagande för den enskilde redaren. Att satsa på pilot- och demonstrationsprojekt bedöms vara av stor betydelse för tillämpningen av kända tekniker, verktyg och metoder. I övrigt bedöms forskning i nära samarbete med sjöfartsindustrin underlätta kunskapsöverföring i båda riktningarna och bör därmed öka möjligheterna för en energieffektivare svensk sjöfart i framtiden.



## 8 Referenser

Bazari, Z. och T. Longva (2011) Assessment of IMO mandated energy efficiency measures for international shipping. International Maritime Organization.

BIMCO (2012) <https://www.bimco.org/>

Bird M. (2011) personal communication with Associate Director at Tindall Riley, Managers of The Britannia P&I Club.

Blanchard B. S. och W.J. Fabrycky (1998) Systems Engineering and Analysis, New Jersey, Prentice Hall

Broström (2012), personal communication with Legal & Claims manager

Buhaug, Ø., J.J. Corbett, Ø Endresen, V. Eyring, J. Faber, S. Hanayama, D. S. Lee, D. Lee, H. Lindstad, A. Z. Markowska, A. Mjelde, D. Nelissen, J. Nilsen, C. Pålsson, J. J. Winebrake, W. Wu, K. Yoshida (2009). Second IMO GHG study. International Maritime Organization (IMO), London, UK.

Cariou, P., (2011) Is slow steaming a sustainable means of reducing CO2 emissions from container shipping? Transportation research Part D, 16, 260-264.

Christiansen, M., K. Fagerholt och D. Ronen (2004) Ship routing and scheduling: Status and perspectives. Transportation Science, 38, 1-18.

Christiansen, M., K. Fagerholt, B. Nygreen, D. Ronen (2007) Maritime Transportation. In: Barnhart, C. & Laporte, G. (eds.) Handbook in OR & MS. New York.

Chrzanowski, I. (1980) Shipping in the 1980s---a future with uncertainty? Maritime Policy & Management, 7, 1-8.

Corbett, J. J., H. Wang, och J. J. Winebrake (2009) The effectiveness and costs of speed reductions on emissions from international shipping. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 14, 593-598.

Cut X.T., T.H. Nguyen, K. B. Nguyen, T. M. H. Nguyen, V. P. Nguyen (2004). Study on an effective adaptive autopilot for ships. IEEE International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT), Sapporo, Japan.

Det Norske Veritas (2009) Pathways to low carbon shipping Abatement potential towards 2030 Memo prepared by S. Alvik, M. S. Eide, Ø. Endresen, P. Hoffmann and T. Longva, Approved by: H. O. Madsen and T. E. Svensen

- Eide, M. S., T. Longva, P. Hoffmann, Ø. Endresen och S. B. Dalsoren (2011) Future cost scenarios for reduction of ship CO<sub>2</sub> emissions. *Maritime Policy & Management*, 38, 11-37.
- Effship (2013) <http://effship.com/>
- EU (2012) Working paper: Analysis of market barriers to cost effective GHG emission reductions in the maritime transport sector. CLIMA. B.3/SER/2011/0014.
- European Commission (2011) White paper on Transport: Roadmap to a single European transport area – Towards a competitive and resource-efficient transport system
- Eyring V., I. S. A. Isaksen, T. Berntsen, W. J. Collins, J. J. Corbett, Ø. Endresen, R. G. Grainger, J. Moldanova, H. Schlager, D. S. Stevenson (2009) Transport impacts on atmosphere and climate: Shipping, *Atmospheric Environment* (44) 37, 4735-4771.
- Faber, J., V. Eyring, E. Selstad, P. Kägeson, D. S Lee, O. Buhaug, H. Lindstad, P. Roche, J. Graichen, M. Cames och W. Scharz (2009). Technical support for European action to reducing Greenhouse Gas Emissions from international maritime transport. CE Delft.
- Faber, J., H. Wang, D. Nelissen, B. Russell och D. Amand (2011) Marginal Abatement Costs and Cost Effectiveness of Energy-Efficiency Measures. MEPC 62/INF. 7. CE Delft, Delft.
- Faber, J., D. Nelissen, G. Hon, H. Wang, M. Tsimplis (2012). Regulated slow steaming in maritime transport an assessment of options, costs and benefits. CE Delft. Delft, Netherlands.
- Fusillo, M. (2004) Is liner shipping supply fixed? *Maritime Economics & Logistics*, 6, 220-235.
- Hansen H, Freund M (2010) Assistance tools for operational fuel efficiency. Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries (COMPIT), Gubbio, Italy.
- Haralambides, H. E. (2004) Determinants of price and price stability in liner shipping. Proceedings of the Workshop on The Industrial Organization of Shipping and Ports; 5-6 March 2004, National University of Singapore, Singapore.
- HELCOM (2009) Overview of the shipping traffic in the Baltic Sea, [http://www.helcom.fi/shipping/navigation/en\\_GB/navigation/](http://www.helcom.fi/shipping/navigation/en_GB/navigation/) (Hämtad 2012-12-09).
- Henningsen, R.F. (2000). Study of greenhouse gas emissions from ships. Norwegian Marine Technology Research Institute (MARINTEK), Trondheim, and the International Maritime Organisation (IMO), London, UK.
- Higginson, J. K. och T. Dumitrascu (2007) Great Lakes short sea shipping and the domestic cargocarrying fleet. *Transportation Journal*, 46(1), 38-50.

Hunter, G. (2011) BIMCO Slow Steaming Clause for Time Charter Parties, Special circular No. 7 - 23 Dec 2011

Hunter, G. (2012) BIMCO Slow Steaming Clause for Voyage Charter Parties, Special circular No. 5 - 31 July 2012

IMO International Maritime Organization (1983) Ships' routing.  
<http://www.imo.org/ourwork/safety/navigation/pages/shipsrouteing.aspx> (Hämtad 2012-12-09).

Intertanko and OCIMF (2011) Virtual Arrival Optimising Voyage Management and Reducing Vessel Emissions – an Emissions Management Framework, Second Edition May 2011

Jaffe, A. B., och R. N. Stavins (1994) The energy-efficiency gap What does it mean?, Energy Policy, 22(10), 804-810

Johnson, H. och K. Andersson (2011) The energy-efficiency gap in shipping: barriers to improvement. International Association of Maritime Economists (IAME) Conference, Santiago de Chile, Chile.

Johnson, H. och L. Styhre (2013) Increased energy efficiency in short sea shipping through increased port efficiency. Arbetsdokument.

Johnson, H., M. Johansson och K. Andersson (2012) Barriers to improving energy efficiency in short sea shipping – a case study. International Research Conference on Short Sea Shipping, Lisbon.

Johnson, H., M. Johansson, K. Andersson, och B. Södahl (2013) Will the Ship Energy Efficiency Management Plan reduce CO2 emissions? A comparison with ISO 50001 and the ISM Code. Maritime Policy & Management., kommande publikation

Karlsson, R. (2007) A shipowner perspective on lightweight constructions LASS full day seminar October 31, 2007.

Karlsson, R. (2012) Hydrodynamic Effects of Lightweight Construction - Possibilities to Utilize Reduced Weight for Better Energy Efficiency in Ship Design, 2nd INTERNATIONAL CONFERENCE LIWEM 2012 Light Weight Marine Structures.

Kesicki, F. och N. Strachan (2011) Marginal abatement cost (MAC) curves: confronting theory and practice. Environmental Science & Policy, 14, 1195-1204.

Kesicki, F. och P. Ekins (2012) Marginal abatement cost curves: a call for caution. Climate Policy, 12 (2012), 219-236.

Liker, J.K. (2004) The Toyota Way, CWL Publishing Enterprises, Inc., Madison, USA.

- Lindstad, H., B. E. Asbjörnslettoch A. H. Strömman (2011) Reductions in greenhouse gas emissions and cost by shipping at lower speeds. *Energy Policy*, 39, 3456-3464.
- Mangan, J., C. Lalwani, och B. Gardner (2002) Modelling port/ferry choice in RoRo freight transportation. *International Journal of Transport Management*, 1(2), 15-28.
- MarNIS (2006) Simplification of information flows, EU-projektet MarNIS, Deliverable reference number: D1.3.C. Huvudförfattare Styhre, L.
- MEPC (2011a) RESOLUTION MEPC.203(62) Adopted on 15 July 2011  
AMENDMENTS TO THE ANNEX OF THE PROTOCOL OF 1997 TO AMEND  
THE INTERNATIONAL CONVENTION FOR THE PREVENTION OF  
POLLUTION FROM SHIPS, 1973, AS MODIFIED BY THE PROTOCOL OF  
1978 RELATING THERETO (Inclusion of regulations on energy efficiency for ships  
in MARPOL Annex VI), International Maritime Organization
- MEPC (2011b) REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS Marginal  
Abatement Costs and Cost Effectiveness of Energy-Efficiency Measures, Submitted  
by the Institute of Marine Engineering, Science and Technology (IMarEST),  
International Maritime Organization
- MEPC (2012) RESOLUTION MEPC.213(63) Adopted on 2 March 2012, 2012  
GUIDELINES FOR THE DEVELOPMENT OF A SHIP ENERGY  
EFFICIENCY MANAGEMENT PLAN (SEEMP), International Maritime  
Organization
- Nguyen, D. B. (2009) Impact of high fuel costs on the shipping industry and the world  
trade, *Proceeding of The globalization and its implications for shipping in the 21st  
Century*, Cardiff, UK, 22 januari 2009.
- Paixão, A. C. och P. B. Marlow (2003) Fourth generation ports—a question of agility?  
*International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 33, 355-376.
- Ronen, D. (1982) The effect of oil price on the optimal speed of ships. *Journal of the  
Operational Research Society*, 1035-1040.
- Sjöfartstidningen (2012) <http://www.sjofartstidningen.se> (Hämtad 2012-12-12).
- SMHI (2012) <http://www.smhi.se/en/News-archive/smhi-weather-routing-reduces-carbon-dioxide-emissions-1.8308> (hämtad 12-12-14).
- Statens energimyndighet (2012) Transportsektorns energianvändning 2011, ES2012:01
- Steenken, D., S. Vos, och R. Stahlbock (2004) Container terminal operation and operations  
research—a classification and literature review. *OR spectrum*, 26, 3-49.
- Styhre, L. och K. Lumsden (2007) Vessel capacity utilisation in ferry services and the bridge  
substitute dilemma. *Journal of Maritime Research*, 4(3), 55-66.

- Styhre, L. (2010) Capacity utilisation in short sea shipping, Doktorsavhandling, Chalmers University of Technology.
- Svenska redareföreningen (2011) Sjöfartsåret 2010-2011 Sveriges Redareförenings verksamhet. Breakwater Publishing.
- Svensson, E. (2012). Styröbolaget satsar på mätsystem med direkt stimuli och respons. Skärgårdsredaren, 71 (3), 12-13.
- Trafikanalys (2011) Svenska och utländska fartyg i svensk regi 2011, Sveriges officiella statistik
- Trafikanalys (2012) Sjötrafik 2011, Sveriges officiella statistik (2012:7)
- Trafikverket (2011) Nationell plan för transportsystemet 2010–2021: Prognos för godstransporter 2030 Report 2011:067, Borlänge
- Trafikverket (2012a) Transportsystemets behov av kapacitetshöjande åtgärder – förslag på lösningar till år 2025 och utblick mot år 2050. Publikationsnummer: 2012:100. ISBN: 978-91-7467-298-5. Utgivningsdatum: 2012-04-27.
- Trafikverket (2012b) Potential fuel savings from operational measures in sea transport, publikationsnummer 2012:205.
- UNCTAD (2004) Assessment of a seaport land interface: an analytical framework. [http://www.unctad.org/en/docs//sdtetlbmisc20043\\_en.pdf](http://www.unctad.org/en/docs//sdtetlbmisc20043_en.pdf) (hämtad 2009-12).
- UNCTAD (2009) Review of maritime transport 2009. New York and Geneva, United Nations.
- VINNOVA Rapport VR2005:12, Kompetensutveckling i små- och medelstora företag – SMF
- Voulvoulis, N., M. D. Scrimshaw och J. N. Lester (2002) Comparative environmental assessment of biocides used in antifouling paints. Chemosphere 47(7), 789–795. Imperial College of Science, Technology and Medicine, London, UK.
- Wibeck, V. (2000) Fokusgrupper om fokuserade gruppintervjuer som undersökningsmetod. Studentlitteratur, Lund, Sweden.
- Williams, Å. (1980) SSPA Meddelande Nr 87, 1980, What can new hull forms do to minimize fuel costs?
- Wortley, L. (2012) Fuel efficiency measures and charterparty terms – less speed, more disputes?, [www.birketts.co.uk/publications/legal-updates/1257](http://www.birketts.co.uk/publications/legal-updates/1257)

Wu, W.-M. (2009) An approach for measuring the optimal fleet capacity: Evidence from the container shipping lines in Taiwan. *International Journal of Production Economics*, 122, 118-126.

Wärtsilä (2008) Boosting energy efficiency. *Energy Efficiency Catalogue*, Helsinki, Finland.