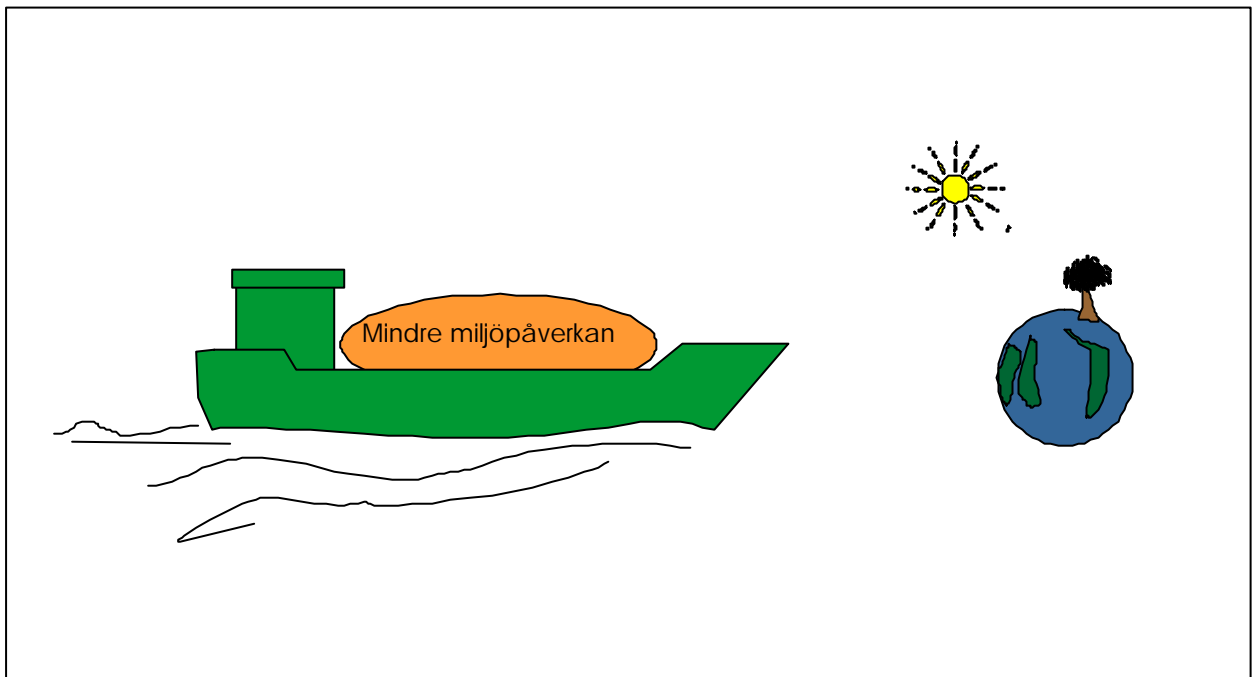


FÖRSTUDIE:
ekologiskt hållbart
sjötransportsystem



KFB Dnr: 1999-0526
Göteborg 2000-09-12

förstudie

FÖRFATTARE

Eje Flodström

Karl Jivén

Anders Sjöbris

TITEL

Förstudie: Ekologiskt hållbart sjötransportsystem

KFB DNR

1999-0526

PUBLICERINGSDATUM

2000-09-12

UTGIVARE

MariTerm AB, Box 12037, 414 51 Göteborg

INNEHÅLL

1	FÖRORD	4
2	INLEDNING	5
2.1	BAKGRUND	5
2.2	SYFTE MED STUDIEN	5
2.3	MÅLET MED STUDIEN	6
2.4	METOD OCH ARBETSGÅNG	6
3	DEFINITION AV LÅNGSIKTIGT EKOLOGISKT HÅLLBART	7
3.1	INLEDNING, LÅNGSIKTIGT EKOLOGISKT HÅLLBART	7
3.2	VAD KRÄVS FÖR ATT UPPNÅ DET EKOLOGISKT HÅLLBARA	7
3.3	VÄGEN MOT DET EKOLOGISKT HÅLLBARA TRANSPORTSYSTEMET	8
4	FAKTOR 10	10
5	PROBLEMOMRÅDEN	11
5.1	VÄXTHUSGASER	11
5.2	KVÄVEOXIDER	11
5.3	FÖRSURANDE ÄMNEN	12
5.4	PARTIKLAR	12
5.5	KEMIKALIER	12
5.6	SVINN FRÅN KRETSLOPPET	13
5.7	BULLER	13
5.8	SVALL	13
6	MILJÖVÄNLIGARE SJÖFARTSTEKNIK	15
6.1	FARTYGSPROJEKTERING	15
6.2	KONSTRUKTIONSMATERIAL	16
6.2.1	<i>Alternativa material</i>	16
6.2.1.1.	Glasfiberarmerad plast och Kolfiberarmerad plast	17
6.2.1.2.	Höghållfasta stål	17
6.2.1.3.	Aluminium	17
6.2.1.4.	Biobaserade material	18
6.3	YTBEHANDLING	18
6.4	ANTIFOULING OCH BEVÄXTNINGSHINDRANDE BEHANDLING	18
6.5	UTRUSTNING	19
6.5.1	<i>Materialförbrukning</i>	19
6.5.2	<i>Förbrukning av smörjolja, hydraulolja, hylsolja</i>	20
6.6	MASKINSYSTEM	20
6.6.1	<i>Effektivisering</i>	20
6.6.2	<i>Alternativa ekologiska maskinsystem</i>	21
6.6.2.1.	Bränsleceller	22

6.7	ENERGIBÄRARE	23
6.7.1.1.	Vätgasframställning	24
6.7.1.2.	Lagring av väte	25
6.8	FRAMDRIFT OCH MOTSTÅND	26
6.8.1	<i>Vågbildning</i>	28
6.9	UPPHUGGNING	28
7	PROJEKT INOM OMRÅDET	30
7.1	MODERN WINDSHIP	30
7.2	MARITIM MILJÖSATSNING	31
7.2.1	<i>Livscykelanalys för fartygstransporter</i>	32
7.2.2	<i>Miljöåtgärder för existerande skip</i>	32
7.2.3	<i>ESMA, Efficient Ship Machinery Arrangement</i>	32
7.3	MARPOWER	32
7.4	SJÖFARTSSYSTEM MED EKOLOGISKA FÖRTECKEN	33
7.4.1	<i>Södra Shipping</i>	33
7.4.2	<i>Stora Enso</i>	33
7.4.3	<i>Ecoship</i>	33
8	RESULTAT OCH SLUTSATSER	35
8.1	DRIFT	35
8.2	ÅTERVINNING	36
8.3	NYA LÅNGSIKTIGT EKOLOGISKT HÅLLBARA FARTYG	36
9	HUVUDPROJEKT, EKOLOGISKT HÅLLBARA FARTYG	37
9.1	RESULTAT	38
9.2	ARBETSOMRÅDEN	38
9.2.1	<i>Struktur, materialval, ytbehandling</i>	39
9.2.2	<i>Framdrift och motstånd</i>	39
9.2.3	<i>Komponenter och system ombord</i>	40
9.2.4	<i>Anpassning av lastbärare och hanteringssystem</i>	40
9.2.5	<i>Utvärderings- och optimeringsverktyg</i>	40
9.3	METOD	41
9.4	STYRGRUPP	41
10	REFERENSER	42
10.1	LITTERATUR	42
10.2	PERSONLIGA KONTAKTER	44

1 FÖRORD

Vid planeringen av upplägget av denna förstudie fanns förhoppningen om att hitta en mängd, redan utförda, studier som visade på möjligheten att med ny teknik kunna erhålla rejält bättre resursutnyttjande och i slutändan långsiktigt ekologiskt hållbara transporter. Denna förhoppning har delvis infriats.

Mycket av den teknik och de kunskaper som krävs för att teoretiskt kunna konstruera det långsiktigt ekologiskt hållbara sjötransportsystemet finns idag, enligt vår bedömning. Inom vissa områden krävs fortsatt forskning och utveckling samt en större efterfrågan för att ny teknik skall bli kommersiell.

Det är vår förhoppning att sjötransporter inom en inte alltför avlägsen framtid kommer att utföras med en avsevärt mindre påverkan på omgivningen och med avsevärt minskad resursåtgång. Vi hoppas att denna studie kan bidra till att knuffa utvecklingen någon liten bit i rätt riktning.

Göteborg 2000.09.12

2 INLEDNING

2.1 Bakgrund

Idag står sjöfarten för en växande andel av den negativa miljöpåverkan som härrör från utvecklingen av det moderna post industriella samhället. Ett exempel på detta är utsläpp till luft där sjöfarten globalt sett står för 7-14% av kväveoxidutsläppen och runt 5% av allt utsläpp av svavel till luft från förbränningskällor.^{1, 2} Sjöfartens utsläpp av skadliga emissioner är inte bara stora mängdmässigt, de är tyvärr även i många fall stora i förhållande till utfört transportarbete.

Sjöfarten har en stor potential när det gäller att uppnå miljövänliga transporter. Viktigast är möjligheten att transportera stora godskvantiteter med låg energiförbrukning, i många fall lägre än något annat transportsätt. Dessutom kräver sjötransporter förhållandevis lite fasta installationer vilket i sin tur minskar påverkan på miljön från infrastrukturer runt transporten, jämför hamnar och farleder med vägar respektive järnvägar. Stora mängder gods transporteras energieffektivt på detta sätt runt om i världen. Skeppning av olja i bulk är ett tydligt exempel på energieffektiva transporter. Energieffektivitet hos sjöfarten är dock inte självklar. Det finns gott om exempel på sjötransportsystem där energieffektiviteten har haft en låg prioritering och andra faktorer, såsom till exempel lasthantering, servicegrad eller hastighet har lett till lösningar med "hög energisparpotential".

En annan faktor som talar för att sjöfarten skulle vara lämplig att använda som objekt för ett pilotprojekt vid utarbetandet av ett *långsiktigt ekologiskt hållbart* transportsystem är att fartyg redan idag byggs som enstaka konstruktioner med specialanpassade och individuella lösningar. Det finns alltså en vana inom branschen att söka problemspecifika lösningar. Därför kan det vara lämpligt att studera sjötransporter när ett kraftfullt och effektivt ekologiskt hållbart transportsystem skall skisseras.

Åtgärder för att minska en viss typ av negativ miljöpåverkan får naturligtvis inte leda till avsevärda försämringar inom något annat område. Exempelvis kan påväxten på fartygens botten öka markant om bottenfärgen skulle bytas ut mot någon mindre effektiv variant, vilket kan leda till avsevärt ökat framdrivningsmotstånd. Inte heller försämringar som utgör fara för människor eller äventyrar sjösäkerheten kan godtas då miljöförbättrande åtgärder genomförs.

2.2 Syfte med studien

Syftet med denna förstudie är att försöka definiera kriterier för ett långsiktigt hållbart fartyg och identifiera det som saknas i dagen fartygsteknik och drift för att uppfylla denna definition.

Detta material skall sedan användas för att utforma linjerna för ett huvudprojekt vilket skall kunna bli ett hjälpmedel för fartygsprojektering och nybyggnation av fartyg så att en utveckling mot miljömässigt hållbarare fartyg kan ås tads komma.

¹ Corbett och Fischbeck (1997).

² Johnsen, Endresen & Sjørgård (2000).

Genom att uppskatta potentialen för miljöförbättrande åtgärder inom sjöfarten skall det bli möjligt att besluta vilka områden som är lämpliga att utveckla och bearbeta, för att nå målet med ett ekologiskt hållbart sjötransportsystem.

Sjöfartens miljöpåverkan skall naturligtvis inte betraktas isolerat från miljöpåverkan från andra samhällsfunktioner. Exempelvis finns möjligheten att åstadkomma en miljöförbättring genom att föra över transporter till sjöfart från de energiintensiva transportmedlen lastbil och flyg. Denna studie är emellertid i första hand inriktad på den tekniska potentialen att åstadkomma en minimal påverkan från fartyg utan att för den skull bortse från fartygets funktion i ett rationellt transportsystem.

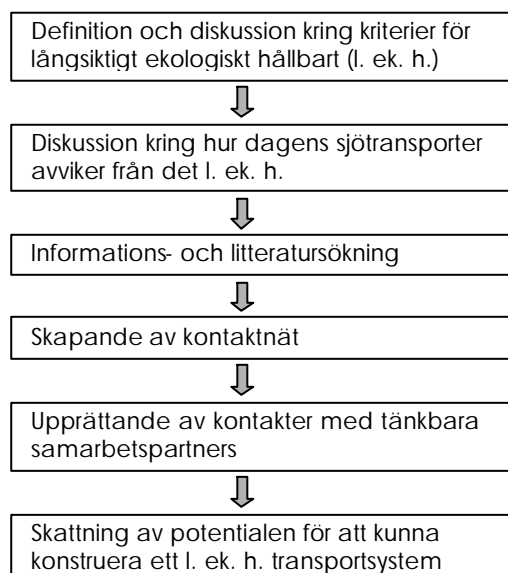
2.3 Målet med studien

Målet med studien är att samla kunskap kring komponenter, system etc som kan användas i utvecklingen av ett helt ekologiskt sjötransportsystem. Den skall även leda till kontakter och referenser för fortsatt arbete. Studien har även haft som mål att skissera en tänkbar huvudstudie.

2.4 Metod och arbetsgång

Basen för arbetet med denna studie är tidigare arbeten utförda inom ett brett spektrum av discipliner samt kunskap och erfarenhet hos personer som arbetar inom berörda områden. Arbetet har utförts dels teoretiskt med resonemang kring inhämtad information och som diskussion kring berörda områden. Litteratursökning och inhämtning av information har tillsammans med skapande av kontaktnät inom berörda områden varit centrala delar av studien. Information har inhämtats genom sökning i databaser, sökning i tidskrifter, sökning på Internet och genom intervjuer.

Arbetsgången för studien har i stort följt planen i Figur 1. Vissa moment har skett parallellt. Slutligen har ett huvudprojekt med tänkbara samarbetspartners skisserats.



Figur 1 Förstudiens arbetsgång.

3 DEFINITION AV LÅNGSIKTIGT EKOLOGISKT HÅLLBART

3.1 Inledning, långsiktigt ekologiskt hållbart

Varje försök till definition av vad som är *långsiktigt ekologiskt hållbart* kan naturligtvis diskuteras. Vad som är rätt eller fel kan vi idag inte avgöra, möjligen är det lättare i framtiden att avgöra var de största avstegen från en sund ekologisk verksamhet funnits. Trots detta ges här en definition av hur detta begrepp definierats i denna studie.

Det finns några definitioner av hållbarhet som kan vara värda att nämna i sammanhanget. Den mest kända definitionen är kanske den Brundtlandkommissionen enades om i slutet av 1980-talet och som blivit vida spridd och brett accepterad. Brundtlandkommissionens definition tog fasta på att "*dagens behov skall tillgodoses för hela jordens befolkning men att detta inte får ske på ett sätt som äventyrar kommande generationers möjligheter att tillgodoses sina behov*". En tidigare definition till definition av ekologiskt hållbart gjordes i Världsstrategin för naturvård som kom 1980. Begreppet "uthållig utveckling" definierades då som "*att bruka naturresurserna utan att de förbrukas*".³

3.2 Vad krävs för att uppnå det ekologiskt hållbara

En mängd faktorer bör vara uppfyllda inom vitt skilda områden för att en verksamhet skall kunna klassas som långsiktigt ekologiskt hållbart. Möjligen kan definitionen ekologiskt hållbar vara något snävare än det mer vidare begreppet hållbart. Vissa faktorer som kan gå under begreppen ekonomiskt hållbart, rättvisemässigt hållbart och socialt hållbart skulle då kunna tänkas uteslutas då definitionen ekologiskt hållbart används. Dock kan det tänkas vara svårt att definiera verksamhet som *långsiktigt ekologiskt hållbart* verksamhet utan att ta hänsyn till sociala, rättvise- och ekonomiska faktorer.

Att säkerhetsmässiga faktorer skall beaktas i ett ekologiskt hållbart system ger sig självt av olika anledningar. Dels av att olyckor kan skada natur och människor som är en del av det ekologiska systemet och dels av att olyckor ofta ger materialförluster som kan ses som slöseri och därför inte kan betecknas som hållbart. Naturligtvis behöver omfattningen och frekvensen av olyckor beaktas för att utröna graden av avsteg från det ekologiskt hållbara.

För att i praktiken kunna implementera ett system som är långsiktigt ekologiskt hållbart krävs en att ett en mängd faktorer faller på plats och samverkar. Ett hållbart system kan tänkas behöva uppfylla krav på:

- Tekniskt genomförbarhet
- Praktisk genomförbarhet
- Ekologisk hållbarhet
- Ekonomisk hållbarhet

³ Naturskyddsföreningen (1998) refererar till; IUCN, 1980, *World Conservation strategy – Living Resource Conservation for Sustainable Development*.

- Säkerhet
- Rättvisa

Strävan bör vara att varje komponent eller aktivitet systemet byggs upp av skall, i så stor grad som möjligt, uppnå målet att vara långsiktigt ekologiskt hållbart. Om exempelvis systemkomponenten framdrift av fartyget skall påvisas vara ekologiskt hållbar i stort kan stegen tänkas vara:

*Generering av energibäraren (EB) **P**Lagring av EB **P**Överföring av EB **P**Transport av EB **P**
Omvandling ombord till el/ värme/ mekanisk energi **P**Restprodukter*

Delsystem och processer bör dessutom sättas in i större sammanhang för att utvärdera hållbarheten i totalsystemen och undvika suboptimering.

3.3 Vägen mot det ekologiskt hållbara transportsystemet

En intressant del i arbetet med att anpassa sjötransporter, som även tangerar problematiken kring vad som är långsiktigt ekologiskt hållbart, är om en minskning av förbrukningen av icke förnyelsebara resurser kan räcka för att erhålla ett ekologiskt hållbart transportsystem. Ett annat sätt att se på frågan är om själva *definitionen* av *långsiktigt ekologiskt hållbart* medför att ändliga resurser inte skall förbrukas i någon nämnvärd grad. Ett exempel skulle kunna vara frågan om ett fartyg som drivs med fossilt bränsle skulle kunna få status som långsiktigt ekologiskt hållbart om konsumtionen av energi per transportarbete kunde hållas tillräckligt låg eller avsevärt bättre än andra alternativ. Det viktigaste är naturligtvis inte om ett transportsystem faller inom en viss definitionsram utan att miljöförbättrande åtgärder genomförs. Optimalt är om resursförbrukningen minimeras och att insatsvarorna samtidigt är förnyelsebara.

Vad som kan vara viktigt att ta hänsyn till då nya system byggs upp är om det finns en risk för att en lösning, även om den på kort sikt ger avsevärda fördelar ur miljösynpunkt, kan komma att permanentas. Ett sådant system kan sedan ligga och spärra för kommande lösningar med avsevärt större fördelar. Detta resonemang gäller kanske främst utförandet av energisystem och hur distributionen av energibärare struktureras. Här har vi bland annat diskussionen om bränslecellsbilar/fartyg skall förses med utrustning ombord för utvinning av väte ur fossilt bränsle. Även om dessa skulle köras på fossilt bränsle försvinner många av de negativa delarna dagens bilar genererar såsom de flesta emissioner (dock ej CO₂) samt att totalverkningsgraden generellt kan förbättras. Här skulle snabba resultat kunna erhållas utan att strukturen för energidistribution behöver ändras. Problematiken med koldioxid skulle däremot kvarstå som olöst.

En annan fråga är hur stora operationella risker som ett system kan tillåtas att innehålla. Ett system som i teorin fungerar felfritt med en låg miljöpåverkan, på det sätt det är konstruerat, kan ibland visa sig vara avsevärt sämre i praktiken. Exempel på sådana system är läns-vattenseparatorer där de utsläppsnivåer som garanteras och är lagstadgade sällan uppnås i praktiken eller utsläpp av kylmedel från kylsystem. Exempelvis en holländsk undersök-

ning⁴ visar på att utsläpp, långt över lagstadgade gränser, är vanliga inom handelssjöfarten. Här kan det diskuteras om system som uppenbart lätt kan ge miljöproblem om de inte fungerar mycket väl, skall kunna klassas som hållbara. Det optimala är om exempelvis alla ämnen, som används respektive bildas i olika system och processer, är lätt nedbrytbara av naturen vilket skulle resultera i att olyckor, felaktiga handhavanden eller slarv inte ger så stor miljöpåverkan. Förnyelsebar och ekologiskt nedbrytbara hylsolja ett bra exempel på en produkt som minimerar risker och negativ miljöpåverkan både vid normal drift och vid onormalt läckage. Beräkningar och resonemang av detta slag kan föras med enkla riskanalyser och konsekvensbeskrivningar.

⁴ Wildmark (2000).

4 FAKTOR 10

Ett begrepp som då och då dyker upp i diskussioner om vårt framtida samhälle är begreppet *Faktor 10*. Detta begrepp är en vidareutveckling av uttrycket *Faktor 4* som lanserades i början av 1990-talet av Weizsäcker på Wuppertalinstitutet i Tyskland. Uttrycket faktor 4 står kortfattat för att resurseffektiviteten i samhället kan och bör förbättras med en faktor fyra. Tanken bakom detta är att välfärden skulle få en möjlighet att fördubblas samtidigt som resursuttaget kan halveras. Denna effektivisering var tänkt att kunna ske inom en generation, ca 25 år.

En faktor fyra skulle räcka för att hålla nere miljöpåverkan på en långsiktigt hållbar nivå i dagens industriländer. Detta skulle dock inte räcka på långa vägar om alla jordens medborgare, inklusive en förväntad befolkningsökning, skall innefattas av den välfärd som idag ses som självklar i i-världen. För att hålla jordens miljöbelastning på en rimlig nivå samtidigt som alla på jorden har möjligheten att åtnjuta den standard som finns i dagens länder krävs en rejält större uppoffring. Det är mot denna bakgrunden begreppet *Faktor 10* vuxit fram.

För att kunna uppnå en effektivisering på 10 gånger krävs stora insatser. Sannolikt är det inte alltid möjligt att effektivisera den process eller tjänst som finns tillgänglig idag. Det kommer kanske att bli nödvändigt med tankar i nya banor. Ett sätt att lösa vissa problem kan vara att se till funktionen och inte processen. Ett annat kan vara att se till hela systemet runt produkter och tjänster och därmed bearbeta problemet i ett helhetsperspektiv.

En effektivisering av fartygstransporter med en faktor 10, avseende på total miljöpåverkan, kan ses som en lagom stor utmaning!

För att uppnå ett sådant mål måste ansatser tas, verktyg utvecklas och goda exempel genomföras för att öppna vägen mot hållbara transportsystem. Exempelvis skapades det nya StoraEnso-systemet, benämnt Baseport-systemet, för distribution av skogsprodukter från Sverige till kontinenten med utgångspunkt från tankegångar i faktor 10. Målet var bland annat att skapa ett transportsystem som hade lägre energiförbrukning än det bästa alternativa systemet.

5 PROBLEMOMRÅDEN

Ett antal olika problemområden kan formuleras, där avsteg sker idag från det ekologiskt hållbara. Den nedan formulerade listan, över miljöpåverkan från sjöfarten, gör på intet sätt anspråk på att vara komplett utan skall mer ses som exempel på viktiga områden att arbeta med.

- Utsläpp av koldioxid och andra växthusgaser.
- Utsläpp av kväveoxider.
- Utsläpp av svavel och andra försurande ämnen.
- Utsläpp av partiklar och andra hälsofarliga ämnen.
- Förbrukning av ändliga resurser inklusive bruk av fossila bränslen.
- Bruk av miljö- eller hälsoskadliga kemikalier eller andra ämnen.
- Deponering och svinn från kretsloppet av metaller etc.
- Buller (över och under vattnet).
- Svall.
- Ibruktagande och användning av mark- och vattenområden vilket kan leda till förändringar av känsliga naturmiljöer och/eller barriäreffekter.

Idag arbetas och forskas det intensivt inom alla ovan nämnda områden. Mycket arbete kvarstår dock innan sjöfarten omvandlats till en ekologiskt hållbar transportindustri. Nedan ges en kort inledning till de ovanstående punkterna.

5.1 Växthusgaser

Idag drivs nästan all sjöfart, i stort sett utan undantag, med fossila bränslen. Utsläppen av fossila bränslen är i princip helt proportionella mot energiförbrukningen ombord. I princip därför att detta kan påverkas något genom val av energibärare. Exempelvis finns naturgasdrivna fartyg, där naturgasen, genom sitt något högre väteinnehåll per värmevärde, ger något mindre koldioxidutsläpp.

Det finns även andra växthusgaser som släpps ut från fartyg, exempelvis vid läckage av vissa köldmedier i kylanläggningar. Den stora mängden växthusgaser från sjöfarten kommer dock från förbränningen av fossila bränslen.

5.2 Kväveoxider

Sjöfarten står för en proportionerligt sett stor andel av de kväveoxider som släpps ut globalt. Europa och Norden är inget undantag från detta globala fenomen. Anledningen till sjöfartens höga NO_x-utsläpp är själva processen vid bildandet. NO_x-bildning är tidsberoende och gynnas av höga temperaturer. Dieselmotorn som framförallt används för dess höga verkningsgrad, har till stor del just hög verkningsgrad på grund av den höga förbränningstemperaturen. Hög förbränningstemperatur ökar bildandet av kväveoxider. Till sjöss har motorer med hög verkningsgrad prioriterats vilket i sin tur då lett till höga kväveoxid-

emissioner från sjöfarten. Att emissionsnivåer på fartygsmotorer dessutom ännu är i det närmaste totalt oreglerade har säkerligen bidragit till att motorer för sjöfartsbruk har högre utsläppsnivåer än motsvarande dieselmotorer på land. I dag finns lovande metoder för reduktion av kväveoxider utan att verkningsgraden påverkas. Den så kallade SCR tekniken reducerar kväveoxiderna efter motorn vilket inte stör förbränningsprocessen. Den relativt nyutvecklade HAM⁵-tekniken befuktar insugningsluften med hjälp av överskottsvärme, vilket ger sänkt förbränningstemperatur som visat sig leda till kraftigt minskade kväveoxidutsläpp med bibehållen eller förbättrad verkningsgrad⁶.

5.3 Försurande ämnen

Avsaknaden av effektiva regleringar har bidragit till att utsläppsmängderna av försurande ämnen från sjöfarten inte har reducerats. Den största mängden försurande emissioner från sjöfarten härrör från svavel i bränslet. Att rena bränslet från svavel som finns naturligt i de flesta råolja är en dyr process.

Bränslen som säljs på land inom transportsektorn inom EU får, efter den 1 januari 2000, inte innehålla högre svavelhalt än 50 ppm (98/70/EG). Jämförs detta med de bunkerkvaliteter som inom sjöfarten kallas för lågsvavliga, innehåller dessa 0,5-1 % (5 000-10 000 ppm), alltså 100-200 gånger mer svavel.

5.4 Partiklar

Dieselmotorer ger upphov till stora mängder fina partiklar. Skadan av små fina partiklar har omvärderats och räknas numera som en mycket stor hälsofara, dels för att mindre partiklar transporteras längre och dels för att de vid inandning kan färdas längre ner i lungorna. Dessutom kan mindre partiklar adsorbära större relativ mängd med skadliga molekyler som cancerogena, polycykliska aromatiska kolväten (PAH)⁷. Vissa partiklar deponeras i ett närområde till utsläppskällan varför dessa är av minde problem för sjöfart än för landtransportmedel. Detta därför att exponeringen på liv inom sjöområdet är relativt begränsad.

5.5 Kemikalier

Bedömningar görs att de miljöskadliga ämnen som idag når hav och skärgård inte längre i så stor utsträckning härrör från industriella utsläpp. Idag kommer istället mycket av skadliga ämnen från användning av kemiska produkter.⁸ Många rederier arbetar idag med att fasa ut produkter som har hög miljöpåverkan mot bättre alternativ där så är möjligt. Det finns en mängd exempel på miljömässigt olämpliga kemikalier och ämnen som utan speciellt stora problem eller kostnader kan bytas mot avsevärt bättre. En del skadliga produkter kan bytas ut mot i princip ofarliga. Exempel på detta är lösningsmedelsbaserade rengö-

⁵ HAM: Humid Air Motor. En metod där spillvärme från motorn används för att förångna vatten som insugningsluften fuktas med. Utvecklad av Munters Component.

⁶ Förbättrad verkningsgrad kan erhållas då motorn kan optimeras mot hög verkningsgrad istället för mot låg kväveoxidbildning.

⁷ Avdelningen för tillämpad miljövetenskap, Göteborgs Universitet (1997).

⁸ Ahlbom och Duus (1999).

ringsmedel avsedda att användas på däck och i maskin som ersatts med mindre skadliga kokosbaserade rengöringsmedel. En efterfrågan på miljövänliga produkter påskyndar utvecklingen av dessa.

5.6 Svinn från kretsloppet

En mycket positiv del i dagens fartyg, beaktade som system, är att en stor andel av själva fartyget består av stål. Då fartyget huggs upp tas normalt allt stål tillvara för återvinning. Nu består inte fartyg enbart av stål och även övriga material bör vara återvinningsbara eller möjliga att använda som bränsle etc. i så hög grad som möjligt.

Det kan vara värdefullt att genomföra förenklade livscykelanalyser vid fartygsprojektering med avseende på resurser under ett fartygs livscykel. Här bör då även bunker, reservdelar, kemikalier med mera beaktas. Exempelvis kan ett enkelt räkneexempel ge att ett fartyg med lättvikt på 10.000 ton som förbrukar 50 ton bränsle per vecka totalt skulle förbruka 50.000 ton bunker på 20 år, ett antal ton reservdelar och så vidare. Denna typ av beräkningar kan visa på områden viktiga att prioritera med avseende på miljöförbättrande åtgärder.

5.7 Buller

Med tanke på att ca 30 % av Europas befolkning kan definieras som bullerstörda⁹ (exponerade för mer än 55 dB) är buller ett stort miljöproblem i Europa. På grund av sjötrafikens natur exponeras människor i mycket ringa grad av buller direkt från sjötrafik. Däremot är terminalverksamheten i hamnar en verksamhet som kan generera avsevärda mängder med buller. Det finns dock mycket kvar att önska kring buller från fartyg, inte minst i arbetsmiljösynpunkt ombord. Ett annat område inom miljö och buller som kan vara intressant att studera är det buller som fortplantar sig genom vattnet och vilken påverkan detta har på havets växt- och djurliv. Även här finns lösningar, förändrad propellerutformning eller med hjälp av luftskärmar för att minska buller i havet. Att använda avskärmande metoder medför normalt ökade energiförluster.

5.8 Svall

Svall har genererats från fartyg i alla tider människan har haft båtar. Problemen kring fenomenet har dock inte uppmärksamrats förrän under senare år. Problemet har accentuerats genom de nya vågfenomen som uppkommit genom att höghastighetsfartygen blivit vanligare. Utvecklingen har gått mot större och större fartyg vilket medfört att fartyg som går i trånga passager förorsakat ett ökat svall genom kraftiga vattenströmningar vid passage i områden som inte utsätts naturligt för svall. Särskilt uppmärksammat har problemen med svall från höghastighetsfartyg blivit där svallet även har haft en annan karaktär med längre våglängd än för svall från traditionella fartyg. Den längre våglängden medför två försvårande omständigheter, dels att svallet fortplantar sig med en högre hastighet och dels att svallets våghöjd, som kan vara måttlig på djupt vatten, ökar dramatiskt då det grundar upp.

⁹ EEA (2000).

Här finns exempel¹⁰ där tydliga bottenförändringar kan ses då höghastighetsfärjor introduceras på traditionella fartygsrutter. Även problematik med att olika vattenskikt blandas om samt att vågor kan fortplanta sig i olika vattenskikt är problem som uppmärksammas på senare tid.

¹⁰ Ström och Ziegler (1998).

6 MILJÖVÄNLIGARE SJÖFARTSTEKNIK

För att framgångsrikt byta ut teknik och processer, som har större negativ miljöpåverkan än vad som kan accepteras, krävs inte bara att de lösningar som skall fungera som ersättare skall vara ekonomiskt tilltalande. Den nya lösningen skall dessutom helst erbjuda andra fördelar. Strävan bör alltså vara att helt enkelt byta ut miljömässigt sämre lösningar mot lösningar med mindre miljöpåverkan som även ger andra funktionella fördelar. Detta är naturligtvis långt ifrån möjligt i alla fall men bör vara eftersträvansvärt.

6.1 Fartygsprojektering

Historiskt sett har fartyg alltid ritats och konstruerats för att få så hög fart som möjligt från den tillgängliga framdrivningseffekten. Ännu idag är denna funktion av stor betydelse. Storleken på containerfartygen exempelvis, begränsas idag av hur mycket effekt man kan få ut utav en dieselmotor till den önskade farten. Då bränslekostnaden är en av de större driftskostnaderna för fartyg, särskilt i det högre fartregistret, är en låg bränslekonsumtion en väsentlig del av en fartygsprojektering.

Under den senare delen av 1900-talet skedde en kraftig förändring av fartygsprojekteringen. Fartygets volym och möjlighet till hantering av last gavs en större dignitet vid projekteringen än det optimala skrovet. Under samma tid skräptes konkurrensen mellan transporterna så att en strävan att minimera kostnaderna för fartygsbygget ledde till enklare skrovformer och inslag av helt släta ytor och enkelkrökta skrovytor blev ett vanligt inslag vid fartygsbyggnationen.

Misslyckade skrovutformningar ledde till förfinade predikteringsmetoder av fart-effekt och en ökad kunskap om var och hur fartyg kunde förenklas och hur de kan utformas.

Idag är produktiviteten vid lasthanteringen den klart drivande kostnadsfaktorn vid projektering. Inom passagerarfartygssektorn har farten drivits upp till nivåer som inte var tänkbara tidigare och som inte står i någon samklang med energieffektivitet och miljömedvetenhet.

Samtidigt börjar projekt utformas med klar miljöinriktning. Speciellt gäller detta inom de verksamhetsområden som kan planera och projektera för måttliga farter. Ett gott exempel är Södra Skogsägarnas nya fartyg för distribution av pappersmassa. Genom distributionsbolaget Södra Shipping specificerades och kontrakterades en fartygstyp som har mycket goda miljöprestanda. Så goda att fartyget bör kunna uppfylla de krav som ställs för *Bra miljöval*¹¹.

De fartygslinjer som ligger närmast landtransportmedlen och landtransportsystemen är vanligen de som har sämst miljöprestanda. Anledningen är att dessa fartyg bär förhållandevis lite last för sin storlek och framdrivningseffekt. Ser man till den verkliga lasten finner man dessutom att den till stor del består av lastbärande utrustning. Oftast är fartygen utförda för att bära mycket mer last, än den normala i operationen, med tanke på andrahandsvärde och flexibilitet, varför fartygen ofta tar in ballastvatten under transporten. Systemen är optimerade för hanteringsproduktivitet och hög lastomsättning i hamn snarare än med tanke

¹¹ Bra miljöval: Svenska Naturskyddsföreningens miljömärkning av varor och tjänster.

på goda miljöprestanda. System av denna typ arbetar dessutom ofta enligt fasta turlistor där kapaciteten på fartyget kan vara dimensionerad efter beläggningstopparna. Detta kan ibland ge låg beläggningsgrad.

I en miljö där energisnålhet och miljömedvetenhet prioriteras mer kan dessa faktorer modifieras och elimineras. Mycket erfarenhet och kunskap kring hur fartyg skall konstrueras, för att få lågt framdrivningsmotstånd; finns idag men skulle behöva sammanställas och spridas för att bättre finnas till hands när marknaden prioriterar miljöfaktorerna högre.

6.2 Konstruktionsmaterial

Det finns ett antal olika dimensioner som avgör om ett material kan anses som ekologiskt hållbart att använda. Hur "ekologiskt" materialet kan anses vara i en applikation hänger ihop med framställningsprocess, tillverknings- respektive byggmetoder samt hur produkten hanteras under livscykeln. Dessutom påverkas eventuell återvinnings eller återanvändningsgrad av konstruktionsutformning, skötsel, underhåll och processer för detta. Nedan listas ett antal frågor som bör beaktas när konstruktionsmaterial synas med fokus på miljöpåverkan.

- Hur ser energiförbrukningen ut för materialets hela livscykel? Det finns även anledning att studera effekterna på systemet som materialet ingår i.
- Kan materialet eller i materialet ingående komponenter vara en framtida bristvara?
- Är materialet skapat så att det är svårnedbrytbart i naturen.
- Hur stora reserver finns i relation till den mängd mänskligheten använder och utvinner?
- Vilken är omgivningspåverkan vid framställning, användning och återvinning?
- Hur stora är förlusterna under livscykeln vid återvinning?
- Är materialet i sig självt är giftigt eller kan ge negativ omgivningspåverkan?

En annan mycket viktig faktor är förhållandet mellan egenvikten på fartyget och den mängd last fartyget bär. Strukturer, material och konstruktionslösningar som minskar fartygets egenvikt ger direkt utslag i minskat effektbehov för framdriften eller möjliggör en ökning av godsintaget. Ofta hänger en viktminskning i konstruktioner samman med ökad bearbetning och hantering av materialet. Det står i direkt kontrast till de rationaliseringar som eftersträvas i tillverkningsprocessen. Miljöfaktorerna och energieffektiviteten värderas ännu inte lika högt i denna process som snabb tillverkning till ett lågt pris. Nya material medför ofta att nya konstruktionsmetoder behöver utvecklas, för att till fullo dra fördel av, och minska de negativa effekterna, av materialets egenskaper.

6.2.1 Alternativa material

Det är mycket möjligt att stål som fartyg till stor del byggs av idag är ett gott materialval med avseende på miljöpåverkan. Exempelvis kan stål återvinnas till mycket stor del. Stål finns dessutom i relativt stora mängder i naturen. Även om stål visar sig vara ett hyfsat gott materialval med avseende på miljön kan det finnas anledning att undersöka andra konstruktionsmaterials lämplighet. Detta bland annat för att utröna om andra fördelar som

funktionsegenskaper kan ge stora miljöfördelar. Det kanske viktigaste exemplet på funktionsfördel är om lägre totalvikt på hela konstruktionen kan uppnås.

De material som behandlas i texten nedan beskrivs endast som tänkbara material och påstås inte på något sätt ha bättre totala miljöegenskaper än de konventionella. För att utröna om så är fallet krävs att analyser görs på totalkonceptet materialen ingår i.

6.2.1.1. GLASFIBERARMERAD PLAST OCH KOLFIBERARMERAD PLAST

Idag bygger exempelvis Karlskronavarvet kustkorvetter, med LÖA på ca 70 m, för den svenska marinen i sandwichkonstruktion bestående PVC-kärna och med kolfiber/vinylesterlaminat. Korvetterna är konstruerade för att tåla farter över 35 knop. Plast och fibrer tillverkas idag av fossilt råmaterial. Möjligen skulle kompositmaterial eller likvärdiga material kunna tillverkas av biobaserade råvaror i framtiden. Den stora fördelen med att bygga skrov med kolfiber är att fiberns höga draghållfasthet i förhållande till dess vikt vilket medför att skrovets totala vikt kan reduceras avsevärt jämfört med ett konventionellt stålskrov.

Fiberarmerade plaster är idag inte återvinningsbara eller tillverkade av förnyelsebara råvaror. Möjligen kan energiinnehållet i materialet tillvaratas genom förbränning.

6.2.1.2. HÖGHÅLLFASTA STÅL

Att bygga fartyg i stål med högre hållfasthet än brukligt kan ge en lägre egenvikt på själva fartyget. Lägre egenvikt medför dels mindre åtgång av material och dels generellt sett lägre energiförbrukning för framdrift. För att åstadkomma en lägre egenvikt krävs dock att materialets bättre egenskaper kan utnyttjas. Det kanske största hindret mot att utnyttja en högre sträckgräns är materialutmattning med efterföljande sprickbildning. Stål med högre hållfasthet klarar inte nämnvärt högre belastningsnivåer med avseende på utmattning i svetsar och i områden med anvisningar, medförande spänningskoncentrationer, än de stål som används idag. För att kunna utnyttja ett materials högre sträckgräns krävs att de deformationer som uppstår kan accepteras och att konstruktionen är utförd så att den tål deformationer.

En faktor som bör analyseras är om eventuella tillsatser i stålet som tillförs för att åstadkomma den bättre hållfastheten påverkar materialets miljöpåverkan i ett livscykelperspektiv. Exempelvis om ämnen behöver tillföras stålet som kan räknas som en bristvara eller är toxiska i någon form under livscykeln exempelvis som oxid.

6.2.1.3. ALUMINIUM

Tekniken för användande av aluminium för fartygsbyggnad har utvecklats under de senaste åren. Idag kan man bygga relativt stora fartyg helt i aluminium. Egenskaperna hos aluminium liknar mycket stålets egenskaper. Fördelen är att materialet är 75-50 % lättare som konstruktionsmaterial i ett fartyg än motsvarande standardstål. Ofta har aluminium använts i fartyg för att lätta övre delen av överbyggnaden. På så sätt har man fått ner vikten på högt sittande material som i sin tur medfört att fartygets stabilitet och därmed i en del fall lastintag har förbättrats.

För fartyg som går med hög hastighet är vikten av största betydelse. För att minska vikten, och därmed förbättra bränsleförbrukningen, utnyttjas ofta aluminium som byggmaterial.

Aluminium är i huvudsak återvinningsbart men återvunnet aluminium har restriktioner för sitt användande. I livscykeln belastas aluminium av stor energiåtgång vid framställning.

6.2.1.4. BIOBASERADE MATERIAL

Trä har varit det naturliga byggmaterialet för fartyg före industrialismen. Det krav man idag stället på fartyg gör att skrov och styrkedelar av fartyget måste utföras i metall eller med material som har motsvarande kapacitet.

Brandhärdighet och åldringsbeständighet är andra egenskaper som gör att många biobaserade material inte klarar de säkerhetsmässiga krav som ställs.

Det är idag svårt att se annat än mineraler och därmed metaller som de till största delen användbara materialen i fartygsbygge. Dessa är till största delen återvinningsbara vilket ger bör kunna tolkas som att metaller är ett gott val som konstruktionsmaterial med hänsyn till miljön.

6.3 Ytbehandling

Föra att säkerställa materialets egenskaper och förhindra korrosion måste metallerna skyddas genom ytbehandling. Ytbehandlingen förslits och åldras vilket innebär att den måste förnyas med jämna mellanrum. Det kan även vara problem med ytbehandlingens egenskaper då dessa måste kunna följa den underliggande metallens rörelse utan att brista. Det gäller särskilt vid höghållfasta stål där elasticiteten i stålet gör att även färgen och ytbehandlingen måste vara lika flexibelt som underlaget utan att utmattas och brista.

Korrosionsskyddet är ett av de svåraste problemen med fartygen och en av de faktorer som till stor del påverkar fartygets livslängd. Fartyg opererar i en mycket korrosiv miljö då den mesta sjöfarten sker i salt havsvatten. Korrosion kan orsaka mikrosprickor som drastiskt nedsätter materialets hållfasthetsegenskaper vilket i sin tur begränsar möjligheterna att optimera konstruktionerna med avseende på vikt utan att äventyra säkerheten.

Forskning pågår kring ytbehandling och korrosion men mer påtagliga resultat krävs för att de tillämpade normerna och standarden skall förändras. Om korrosionsproblemet går att bemästra bör den extra korrosionsmarginal som läggs på plåttjockleken kunna omvärderas. Detta kan innebära en material och viktbesparing.

6.4 Antifouling och beväxtningshindrande behandling

Ett av de områden som under senare år uppmärksammas för den stora miljöpåverkan är utsöndrandet av gifter från fartygs bottenfärger. Anledningen till att fartygsbottnar förses med bottenfärger innehållande giftiga substanser är att påväxt av växter och djur skall förhindras. Att påväxten förhindras är helt nödvändigt för att hålla nere fartygens bränslekonsumtion. Under ett antal år har färger innehållande giftiga tennföreningar (TBT) varit dominerande, dessa är nu under utfasning på många håll och ersätts då ofta med kopparbaserade bottenfärger. Även de kopparbaserade färgerna ger stor negativ miljöpåverkan varför alternativ även till dessa är eftertraktade.

Idag finns helt giftfria alternativ till de konventionella bottenfärgerna. Ett exempel på helt giftfri bottenfärg som säljs idag är Intersleek 700 från International Färg. Intersleek har testats på handelsfartyg under ett antal år och introducerades på marknaden våren 1999. Även Hempel Färg har en motsvarande produkt.¹² Färgen är silikonbaserad och fungerar genom att ytan är en hydrofob (vattenavvisande) så kallad lågenergiyta vilket försvårar för eventuell beväxtning att få fäste. Eventuell beväxtning som bildas vid stillaliggande spolans av då fartyget kommit upp i fart. Dessa silikonbaserade färger fungerar inte i områden med is då färgen har sämre mekanisk hållfasthet än konventionella och fartygen skall ligga i fartregistret 15-30 knop, beroende på produkt. Det kan konstateras att silikonbaserade bottenfärger i dagsläget är avsevärt dyrare än konventionella. En fördel i förhållande till konventionella bottenfärger är den minskade ytfinheten som kan erhållas, mot normala värden på ytfinhet på 125-175 µm kommer de silikonbaserade ner till en ytfinhet mellan 50 till 60 µm. En sådan ytfinhet bör ge minskad friktion och därmed ge en minskning av fartygens friktionsmotstånd.¹³ Beaktas en långvarigare verkan av mindre beväxtning kan stora besparingar på energi förväntas.

6.5 Utrustning

Den utrustning som används på och i fartyg består till stor del av metaller och metallegeringar vilka betingar ett restvärde och kan återvinnas. Processen för detta är snarare i form av globala sociala och organisatoriska förhållanden än tekniska.

Inom området utrustning och system finns, som i alla industrier, delprocesser som kräver särskild hänsyn. Exempel är omhändertagande av freoner i kylanläggningar och andra medel som utnyttjats under driften.

Det skall noteras att nycklet av spill och läckage under driftfasen utgör en kostnad och risk för säkerheten varför sådant normalt åtgärdas. Långtgående lagstiftningar och överenskommelser inom IMO har givit att fartyg skall ha möjlighet att lämna restprodukter i land för destruktion eller deponering enligt gällande miljölagsstiftning. På så sätt ingår sjöfarten i samma nationella ekosystem som den övriga industrin.

6.5.1 Materialförbrukning

Restprodukter och förbrukat material under fartygsdrift källsorteras numera ofta och lämnas iland för omhändertagande i land.

Det löpande underhållet och utbytet av förslitna eller skadade delar går i första hand för renovering och återanvändning och i sista hand till skrot.

Ett flertal rederier har funnit att bättre bränslen ger mindre slitage och lägre underhållskostnader för motorerna. Detta kan t.o.m. ge ett ekonomiskt incitament till att använda dyrare och bättre bränslekvaliteter men ändå få bättre driftsekonomi. De bättre bränslekvaliteterna är som regel renare och innehåller lägre mängder svavel.

Materialförbrukningen inom fartygsdriften är inte sjöfartens stora miljöproblem idag.

¹² Andersson (2000).

¹³ Jacobsson (2000), Tinsley (1999) samt produktinformation från International Färg AB.

6.5.2 Förbrukning av smörjoljor, hydrauloljor, hylsoljor

Utöver den olja fartygen brukar till förbränning i huvud- hjälpmaskiner och pannor förbrukas även en mängd olika oljeprodukter till olika ändamål. Dessa oljor riskerar alltid att genom spill eller annan hantering hamna i havet. Genom att välja de minst miljöskadliga produkterna kan miljömässiga fördelar uppnås. Det finns idag kriterier utarbetade för vad som krävs för att bland annat hydraulolja skall få kallas miljöanpassad. Bland annat har det i projektet *Ren Smörja* som startade 1992 formulerats hälso- och miljökriterier för hydrauloljor. 1998 var totalt 24 st produkter från olika oljebolag godkända enligt kriterierna. Även svensk standard SS 155434 går in på miljömässiga egenskaper hos hydrauloljor.

Idag finns det hydraul- och hylsoljor som utöver att de uppfyller de miljö- och hälsokriterier som exempelvis ställts i *Ren Smörja* även är baserade på förnyelsebara råvaror. En sådan produkt är propellerhyls- och tätningolja FLME 894 från Binol Filium AB som är baserad på vegetabiliska oljor. Denna typ av biobaserade oljor uppges ha lika goda driftsegenskaper som motsvarande mineraloljor. Prismässigt ligger de biobaserade hydraul- och hylsoljorna på det dubbla jämfört med standardoljorna byggda av fossila oljeprodukter. Det stora problemet för denna typ av mer miljöanpassade produkter att ta marknadsandelar är i dagsläget inte pris eller kvalitet, utan att få godkännande från tillverkarna av den utrustning oljan skall användas till¹⁴. I annat fall riskeras att garantier och åtagande från leverantören ifrågasätts på grund av oljorna.

6.6 Maskinsystem

Fartyg byggs som individer vilket innebär att det inte finns två identiska fartyg även om de är s.k. systerfartyg. Detsamma gäller vid projektering av fartyg. Ett fartyg är mycket kapitalkrävande att bygga och stort arbete läggs ner för att finna det lägsta priset för att bygga fartyget vilket bestämmer vid vilket varv fartyget byggs. I dag är varvet en organisation som sätter samman uppköpta delsystem till ett fartyg. Varvet utför själva stålarbetet och är i de flesta fall montörer av de ingående komponenterna. Rederiet beställer normalt den utrustning man har bäst erfarenhet av med tanke på att hålla nere underhålls och driftskostnaderna. Man köper därför utrustning och komponenter från flera leverantörer. I många fall leder detta till att maskinsystemet inte blir totaloptimerat ur energieffektivitetssynpunkt.

Beroende på fartygstyp finns en hel del besparingspotential av energi främst i form av värme från maskinanläggningen. De flesta fartygstyper har ett överskott av värme som inte utnyttjas. Andra fartyg, kryssningsfartyg, asfalttankers, etc., måste tillföra värme och energi utöver tillgängligt värme från maskinen för driften.

6.6.1 Effektivisering

Idag ligger de dieselmotorer som är konstruerade för att ha så hög energieffektivitet som möjligt på en verkningsgrad på runt 50%. Det kan bedömas att fartygsmotorer som bygger på Carnot-cykeln (dieselmotorer) kommer att komma upp till 60% i verkningsgrad och att

¹⁴ Vesterlund (2000).

kombinerade cykler krävs för att åstadkomma detta.¹⁵ Idag kommer system med kombinerade cykler upp i runt 55% verkningsgrad.¹⁶

Användning av den spillvärme som idag inte används ombord, antingen genom omvandling till mekaniskt arbete eller som värme ombord, kan höja totalverkningsgraden. Vid ett överskott av värme blir svårigheten att lagra eller på annat sätt tillgodogöra sig energin. Inom detta område finns ett forskningsbehov. Lagrings och återvinnings sättet av denna energi får inte kosta mer än bränslekostnaderna för att vara ekonomiskt försvarbara.

Vad gäller totala energibalanser ombord bedömer dock Wärtsilä¹⁷ att de flesta fartyg är väl konstruerade och att förlusterna är relativt minimerade med undantag för vissa fartygstyper exempelvis kryssningsfartyg. Andra källor pekar istället på besparingspotentialer om ett helhetsperspektiv anläggs, då främst genom att ha en helhetssyn på fartygets energisystem. Här krävs vidare studier.

6.6.2 Alternativa ekologiska maskinsystem

Sjöfartens största miljöpåverkan kommer av den energi som åtgår för framdrivningen av fartyget. Energiåtgången ökar exponentiellt med farten och ökar med en tredjepotens för höga farter. Vid sänkt fart kan därmed energiåtgången minska kraftigt. Vid låga farter, under 15 knop för normalt stora respektive stora fartyg, är sjöfarten överlägsen andra transportmedel för energiåtgång per presterat transportarbete.

I låga farter kan även naturkrafter som vind vara ett komplement av betydelse för framdriften. Framdrift med hjälp av vindkraft kan vara ett alternativ till dagens maskinsystem på vissa rutter. Främst kan nog vindkraft ses som ett komplement till annan kraftkälla ombord. Ett flertal utredningar har under de senare decennierna gjorts på detta område, se kapitel 7.1. Resultatet har varit att med dagens bränslekostnader uppväger inte drift och underhåll av utrustningen för att utnyttja vidkraften bränslebesparingarna annat än på mycket specifika rutter.

Även om fartygen är lasttåliga, d.v.s. att de inte påverkas nämnvärt av mindre förändringar av fartygets volym eller vikt vid rimliga farter, så används de för långa transporter utan förbindelse med land. Bränslets egenskaper har därför betydelse även för sjöfarten. Det är dessutom stora mängder som åtgår per dygn. Exempelvis förbränner ett normalstort närsjöfartsfartyg mellan 20-40 ton per bränsle per dygn. Alternativa energibärare som kan ge motsvarande total nettoenergi måste kunna lagras i fartyget.

Till mycket stor del består sjöfartens miljöpåverkan idag av de problem som finns runt kraftgenereringen för att driva fartygen. Även el och värmegenereringen kan stå för en betydande del av sjötransportens omgivningspåverkan. Denna miljöpåverkan består av ett antal olika komponenter som ger påverkan. Huvuddelen av miljöpåverkan från maskinsystem kan sammanställas i två delar:

¹⁵ Ahlqvist (2000)

¹⁶ Buhaug (1999)

¹⁷ Ahlqvist (2000)

- Bruk av fossilt bränsle som är en icke förnyelsebar råvara och ger nettotillskott av CO₂ till atmosfären.
- Bildandet av skadliga emissioner vid förbränning av bränslet.

Idag finns möjligheten rent tekniskt att komma runt och bli av med dessa negativa effekter från kraftgenereringen. Ett sätt att bli av med användningen av fossila bränslen är att byta ut dessa mot biobränslen, framställda från någon form av växtmaterial som exempelvis raps. För delar av den globala transportindustrin skulle ett sådant byte från fossilt till biobaserat bränsle vara möjligt. Det är dock inte möjligt att globalt ersätta allt fossilt bränsle med biobaserat då den mark som krävs för att producera detta helt enkelt inte skulle räcka till då. På utsläppssidan löser inte biobränslen i konventionella diesel- och ottomotorer alla problem då ett flertal oönskade utsläpp, partiklar, kväveoxider mm bildas även med dessa bränslen.

6.6.2.1. BRÄNSLECELLER

Idag har utvecklingen på bränsleceller kommit så långt att dessa säljs kommersiellt för el och värmegenerering. Serieproducerade bilar med bränsleceller är på väg att släppas ut på marknaden inom de närmsta åren. Bränslecellen kan kort sägas fungera som ett slags batteri som hela tiden fylls på med väte och syrgas. I bränslecellen reagerar vätgas med syrgas och omvandlas till el, vatten och värme. Bränslecellen anses allmänt som en nollemissionsmotor inom systemgränsen vätgas till mekanisk energi.

Rent allmänt om bränsleceller gäller att dessa har potential för att ha en hög verkningsgrad, teoretiskt upp till över 80 % och i praktiken 40-60 %. I övrigt skiljer sig olika typer av bränsleceller markant med avseende på funktion, storlek, lämplighet och känslighet för olika bränslen, pris och möjlig utvecklingspotential.

Tabell 1 En jämförelse mellan olika bränslecellstyper. ((DoD) Fuel Cell Demonstration Program, 2000)

	PAFC	MCFC	SOFC	PEMFC
ELECTROLYTE	Phosphoric Acid	Ceramic	Molten Carbonate Salt	Polymer
OPERATING TEMPERATURE	375°F (190°C)	1830°F (1000°C)	1200°F (650°C)	175°F (80°C)
FUELS	Hydrogen (H ²) Reformate	H ² /CO ² /CH ₄ Reformate	H ² /CO/ Reformate	H ² Reformate
REFORMING	External	External/Internal	External/Internal	External
OXIDANT	O ² /Air	O ² /Air	CO ² /O ² /Air	O ² /Air
EFFICIENCY (HHV)	40-50%	45-55%	50-60%	40-50%

Dras parallellen till fordon på land finns bland annat en KFB-rapport¹⁸ som utrett möjliga transportsystem för att minska koldioxidemissioner och som kalkylerat totala kostnader för olika fordonskoncept. Ett av resultaten under givna antaganden var att den genomsnittliga fordonskostnaden för bränslecellssystem (med vätgas) bör hamna någonstans mellan dagens och förmodade framtida fordonskostnader för bensindrivna förbränningsmotorer. Be-

¹⁸ Johansson & Åhman (2000).

dömningen görs också att kostnaderna för bränslecellsteknik måste minska kraftigt från dagens nivåer för att dessa skall kunna få brett genomslag.

Det kan vara av intresse att nämna att vägverket undersökt möjligheten att förse en av sina linfärjor med bränsleceller. Resultatet av studien var i stort att det var möjligt att byta ut dagens dieseldrift mot bränsleceller men att det då mer får ses som ett forsknings- och demonstrationsprojekt.^{19, 20}

6.7 Energibärare

För att kunna kalla ett sjötransportsystem för ekologiskt hållbart bör energin som används för framdrift och övrig konsumtion vara förnyelsebar. Detta även om det kan vara tekniskt möjligt att konstruera kraftkällor som exempelvis producerar mekanisk energi, från fossila bränslen, utan utsläpp av skadliga emissioner. Detta kan exempelvis ske genom efterbehandling av emissioner och någon form av uppsamling av koldioxid. Det kan dock knappast räknas som *långsiktigt* ekologiskt hållbart att konsumera material från jorden i avsevärt högre takt än samma material återbinds till jordskorpan.

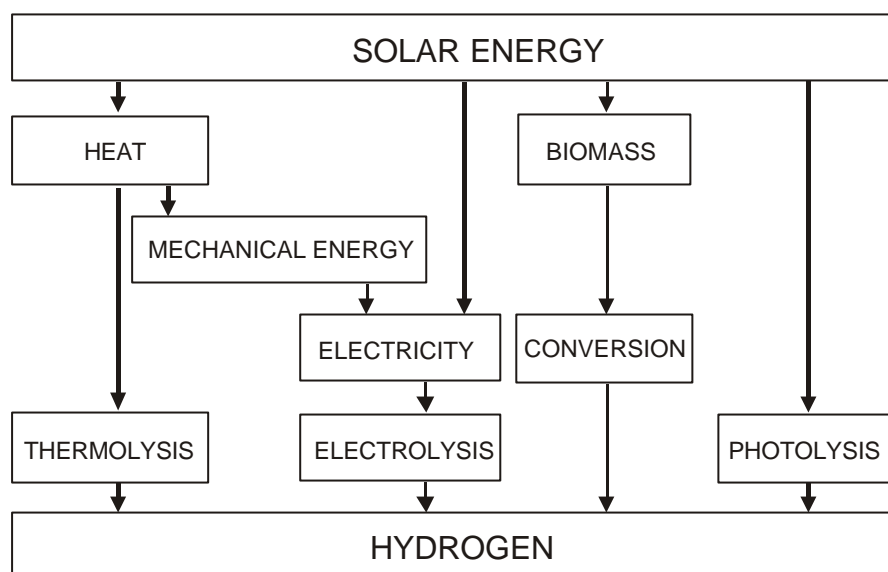
Vilket eller vilka långsiktigt ekologiskt hållbara energisystem som skall väljas för sjöfarten går inte i dagsläget att uttala sig om. Det är dock möjligt att skissera ett antal tänkbara lösningar. Det kan hända att olika system kommer att bli aktuella för olika segment av sjöfarten och inom olika geografiska delar av världen.

Det går att visa att den energimängd som idag konsumeras i världen med idag tillgänglig teknik kan produceras med förnyelsebara energikällor. En artikel i Science Magazine som hanterar tankar kring den typen av system påpekar bland annat att hela USA:s energikonsumtion kan produceras med solceller motsvarande en yta på ca 160 gånger 160 km.²¹ Att det är tekniskt möjligt att bygga ett sådant energisystem betyder naturligtvis inte att det idag är ekonomiskt möjligt att genomföra ett sådant projekt. Ett problem med energiproduktion med solceller är lagring av den energin som producerats under soliga dagar till andra mindre soliga stunder. Här kan omvandling av värme respektive elenergi till vätgas vara en lösning. Exempel på hur energin i solinstrålningen kan omvandlas till vätgas visas i Figur 2. Nästa fråga som då uppkommer är hur vätgasen skall hanteras, lagras och transporteras.

¹⁹ Lagheim (1999).

²⁰ Algell (2000).

²¹ Turner (1999).



Figur 2 Ekologiskt hållbara vägar för vätgasframställning med solenergi som källa. (Turner, 1999)

Då vätgas som energibärare och bränsleceller som energiomvandlare spås en mycket lovande framtid inom många andra områden där energi krävs, kommer problem och möjligheter kring sådana system för fartygsdrift, att behandlas nedan.

6.7.1.1. VÄTGASFRAMSTÄLLNING

Vätgas kan framställas på en mängd sätt. Olika metoder är exempelvis genom generering ur fossilgas, eller genom elektrolys av vatten. Hydrolys av vatten kräver att energi tillförs, om energin som åtgår för detta kommer från förnyelsebara energikällor bör denna process gå att klassa som ekologiskt hållbar.

Ett exempel på system för framställning av vätgas genom elektrolys är Norsk Hydros system som har en 72 procentig energiverkningsgrad. Deras största aggregat klarar att producera 485 Nm³/h (1 Nm³ H₂ motsvarar 2,95 kWh) vilket ger ca 1,4 MW. Detta aggregat upptar en yta av 4x13,5=54 m². 100 MW (energiinnehållet i H₂) kräver då 5400 m² vilket skulle kunna ge 50 MW i uteffekt på ett fartygsmaskineri med 50 % energiverkningsgrad (ca 75x75m). Här krävs att ett mindre utrymmeskrävande system konstrueras om denna metod skall användas storskaligt. För att producera 100 MW i ett dygn krävs då 24 h * 100 MW / 72 % = 3330 MWh elektricitet som då i slutändan ger 1200 MWh mekanisk energi. Denna process skulle då genomförts till en totalverkningsgrad om 36 % från el till mekanisk energi.

Vitsen med ett system som beskrivits ovan går till stor del förlorad om elen som används till hydrolysisprocessen producerats med hjälp av fossilt bränsle. Skulle så ha skett i exempelvis ett kondenskraftverk med totalverkningsgraden 50 % skulle totalverkningsgraden från olja till mekanisk energi vara 18 %. Hela poängen med ökad energiverkningsgrad går då förlorad. Under en introduktionsfas kan system med väte framställt med hjälp av el från fossila källor behöva accepteras, detta för att underlätta införandet av bränsleceller.

6.7.1.2. LAGRING AV VÄTE

Väte har några mycket speciella egenskaper, väte befinner sig i gasform ända ner till -253°C vid en bars tryck och har vid rumstemperatur en densitet som är mindre än en tiondel av luftens. Vätgasens densitet är så pass låg att vätgas kan undkomma jordens gravitation och försvinna ut i rymden. Den låga densiteten ställer till problem vid lagring och transport av väte. Fryspunkten hos väte vid normalt tryck ligger på -259°C . Väte har hög energidensitet, det effektiva värmevärdet för ett kg väte är 120 MJ medan bensen endast innehåller 44 MJ/kg. Detta är anledningen till att väte används som bränsle vid rymdfärder. Ett problem kring hantering av väte är att väte diffunderar in i och genom metaller vilket bland annat kan påskynda materialutmattning.

Transport av vätgas kan ske i *gasform* antingen trycksatt i tankar eller i pipelines eller i flytande form i välisolerade tankar. Vid lagring och transport i gasform uppstår problem med stora volymer respektive höga tryck. Som ett räkneexempel kan nämnas att bränsleenergin i 50 liter (ca 36,5 kg) bensen är ca 1600 MJ. Motsvarande energimängd vätgas väger 13,4 kg och skulle vid atmosfärstryck och 0°C få en volym på drygt 150 kubikmeter. Om det antas att energiomvandlingen till mekanisk energi sker dubbelt så effektivt för vätgasen i en bränslecell jämfört med förbränning av bensen i en ottomotor och att vätgasen komprimerades till 200 bar skulle vätgasens volym ändå vara 375 liter (800 MJ väte).

Om 800 MJ väte istället befann sig i *flytande form* skulle vätets volym istället uppta den något mer hanterbara volymen på 94 liter. Vid lagring och transport i flytande form uppstår istället problem kring isolering, avdunstning och energiförluster för processen att få vätet i flytande form. Andra lösningar för lagring av väte är därför eftersträvade.

En lagringsform för väte är i *metallhydrid*. Med hjälp av jonbindningar kan väte bindas reversibelt till vissa metaller. Ofta används metaller eller metallegeringar i puderform. På metallytan separeras vätgas till väteatomer som sedan tränger in i metallens kristallstruktur. Under bindingsprocessen frigörs värme som behöver ledas bort. För att frigöra vätet ur hydriden värms denna upp varvid värme konsumeras. Olika metaller ger olika hydridkarakteristika, till exempel lågtemperaturhydrider som FeTiH_2 binder vätet löst och avger det vid relativt låga temperaturer (ca 0°C) medan MgH_2 bara släpper ifrån sig vätgas vid höga temperaturer (ca 290°C). Fördelar med metallhydridlagring är att metoden är kompakt. Volymmässigt kan ungefär lika mycket väte lagras i hydridform som i flytande form. Nackdelen är att det är en tung metod som kräver mycket material och därmed binder naturresurser. Dessutom tar påfyllning av hydrider relativt lång tid.

Ytterligare idéer för lagring och transport av väte är att binda väte i kolstrukturer så kallade nanofibrer eller nanotuber. I princip är det alltså en behållare fylld med en speciell typ av kolfiber som kan binda väte till sig. I materialstrukturen finns mellanrum som är så stora att vägas kan ta sig in men inte så stora att så att exempelvis syremolekyler får plats. I laboratorieförsök på National University of Singapore har energidensiteter på ca 20 MJ/l uppnåtts för litiumdopade nanokoltuber. Dessa resultat kan jämföras med energidensiteten för bensen som ligger på 32 MJ/l. Försöken har beskrivits i Science Magazine den 2 juli 1999. För att

få vätet att tränga in i kolstrukturen krävs dock temperaturer på mellan 200 och 400°C.²² Vätet avges genom att behållaren åter värms upp. Skulle det visa sig att denna teknik är tekniskt och kommersiellt gångbar revolutionerar detta lagring och transport av vätgas.

Även metoder där väte lagras kemiskt i något annat ämne kan bli aktuella. Vid användning spjälkas sedan vätet ur föreningen antingen i ett försteg innan energiomvandlingen eller i samband med denna.

Många anser att vätgas är en trolig framtida energibärare, bland annat bedriver en mängd fordonstillverkare projekt runt om i världen i syfte att arbeta fram vätgasdrivna fordon.

6.8 Framdrift och motstånd

Det finns en förbättringspotential på de flesta skrov som byggs idag, dels med tanke på förfinade metoder vid design- och byggnadsfas men även genom förändrade prioriteringar. Hur stora förbättringar på motståndssidan som kan genomföras beror på hur optimerat skrovet är från början. Systematiska undersökningar på en renommerad skeppsprovninganstalt visade på att effektbehovet i genomsnitt kan minskas runt 3 % för de fartyg som i projekteringsstadiet genomgår modellförsök och utvärdering i relation till skrovets ursprungliga utformning. Ett skrov modifieras då i ett begränsat antal omgångar. Genom systematisk användning av motståndsberäkningar med dator kan ett större antal varianter/variationer på skrovet utformas till lägre kostnad och kortare tidsåtgång. Sådana systematiska undersökningar bör medföra att bättre skrovet utformas kan uppnås, med minskat effektbehov som följd. Detta skulle kunna ge ytterligare 1-5 % mindre effektbehov. Det finns idag även program som automatiskt kan optimera skrovformer med avseende på motstånd. Dessa beräkningar är resurs- och tidskrävande. Om en beräkning av ett skrov-motstånd kan ta mellan 1 och 10 timmar kan en systematisk optimering av skrovet ta dagar till en månad att utföra.²³

Några områden som kan vara aktuella att studera med avseende på minskat motstånd listas nedan.

- Minskat skrovmotstånd genom slankare och längre skrov. Här finns en avvägningsfråga både mot ökad kostnad och ökad egenvikt hos fartyget.
- Minskat framdrivningsmotstånd genom minskad egenvikt på fartyget exempelvis genom användning av höghållfast stål, kolfiber eller aluminium tillsammans med moderna konstruktionsmetoder.
- Minskat framdrivningsmotstånd genom minskat luftmotstånd.
- Minskat motstånd genom minskat friktionsmotstånd exempelvis med förbättrad ytfinhet eller genom förändrad ytstruktur på fartygets undervattensskropp.
- Bättre definiering av fartygsskrovet genom användning av fler definitionspunkter för skrovformen samt högre noggrannhet på dessa. Detta för att åstadkomma en bättre och säkrare definition av skrovet dels i design- och dels i tillverkningsfas.

²² Hydrogen & Fuel Cell Letter (1999).

²³ Larsson (2000).

- Minskat motstånd genom förbättrade möjligheter till optimering av skrov med hjälp av kraftfullare databaserade predikteringsverktyg (exempelvis CFD²⁴ med optimeringsfunktioner).
- En ökning av propulsionsverkningsgraden genom bättre samverkan mellan skrov och propulsion.
- Förfinade propulsorer.
- Operativ optimering genom exempelvis ruttoptimering exempelvis innefattande väderprognoser, strömmar, vattendjup samt de krav som ställs på att tidtabellen hålls kopplat till fartygets energiförbrukningskaraktistik för olika fart, djup, våg och vindförhållanden.
- Optimering av underhållssystem.

Hur mycket åtgärder av ovanstående slag kan tänkas påverka det totala energibehovet ombord varierar med fartygstyp och fartområde.

Om antaganden över möjliga förbättringspotentialer med avseende på motstånd för en viss fartygstyp ansätts gentemot de fartyg som byggs och projekteras idag, se Tabell 2, kan en total motståndsminskningspotential beräknas. Totalmotståndet skulle då kunna höftas till,

$$0,95 * 0,90 * 0,995 * 0,99 * 0,99 * 0,97 * 0,99 * 0,98 = 78 \%$$

av motståndet hos ett standardfartyg av dagens modell. Detta skulle innebära en potential på att drygt 20 % av motståndet kunna sparas genom motståndsminskande åtgärder i ovanstående exempel.

Tabell 2 Antaganden om möjliga förbättringspotentialer med avseende på totalmotståndet för en specifik fartygstyp.

	Sparpotential på totalmotståndet
Slankare och mer motståndsoptimerat skrov	5 %
Minskad egenvikt	10 %
Minskat luftmotstånd	0,5 %
Minskat friktionsmotstånd	1 %
Noggrannare skrovdefinition	1 %
Bättre optimering m h a CFD	3 %
Bättre skrov-propulsionssamverkan	1 %
Bättre propulsorer	2 %

Inkluderas även förbättringar på maskinsidan med en potentiell möjlig förhöjd energiverkningsgrad på 30 % och förbättringar på den operativa sidan med ruttplaneringsystem

²⁴ CFD: Computational Fluid Dynamic.

skulle ytterligare energiminskning kunna uppnås. Om det återstående kraftbehovet till framdrift var 66 % och ruttplanering skulle kunna spara 15 % och dessutom energieffektiva maskinsystem gav runt 30 % skulle det återstående energibehovet vara $0.78 \cdot 0.85 \cdot 0.70 = 47\%$ av det för ett konventionellt fartyg. Om det är rimligt att det totala energibehovet för ett fartyg skulle kunna minskas till hälften lämnas till senare studier att visas. Rent allmänt kan sägas att denna typ av beräkningar är osäkra men de ger viktiga tankeställare. Intressanta artiklar och rapporter inom området är bland annat en rapport som avhandlar energipotential för Ro/Ro-fartyg²⁵ och en artikel om motstånd²⁶.

Inom de segment av sjötransporterna som går med hög hastighet finns olika koncept som bör kunna ge relativt stora motståndsminskningar om dessa praktiskt kan genomföras. Ett exempel är att ett lufttryck på något sätt byggs upp mellan skrov och vattenytan för att på så sätt minska totalmotståndet. Ett sådant fartyg kan då exempelvis konstrueras som en sidokölssvävare. En kvalificerad gissning kan ge att totalmotståndet skulle kunna minskas med upp till 20% beroende på om resultat från modellförsök kan överföras i stor skala.

Under senare år har nya idéer framkommit om att utföra skrovet så att luft kan "smörja" fartygsskrovet och på så sätt minska framdrivningsmotståndet. Harley SES²⁷ är ett exempel på en sådan lösning. I projekt kring Harley SES bedrivs idag praktiska prov och försök, bland annat med EU stöd, för att tekniken skall kunna utvecklas. Främst gäller detta fartyg som går med högre hastigheter.

6.8.1 Vågbildning

Problemställningen kring vågbildning blev aktuell, bland annat, i samband med introduktionen av höghastighetsfärjorna²⁸ i slutet av 1900-talet. Anledningen var en mycket snabb ökning av trafik med större färjor i farter runt 40 knop. Fartyg i dessa fartområden får stort vågbildningsmotstånd och därmed en stor vågbild. Denna trafik har dessutom genererat nya fenomen i vattnet genom att fartygen skapar tryckvågor i flera skikt i havet och att den energimängd som frigörs vid sänkning av farten, respektive vid accelerationer, skapar vågfenomen som kan transporteras åtskilliga kilometer. Vågor av denna typ har haft person- och naturskador som följd i områden där fartygen opererar. Då stor vågbildning i de flesta fall är synonymt med stort vågbildningsmotstånd vilket ger stor energiåtgång för framdrift finns det all anledning att arbeta med problematiken. Forskning pågår inom detta område.

6.9 Upphuggning

I skrotningsfasen finns ett antal olika områden som kan ge miljöpåverkan på omgivningen. I upphuggningsfasen finns även möjligheten att se till så att så stor del av den materia och de resurser som finns bundet i fartyget tas om hand på bästa sätt. Vad som är det bästa sätt-

²⁵ Pelmatic (1997).

²⁶ Berlekom (1999).

²⁷ Harley SES: Surface Effect Ship, en variant av sidokölssvävare där främre delen av katamaranskroven är av konventionell typ.

²⁸ Höghastighet kan definieras som farter över 35 knop

tet att hantera olika material och resurser varierar med dess koncentration både i fartyget och i det område eventuell återvinning etc sker.

Om ett fartyg innehåller ämnen som är svåra att bryta ned eller på annat sätt kan vara miljöskadliga kan problem uppstå med att upprätthålla den ekologiskt hållbara linjen i skrotningsfasen för fartyget.

Inom sjöfarten finns ännu ingen märkning av de i fartyget ingående komponenterna och materialen för en säker återanvändning.

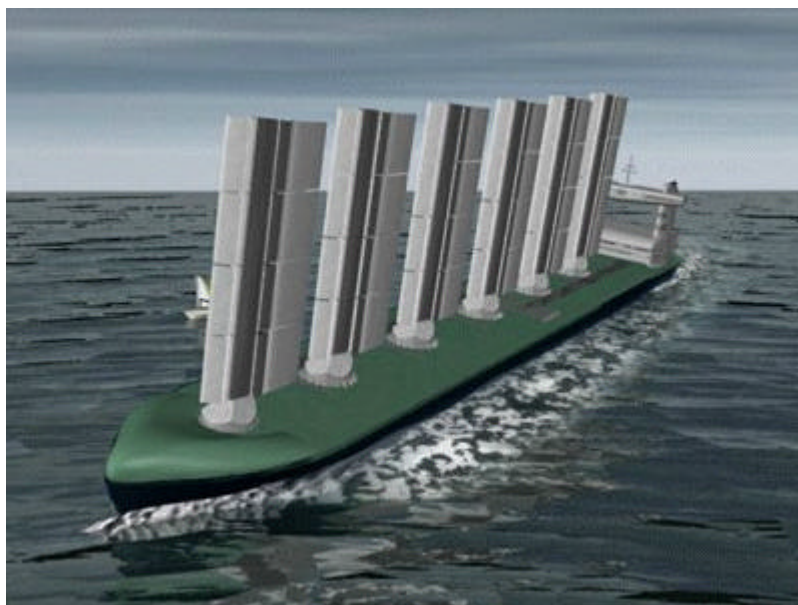
Idag skrotas huvuddelen av fartygen i tredje världens länder. Anledningen till detta är lägre kostnader för arbetskraft och för säkerhet vid arbetet. Detta är ett världssocialt problem som bara kan lösas internationellt. Vid en sådan internationell lösning kan man säkerställa säkerhet och miljöaspekterna samtidigt kring skrotningsprocessen.

7 PROJEKT INOM OMRÅDET

Under de senaste åren har allt fler projekt initierats med inriktningen mot minskad miljöpåverkan från sjöfart. Med tanke på det mycket stora transportarbete som utförs med fartyg och den stora miljöpåverkan dessa transporter medför arbetas det dock förhållandevis lite med miljöfrågor kring sjöfart. I detta kapitel beskrivs några av de projekt som hanterar miljöpåverkan från sjöfart samt några svenska sjötransportsystem med ekologisk målsättning. Utöver dessa projekt med en övergripande ambition av miljöhänsyn finns många exempel där åtgärder har vidtagits på enstaka delsystem.

7.1 Modern WindShip

1996 kom en rapport från Pelmatic Knud E Hansen i Danmark som undersökte möjligheten att stötta propellerdrivna fartyg med segel. Rapporten visade på att fartyg om ca 200 m längd och 50 000 dwt som utnyttjade segel som stöd i framdrivningen, kan ge avsevärda besparingar i bränsleförbrukning till priset av ca 10 % högre transportkostnader. Dessa fartyg skulle då främst vara lämpade att användas på rutter med gynnsamma vindförhållanden. I en ytterligare, nyligen avslutad studie med ny design på rigg och skrov bekräftas de tidigare beräknade kostnaderna, se Figur 3. Det påpekas dock att förbättringar och förenklingar av tekniken bör kunna eliminera denna kostnadsskillnad. Besparingar i bränsleförbrukning beräknas ligga på mellan 27 och 50 % beroende på hur optimalt anpassat fartyget är till rutter och last. Höjda bunkerpriser gynnar denna typ av okonventionella framdriftsalternativ.



Figur 3 Föreslagen design på *Modern WindShip*. (Pelmatik Knud E Hansen, 2000)

7.2 MARITIM MILJØSATSNING

I Norge har det tagits ett samlat grepp kring genom Norges forskningsråds program MARITIM tagits ett samlat grepp för att öka konkurrenskraften hos norsk sjöfart. Den del i programmet som hanterar miljöfrågor har samlats under tematsatsningen MARITIM MILJØSATSNING. Programmet har pågått sedan mitten av 1990-talet och har idag projekt som löper fram till 2002. I satsningen ingår rederier, myndigheter, varv och klassningssällskap. Det långsiktiga överordnade målet med denna tematsatsning är att sjöfarten skall bli minst lika miljöeffektiv som andra transportformer. I Tabell 3 ses en översikt över projekt som ingår i satsningen.

Tabell 3 Projekt samlade under den norska tematsatsningen MARITIM MILJØSATSNING. Projekt markerade med fet stil beskrivs kortfattat nedan. (DNV 000905, <http://research.dnv.com/marmil/>)

Increased Knowledge on Environmental Impacts from Ships	Environmental Management and Training	Technology for Reduction of Environmental Impact from Ships
Improved International Statistical Data on Pollution from Ship Operation	Ship Environmental Accounting System	Green Efforts on Existing Ships
EU Concerted Action - Ballast Water Sampling	Guidelines on Environmental Management based on the ISM Code	Methods for Determination of Emissions from Vessels
Atlas of Incompatibility of Ballast Water Release between Regions	Guidelines on Environmental Reporting for use by Shipping and Offshore Companies	Alternate Fuel for Propulsion and Power Generation
Increased Knowledge of Crude Oil During Sea Transportation	Establishment of a Database for Onboard Chemicals	Reduction of VOC-Emissions during Offshore Loading
Life Cycle Evaluation for Ship Transportation	Training Programs on Environmental Issues for Maritime Personnel	Sewage Treatment
Ship Scrapping		Ozone Treatment of Ballast Water
Greenhouse Gas Emissions from Ships		Efficiency Ship Machinery Arrangement (ESMA)
		Pilot Ship- New Coastal Ferries

7.2.1 Livscykelanalys för fartygstransporter

Projektet Livscykelanalyser för fartygstransporter är uppdelat i två faser. Den första fasen som är avslutad har bland annat innefattat en "state of the art"-analys²⁹ kring området, en screening-LCA³⁰ på ett fartyg samt en huvudrapport som bland annat hanterar problematiken kring metoder.

7.2.2 Miljøttak for eksisterende skip

Marintek i Norge genomför tillsammans med bland annat rederierna Seatrans, Color Line och Bergesen ett projekt, *Miljøttak for eksisterende skip*, där miljöförbättringar på existerande fartyg analyseras. Rederierna deltar i projektet med var sitt fartyg där bland annat motortekniska och operationella åtgärder vidtas, följs upp och dokumenteras. Även tennfria bottenfärger prövas och utvärderas med avseende på eventuell motståndsökning och påväxt mellan dockningsintervallen. Projektet startade 1998 med ett förprojekt och gick vid årsskiftet 98/99 över i ett huvudprojekt som är planerat att löpa fram till år 2002.

Enligt projektets årsrapport för 1999³¹ har bland annat en ombyggnad av huvudmotorn på Seatrans fartyg MS Nornews Leader genomförts. Denna ombyggnad har utarbetats av Ulstein Bergen. Mätningar före och efter ombyggnaden visar på att kväveoxiderna vid drift reduceras med ca 40% samtidigt som bunkerförbrukningen sjunkit med ca 4%.

7.2.3 ESMA, Efficient Ship Machinery Arrangement

Det norsk-finska projektet *Efficient Ship Machinery Arrangement* leds av Kværner Masa Yard och bedrivs tillsammans med Wärtsilä NSD, ABB Azipod Oy och VTT i Finland och Marintek i Norge. Idén med projektet är att tillsammans utarbeta tekniskt avancerade fartygsmaskinerier för olika fartygskoncept som är kostnadseffektivare och mindre miljöskadliga.

Projektet skall pågå mellan oktober 1997 och december 2000 och målet är att:

- Ta fram system där emissioner till luft är reducerade med 50 %.
- Reducera vikten för maskinsystemen med 20 %.
- Reduceras de dagliga operationella kostnaderna med 10 %.

7.3 MarPower

MarPower är en EU-finansierad studie kring avancerade koncept för marin framdrift deltar 20 intressenter från 8 länder. Tanken med projektet är att koordinera olika projekt som inte är finansierade av EU och därmed kunna skapa innovativa koncept. Dessa koncept skall sedan utvärderas genom teoretiska analyser, simuleringar och experiment. Dessutom skall nya projekt kunna skapas genom korsbefruktning av olika pågående projekt. Deltagande i

²⁹ Angelfors, Johnsen & Magerholm Fet (1998).

³⁰ Johnsen & Magerholm Fet (1998).

³¹ Marintek (1999)

studien är bland annat 10 tekniska högskolor, och 2 klassningssällskap. MarPower startade 1997 och planeras löpa under 4 år. Ett av resultaten är en rapport³² som beskriver "state of the art" inom avancerade marina maskinerier med inriktning mot låga emissioner och hög verkningsgrad.

7.4 Sjöfartssystem med ekologiska förtecken

7.4.1 Södra Shipping

Södra Skogsägarnas transportsystem bygger på mindre fartyg av Lo/Lo-typ³³, en fartygstyp som redan från början har stor kapacitet i förhållande till sin energiförbrukning. Fartygen ligger dessutom i det lägre fartregistret (runt 14 knop) vilket ger lågt framdriftsmotstånd. Fartygen har utrustats med avgasrening för kväveoxider och går med lågsavvligt bränsle vilket gör att transportererna sker med låg energiförbrukning och låga utsläpp till luft.

7.4.2 Stora Enso

Stora-Ensos system *Baseport* är ett nytt transportsystem där man försökt att uppnå stora minskningar av miljöpåverkan från hela transporten. Några av nyckelkomponenter i projektet är:

- Egenutvecklad stor lastbärare (SECU) ger volymfördelar och effektiv hantering. Den tidigare så kallade Storaboxen, numera SECU (Stora Enso Cargo Unit) är en stor container som kan lastas med upp till 80 ton nyttolast.
- Landtransport sker med järnväg.
- Relativt långsamma, slanka och lastdryga RoRo-fartyg.
- Långsamtgående dieselmotor för låg energiförbrukning.
- Avgasrening för att reducera kväveoxider, kolväten och kolmonoxid.
- Lågsavvligt bränsle
- Hög lastfaktor genom att transportsystemet gjorts öppet för tredjepartsgods i båda riktningarna vilket ger en hög fyllnadsgrad i systemet.

Konflikten mellan högt maskineri (Lågvarvig diesel) och önskat stort obrutet lastutrymme med stor öppning akterut har lösts genom att maskineriet placerats långt förut och driver propellern genom en mycket lång axel. Detta har även gett viss frihet i utformningen av akterskeppet för att få en god strömningsbild. Även i detaljer som bottenfärg, kemikaliehantering ombord med mera har bästa tillgängliga lösningar eftersträvat.

7.4.3 Ecoship

Under några år har ett svenskt konsortium, av komponenttillverkare, varv etc, gått samman och utvecklat fartygskoncept med varunamnet *Ecoship*. Tanken med projektet är att på ett

³² Buhaug (1999)

³³ Lo/Lo: Lift on Lift off.

för miljön gynnsamt sett utnyttja och sätta samman teknik, som tillverkas av de i konsortiet ingående parterna. Exempelvis specificeras *Ecoship* med många små högvarviga dieselmotorer från Volvo Penta som skall driva elgeneratorer som alstrar ström vilken driver elmotorer, så kallad dieselektrisk drift. Samtliga motorer planeras att förses med avgasrening. Skrovet är tänkt att vara långt och slankt för att få lågt framdrivningsmotstånd men utan dubbelkrökta ytor för att låg produktionskostnad skall uppnås. I dagsläget har ännu inget *Ecoship* beställts.

8 RESULTAT OCH SLUTSATSER

Det kan konstateras att sjöfarten har en potential att vara ett av de miljövänligaste transportmedlen om inte det miljövänligaste. I huvudsak beror miljöfaktorerna på hur hög fart som fartyget skall gå med. Låga farter, under 15 knop, ger så låg energikonsumtion per utförd transportarbete att sjöfart, i detta fartområde, fortfarande är ett i energiförbrukningshänseende överlägset transportmedel.

Fartyg har en förhållandevis lång livslängd. Den svenska närsjöflottans medelålder är över 20 år vilket ger en bild av utnyttjandet av fartygen. Det är bra ur livscykelperspektivet, sett till ett specifikt fartyg, men innebär även problem när ny teknik och nya synsätt skall introduceras. Det tar det lång tid för ny teknik och miljövänliga alternativ att få genomslag då omsättningstakten av fartyg är låg.

Ett långsiktigt hållbart transportsystem kan definieras som ett system vars huvudkomponenter uppfyller krav på låg miljöpåverkan och låg resursförbrukning i samtliga delsteg samt är optimerat mot hög effektivitet på systemnivå. Visionen bör vara att ett ekologiskt sjötransportsystem en minimal negativ miljöpåverkan och konsumerar ringa ändliga resurser.

För att kostnadseffektivt minska miljöpåverkan från ett sjötransportsystem krävs kunskap och verktyg. Kunskap krävs kring de olika miljöproblemens orsak och dignitet, vilka möjliga lösningar som står till förfogande och vilka kostnader och konsekvenser alternativa lösningar har. Vid en jämförelse av hur fartyg projekteras och produceras med andra farkoster som lastbilar, inses att de resurser som står till förfogande är mycket mindre på fartygssidan. Den största anledningen till detta är att fartyg vanligen byggs i serier om ett, två eller tre fartyg medan lastbilar byggs i tiotusental. Stöd behövs därför så att de som specificerar och projekterar fartyg skall kunna inhämta information som gör det möjligt att värdera och ta fram ett miljömässigt bra fartyg.

För att sjötransporter med fartyg skall vara långsiktigt hållbara krävs att framdrivningen skall kunna ske med så stor andel förnyelsebar energi som möjligt. Detta är rent tekniskt möjligt redan idag genom att använda segel eller annan vindgenererad energi. Idag är det ännu inte praktiskt och ekonomiskt möjligt annat än på mycket specifika rutter. Andra lösningar som står och bankar på dörren är fartyg med bränsleceller drivna på vätgas framställd med förnyelsebar energi. Det är i dagsläget svårt att med säkerhet bedöma om denna typ av lösningar har en möjlighet att slå igenom storskaligt. Det som går att se är att det initierats en del projekt inom området vilket kan ge ett bättre bedömningsunderlag.

I övrigt har sjöfarten samma problem med energigenerering som landtransportmedlen med den skillnaden att fartyg mycket väl kan bära processanläggningar och mer voluminöst bränsle utan att för den skull behöva markant större effekt för framdrivningen.

8.1 Drift

Bortsett från bränsleförbrukning bör även den ekologiska hållbarheten i övriga driftssystem hos fartyg diskuteras. Fartyg har ofta överskottsenergi i form av värme vid drift. Det är inte vanligt att hela maskineriet är optimerat ur energisynpunkt, något som borde kunna ge energibesparing.

Marginalkostnaden för en sådan optimering i förhållande till den potentiella besparingen bör ställas i relation till kostnaden för bränsle och möjlig minskning av miljöpåverkan.

Det finns många miljömässigt bättre alternativ till förbrukningsmaterial, vätskor och utrustning. Svårigheten är dels att kommunicera kunskapen om alternativa bättre lösningar och dels att få dessa accepterade och godtagna av exempelvis tillverkarna av de system i vilka produkterna skall användas.

Vad gäller restprodukter, spill och sopor lämnas dessa iland enligt internationella regler och omhändertas på samma sätt som för övrig industri.

Bottenfärger med gifter utgör en allvarlig miljöstörning men är nödvändiga för att inte bränslekonsumtionen skall öka dramatiskt, även om farten är låg. Forskning och produktutveckling inom detta område pågår och ser lovande ut.

Översiktliga livscykelanalyser³⁴ visar på att mer än nio tiondelar av energiförbrukning och emissioner uppstår under användandet av fartyget och den resterande delen vid tillverkning och upphuggning. Detta pekar på vikten av att redan i konstruktionsfasen arbeta aktivt med fartygets påverkan under driftsfasen.

8.2 Återvinning

Det är en mycket liten del av ett fartyg som inte består av metaller vilka i stort sett alla är återvinningsbara. Fartyg återvinns idag till en mycket stor del. Problematiken består till stor del av de förhållanden detta utförs under, till största delen i tredje världen. Delar av fartygen, såsom bronspropellrar etc har ett mycket högt skrotvärde. Gällande uppkomst av avfall står byggnations och upphuggningsfasen för en stor andel av den totalt genererade avfallsmängden.

8.3 Nya långsiktigt ekologiskt hållbara fartyg

Det finns idag inget sammanställt material eller rekommendationer på hur ett ekologiskt långsiktigt hållbart fartyg skall vara utformat. Detta innebär att den redare som vill projektera ett fartyg med ekologisk inriktning själv behöver ta till sig all den kunskap som krävs för att inom de givna förutsättningarna skapa ett fartyg som ger så låg miljöpåverkan som möjligt.

Vi tror att det finns mycket att vinna genom att börja med att sammanställa kunskap från olika områden om som är till hjälp när låg miljöpåverkan från sjötransporter skall uppnås. I avsnitt 9 lämnas ett förslag på hur ett projekt som har till mål att skapa en sådan sammanställning kan utformas. Projektet skulle syfta till att ta fram information, råd och eventuellt effektiva verktyg som kan användas under specificering, projektering och analyser av sjötransportsystem med miljöpåverkan i fokus.

Vi tror även att man på sikt bör bygga upp någon form av kompetenscenter kring miljöpåverkan från sjötransporter. Till ett sådant center kan grupper som arbetar med sjöfart och miljö knytas.

³⁴ Johnsen, Endresen & Sjørgård (2000).

9 HUVUDPROJEKT, EKOLOGISKT HÅLLBARA FARTYG

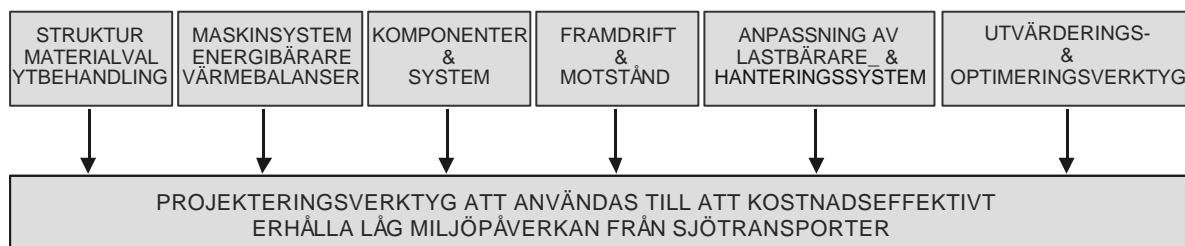
Idag projekteras fartyg mot hög transporteffektivitet och låga kostnader. Låg miljöpåverkan har däremot haft underordnad betydelse som styrparameter i många fall när sjötransportsystem planeras. Detta har under senare tid gett en sjöfart som tenderat att bli mer resurskrävande, i alla fall gällande transporter av trailers, containers och annat relativt högvärdigt gods. I denna förstudie beskrivs aktiviteter sammanknippade med sjötransporter som ger negativ miljöpåverkan. Även pågående och avslutade projekt som syftar till att minska eller eliminera miljöpåverkan från fartygsdrift beskrivs.

Inom en nära framtid kan det förväntas att avsevärt högre krav kommer att ställas på minskad total miljöpåverkan från nya och befintliga fartyg. Då fartyg ofta konstrueras och ritas av enskilda varv och redare, samt vanligen byggs i mycket små serier, saknas ofta resurser att själva bygga upp all den kompetens som krävs för att finna lösningar med låg miljöpåverkan till rimliga kostnader. Kunskap att specificera dessa av beställaren saknas även i hög grad.

För att kunna möta dessa framtida förväntade krav kan det därför finnas anledning att ta ett samlat grepp om problemet. Ett sätt att göra detta och påskynda och underlätta utvecklingen mot fartyg med minskad miljöpåverkan är att utveckla hjälpmedel för varv, redare och avlastare för hur låg miljöpåverkan kan uppnås effektivt.

I det här beskrivna projektet föreslås hur kunskap om och verktyg för att kunna projektera och förändra fartyg mot mindre miljöpåverkan kan produceras.

Tanken är att ett antal delprojekt genomförs inom olika områden där undersökningar genomförs hur de aktiviteter som ger negativ miljöpåverkan inom respektive område kan minskas. Dessa delprojekt knyts sedan samman och redovisas som en handbok eller som ett projekteringsverktyg som hjälpmedel för att konstruera fartyg mer ekologiskt.



Figur 4 Projektstruktur.

Förslagsvis startar projektet med ett seminarium kring miljöanpassning av sjöfart. Till seminariet bjuds internationella experter, forskargrupper och organisationer som sysslar med miljöanpassning av sjöfart in.

En styrgrupp tillsätts som under studiens gång följer och ger synpunkter till delstudierna samt på utformning och innehåll i handbok, programvara och hemsida på Internet.

9.1 Resultat

Resultatet från studien skall vara metoder, verktyg och kunskap som är användbar vid fartygskonstruktion i syfte att nå en minskad total miljöpåverkan från sjötransporter. Det skall även innehålla anvisningar om hur pass stora miljöförbättringar som kan utföras till vilka insatser.

Frågeställningar som skall besvaras av studien är:

- Var ligger förbättringspotentialen m a p miljöpåverkan och resursåtgång om miljöhänsyn lyfts upp och ges en avsevärt högre prioritet än idag?
- Vilka åtgärder krävs för att komma ner till en mycket låg miljöpåverkan för sjötransporter?
- Hur kan man, sett ur ett livscykelperspektiv, nå så låg total miljöpåverkan från transportsystemet som möjligt till så låg kostnad som möjligt?

Studien skall baseras på realiserbar teknik och att transporterna skall kunna ske med bibehållen kapacitet och servicegrad.

Projektet skall producera en handbok eller annan form av projekteringsverktyg i miljöanpassad fartygsprojektering med tillhörande LCA-verktyg.

En hemsida på nätet skall även skapas där aktuella resultat kan presenteras. Dessa skall även finnas tillgängliga efter det att projektet är avslutat.

9.2 Arbetsområden

Ett huvudprojekt kan förslagsvis delas in i följande arbetsområden.

- Struktur, materialval, ytbehandling
- Maskinsystem, energibärare, värmebalanser
- Framdrift och motstånd
- Komponenter och system ombord
- Anpassning av lastbärare, latnings- och lossningssystem
- Utvärderings- och optimeringsverktyg

Varje arbetsområde kan utföras separat. Avstämningar görs dock regelbundet med de övriga arbetsområdena.

Huvudprojektet skall organiseras så att varje delområde rapporteras och redovisas separat och sedan sammanställs inom huvudprojektet. Under arbetets gång skall täta kontakter mellan arbetsgrupperna hållas i syfte att få en gemensam inriktning på arbetet samt att utbyta inhämtad kunskap som kan vara till nytta för de övriga delprojekten.

9.2.1 Struktur, materialval, ytbehandling

Genom materialval och konstruktionsmetoder kan materialåtgång och miljöpåverkan styras mot minskat resursuttag och miljöpåverkan. Även vid val av ytbehandling påverkas systemets funktion och egenskaper och därmed miljöpåverkan.

Områden som kan vara intressanta att bearbeta för att utröna var det kan finnas stor potential för minskad miljöpåverkan är:

- Strukturer som passar lättviktkonstruktion i respektive material.
- Höghållfasta stål.
- Alternativa konstruktionsmaterial, exempelvis förnyelsebara.
- Effektivare ytbehandlingsmetoder.

Ett förslag på arbetsgång för att finna bra lösningar i ett fartygsperspektiv är att systematiskt gå igenom och värdera utvalda material och konstruktionsmetoders möjligheter och svagheter för ett antal typiska transportbehov. Studien kan analysera och beskriva olika lösningar med avseende på:

- Funktion.
- Möjlig optimering av strukturvikt.
- Förändring av hela fartygssystemets miljöpåverkan.
- Återvinning respektive svinn i materialcykeln.
- Riskbedömning.

Ytterligare frågor som kan vara med i en studie är:

- Vilka är de bästa materialen ur miljöhänseende om vissa praktiska och ekonomiska hinder kan övervinnas?
- Är handelsfartyg byggda i aluminium, kolfiber, biologiskt baserad plast eller stål ett bra val om fokus hamnar på miljöpåverkan?
- Hur skulle ett system med märkning av delar i fartyget se ut för återvinning?

9.2.2 Framdrift och motstånd

Var ligger den möjliga förbättringspotentialen med tillgänglig teknik för minskat effektbehov för framdrift? Hur skall skrov och huvuddimensioner prioriteras ur ekologisk synvinkel? Detta kan undersökas systematiskt med ett antal olika parametrar som:

- Förbättrade predikteringsmetoder (CFD³⁵).
- Förbättrade skrovformer.
- Minskad friktion genom bättre ytfinhet.
- Förbättrad propulsion och samverkan mellan skrov och propulsion.
- Förändrade optimeringsmål (mer förskjutet mot lågt motstånd).

³⁵ CFD: computational fluid dynamic.

Ovanstående undersökning kan utföras för olika fartygstyper, storleksklasser och fartområden. Dels kan den totala minskningspotentialen av erforderligt effektbehov uppskattas och dels kan respektive komponents betydelse undersökas. Skattningar och bedömningar över okonventionella och innovativa lösningars potential kan utföras. Även kostnader och konsekvenser för de olika åtgärderna bör studeras.

Studien kan tänkas utföras:

- På basis av publicerade rapporter och artiklar.
- På basis av erfarenheter från interna projekt och intern kunskap på SSPA.

Syftet med att undersöka den möjliga förbättringspotentialen m a p energibehov för framdrift är dels att få mål att arbeta mot när fartyg projekteras och dels att kunna använda resultaten som indata till de andra delarna av projektet.

9.2.3 Komponenter och system ombord

Många av de komponenter och system som finns ombord på fartyg är konstruerade för att fungera tillförlitligt och effektivt men har inte tagits fram med miljöpåverkan i åtanke. Det finns ett flertal exempel på produkter och system ombord på fartyg som kan bytas ut mot mindre skadliga med avsevärt mindre miljöpåverkan. Denna delstudie skall hantera frågor rörande kemikalier, tekniska delsystem ombord och eventuellt även organisatoriska åtgärder som kan ge minskad miljöpåverkan (exempelvis minskad olycksrisk). Även en sammanställning av produkter och system som kan bytas ut mot andra bättre för miljön men med bibehållen funktion skall genomföras.

Framförallt skall en modell med kriterier och riktlinjer då komponenter och system upphandlas arbetas fram.

9.2.4 Anpassning av lastbärare och hanteringssystem

Sjötransportsystem är idag styrda av en produktivitetsoptimering ur lasthanteringssynpunkt. Det har gett fartyg som bär lite gods i förhållande till de resurser som åtgår och till fartygets egenvikt. Frågeställningen som tas upp är det fall att fartygssystemet utvecklats med miljöaspekterna som styrmedel. Hur kommer ett sådant system att se ut och hur påverkas fartyget och det totala transportsystemet. I avsnittet berörs även frågor rörande hantering i terminal och hur miljöpåverkan från denna kan minskas.

9.2.5 Utvärderings- och optimeringsverktyg

För att få en så korrekt bild som möjligt av en aktivitets påverkan av omgivningen kan livscykelanalyser (LCA) användas. I fallet med sjötransporten är det av stort intresse att ta reda på vilka aktiviteter som ger stor påverkan och är intressanta att arbeta med i första hand. För att underlätta miljöavvägningar under projektering och konstruktion av fartyg är även ett livscykelkostnadsverktyg av nytta (LCC, Life Cycle Cost). Dessa verktyg kan tillsammans vara mycket kraftfulla hjälpmedel vid energi- och miljöbesparande fartygsdesign. Målsättningen är att utveckla stödmetoder för design, underhåll, drift samt projektering respektive införskaffande av fartyg.

Arbetet med LCA startar med utvärdering av befintliga LCA-verktyg (mjukvaror) som finns på marknaden och efterföljande val av lämpligt verktyg att gå vidare med. Därefter utförs utvidgad LCA-analyser av valda typfartyg. En databas specifik för sjöfarten utvecklas och anpassning av vald mjukvara till ett användarvänligt verktyg genomförs. LCA-verktyget ska användas vid förprojektering och projektering/design för bästa miljöalternativ.

Livscykelkostnadsanalysverktyget skall utvecklas för att uppskatta kostnader ur redarens perspektiv. Även kostnader för miljöpåverkan som idag kan ses som externa kostnader ur redarens perspektiv skall vara integrerade i verktyget. Verktyg skall utvecklas som kan användas vid förprojektering av fartyg. Verktyget skall vara användarvänligt och så utformat att det kan användas av konstruktörer och rederier.

9.3 Metod

Delstudierna skall där så är möjligt arbeta in redan befintliga rapporter, använda och sammanställa befintlig kunskap och redan utarbetade metoder. Där kunskap saknas skall ny kunskap processas fram.

9.4 Styrgrupp

Expertkommitté med bred kompetens sammansatt av representanter från förslagsvis sjöfart, universitet, miljögrupper, exportindustri, o dyl. Styrgruppen skall fortlöpande granska de olika delstudierna.

- Förslag till styrgrupp till samtliga delprojekt kan tänkas bestå av:
- Svenska Redareföreningen
- Myndighetsrepresentanter (Sjöfartsverket, Naturvårdsverket)
- Försäkringsbolag, t ex Swedish Club
- Transportköpare
- Transportörer
- Experter inom LCA området
- Experter inom trafikpolitik
- Universitetsrepresentanter
- Klassningssällskap

10 REFERENSER

10.1 Litteratur

- Ahlbom J., Duus U., 1999, *Mindre gift på drift*, Rapport från Kemikalieprojektet inom ramen för Skärgårdsuppdraget, Länsstyrelsen Västra Götaland Rapport nr 1999:37 och Göteborgsregionens kommunalförbund.
- Angelfoss A., Johnsen T., Magerholm Fet A., & Karlsen H., 1998; *Life Cycle Evaluation of Ship Transportation – State of the Art*, Ålesund College, Report no. 10/B101/R-98/007/00.
- Azar C., Lindgren K., Andersson B.A., 1999, *Hydrogen or methanol in the transportation sector? An assessment of fuel choices under stringent CO2 constraints*, Department of Physical Resource Theory, Chalmers University of Technology and Gothenburg University, Gothenburg.
- Avdelningen för tillämpad miljövetenskap, Göteborgs Universitet, 1997, *Luftvård*, sjätte upplagan, Göteborg.
- Berlekom W., 1999, *Vad kostar en knop?*, nordisk Sjöfartteknisk Årsbok 1999, svensk Sjöfarts Tidning 40 • 1999.
- Buhaug Ø. (editor), 1999, State of the Art Report No. 1, MarPower, Concepts of Advanced Marine Machinery Systems with Low Pollution and High Efficiency, Marpower Participants for European Commission, DG XII., Norway.
- Corbett J. and Fischbeck P., 1997, *Emissions from Ships*, Science, 278, 823-824.
- DoD Fuel Cell Demonstration Program, 2000 U.S. Department of Defence,
- EEA, 2000, *Are we moving in the right direction? Indicators on transport and environment integration in the EU*, Environmental issues series No 12, European Environment Agency, Copenhagen.
- Elliot D., 2000, *Renewable energy and sustainable futures*, Futures Volume 32 Numbers 3/4 April/May 2000, sid. 261-274.
- European Commission, 1997, *Energy Technology – The Next Steps, Summary findings from the ATLAS project*, Directorate General for Energy (DG XVII) (155 pages).
- European Commission, 1999, Meet Methodology for calculating transport emissions and energy consumption, Transport Research fourth framework programme strategic research DG VII – 99, ISBN 92-828-6785-4, Luxembourg.
- Fox, J. & Cramer, D., 1997, *Hypercars: A Market-Oriented Approach to Meeting Lifecycle and Environmental Goals*, Society of Automotive Engineers (SAE) Paper No. 971096, Rocky Mountain Institute Publication #T97-5.
- Hermansson R., 2000, *Tekniska drivkrafter under 2000-talet*, Svensk Sjöfarts Tidning 9-10 • 2000.
- Hydrogen & Fuel Cell Letter, 1999, *Singapore Physicist Report High Hydrogen Storage Capacities in Alkali-Doped Carbon Nanotubes*, August 1999 - Feature.
- Johansson B. & Åhman M., 2000, *Koldioxidneutrala transportsystem. En studie av energieffektiva fordon och förnybar energi*, KFB-Rapport 2000:28, ISBN 91-88371-83-2.
- Johnsen T., Endresen Ø. & Sjørgård, 2000, *Assessing environmental performance by ship inventories*, Paper presenterat på konferansen ENSUS 2000 - Marine Design and Operations for Environmental Sustainability, Department of Marine Technology, University of Newcastle upon Tyne UK and EU TRESHIP & MarPower Thematic Networks 4th and 5th September 2000, Det Norske Veritas, Norge.
- Johnsen T. & Magerholm Fet A., 1999, *Screening Life Cycle Assessment of M/V Color Festival*, Ålesund College, Report no. 10/B101/R-98/009/00.
- Jung P., 1999, *Technical and Economic Assessment of Hydrogen and Methanol Powered Fuel Cell Electric Vehicles*, Master of Science Thesis, Avdelningen för fysisk resursteori, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien (1998), *Möjligheter och hinder på väg mot Faktor 10 i Sverige*, IVA Arbetsdokument 1998:15, Stockholm.

- Lagheim A., 1999, *Linfärjan Bolmia, Från diesel till bränsleceller – En undersökning kring möjligheter och miljö fördelar*, Examensarbete vid Mälardalens Högskola på uppdrag av Vägverket.
- Litman T., 1999, *Issues In Sustainable Transportation*, Victoria Transport Policy Institute, Victoria, Canada.
- Litman T., 1999, *Reinventing Transportation, Exploring the Paradigm Shift Needed to Reconcile Transportation and Sustainability Objectives*, Victoria Transport Policy Institute, Victoria, Canada.
- Lloyd's Register Engineering Services, 1995, *Marine Exhaust Emissions Research Programme*, Lloyds Register of Shipping, London.
- Lovins A., Williams B., 1999, *A Vision of a Hydrogen Future*, The Balaton Bulletin www.unh.edu/ipssr/Balaton/Bulletins/BBSspring1999index.html, The University of New Hampshire, Durham
- PELMATIC, 1997, *Environmental study of RoRo-ships*, Project 6204, Sveriges Redareförening.
- Magerholm Fet A. & Sörgård E., 1999, *Life Cycle Evaluation of Ship Transportation – Development of Methodology and Testing*, Ålesund College, Report no. HIÅ10/B101/R-98/008/00.
- Marintek, 1999, *Årsrapport 1999 Miljøtiltak for eksisterende skip For brukerstyrt FoU, Prosjekt 132635/230*, Norges forskningsråd, Oslo
- Naturskyddsföreningen, -97, *Ett hållbart transportsystem*, Naturskyddsföreningens handlingsprogram, ISBN: 91 558 6011-7, Visby.
- Naturskyddsföreningen, 1998, *Steg för steg mot hållbarhet, Naturskyddsföreningens samlade förslag för en bättre miljö*, Rapport 98/9105.
- Naturvårdsverket, 1996, *På väg mot ett miljöanpassat transportsystem*, Slutrapport från MaTs-samarbetet, Rapport 4636.
- Naturvårdsverket, 1998, *Miljöforskning för hållbar utveckling*, Naturvårdsverkets redovisning till regeringen, Stockholm.
- Det Norske Veritas, 1998, *Decommissioning of Ships – Environmental Protection and Demolition Practices*, Technical Report No.: 99-3065, Norwegian Ministry of the Environment and Norwegian Shipowners Association, Høvik.
- Padro C., Putsche V. 1999, *Economics of Hydrogen*, Energy, Fall 1999.
- Potter S., Skinner M., 2000, *On transport integration: a contribution to better understanding*, Futures, Volume 32 Numbers 3/4 April/May 2000, sid. 275-287.
- Spante L. m. fl., 1999, *Solel 97-99, Ett branschgemensamt FoU-program, Årsrapport 1998*, Elforsk rapport 99:5, Stockholm.
- Ström K., Ziegler F., 1998, *Miljöeffekter av svallvågor från höghastighetsfärjor i Göteborgs skärgård*, Göteborgs Miljöförvaltning.
- Tinsley D., 1999, *Antifouling breakthrough for UK*, Lloyd's List, March 10 1999.
- Turner J. A., 1999, *A Realizable Renewable Energy Future*, Science, 285, 687-689.
- Wildmark E., 2000, *Jätteläckage i holländska fartyg*, Maskinbefälet nr 4/2000.
- Wurster R., 1999, *PEM Fuel Cells in Stationary and Mobile Applications, Pathways to Commercialization*, L-B-Systemtechnik GmbH, Sixth International Technical Congress – BIEL'99 – 13th – 19th September 1999 – Bienal de la Industria Eléctrica y Luminotécnica, CADIEM Camara Argentina de Industrias Electromecánicas.

10.2 Personliga kontakter

Ingemar Ahlqvist, Wärtsilä NSD, Wasa, Finland, +358-(0)40-725 99 54.

Johan Algell, Vägverket, 08-629 00 58.

Tony Andersson, Hempel Färg (Sverige) AB, 031-695253.

Christian Azar, Fysisk resursteori, Chalmers Tekniska Högskola, 031-772 31 32.

Inge Jacobsson, International Färg AB, 031-92 85 00.

Stefan Jacobson, Hempel Färg AB, 031-69 52 54.

Lars Larsson, Institutionen för Hydrodynamik, Chalmers Tekniska Högskola, 031-772 14 81.

Hans Liljenberg, SSPA, 031-772 90 00.

Christer Sonander, SSAB Oxelösund AB, 0155-25 40 00.

Anders Ulfvarsson, Marin konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola, 031-772 14 59.

Tony Vesterlund, Binol Filium, 0454-828 00.

Karl-Erik Hallsten, Karlskronavarvet, 0455-68 34 46.