

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Vägen mot 50% minskning av växthusgasutsläpp från sjöfart till 2050	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Pathways towards 50% reduction of GHGs from shipping until 2050	
Universitet/högskola/företag Chalmers Tekniska Högskola	Avdelning/institution Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper
Adress Campus Lindholmen, 412 96 Göteborg	
Namn på projektledare Selma Brynolf	
Namn på ev övriga projektdeltagare Julia Hansson, Anna Mellin, Erik Fridell, Maria Grahn, Karin Andersson, Mariliis Lehtveer, Suzanne Green, Fredrik Larsson	
Nyckelord: 5-7 st sjöfart, tekniska lösningar, styrmedel, alternativa marina bränslen, scenarier, växthusgasutsläpp, beslutsunderlag	

Förord

Projektet har finansierats av Energimyndigheten (87%), Chalmers tekniska högskola (8%) och Svensk Rederiservice AB (4%). Projektets referensgrupp, vilket utöver myndighetsrepresentanter från främst Transportstyrelsen inkluderar medlemmar till Föreningen Svensk sjöfart, har aktivt bidragit till projektet genom två workshops där projektets pågående analyser och resultat har diskuterats och input till analyserna har inhämtats (till exempel kring val av styrmedel och tekniska lösningar samt genom en viktningsoövning till en multikriterieanalys).

Innehållsförteckning

Sammanfattning	2
Summary	2
Inledning/Bakgrund	3
Genomförande	4
Resultat	6
Diskussion.....	8
Publikationslista.....	9
Referenser, källor	10

Sammanfattning

Enligt FN-organet för internationell sjöfart, IMO, ska utsläppen av växthusgaser från sjöfart minska med minst 50% till 2050. Det finns ett behov av studier som analyserar hur detta mål ska nås. Projektets övergripande syfte är att utvärdera tekniska lösningar och styrmedel med stor potential att bidra till IMOs mål och att visa på vägar för att nå målet i Sverige och internationellt. Mer specifikt har projektet (i) utvärderat ett par tekniska lösningar och ett par styrmedel med stor potential att minska sjöfartens växthusgasutsläpp, (ii) analyserat scenarier för kostnadseffektiva val av drivmedel och framdrivningstekniker och (iii) spridit resultat nationellt och internationellt och bidrar med en vägbeskrivning för hur sjöfarten kan nå IMOs utsläppsmål.

Det är möjligt att minska sjöfartens växthusgasutsläpp till 2050 och att nå IMOs mål om att halvera utsläppen till detta år. Men det kommer att kräva betydande åtgärder och införande av styrmedel för att få dessa åtgärder till stånd. Både effektiviseringsåtgärder och byte av bränsle/energibärare behövs för att minska sjöfartens växthusgasutsläpp. Förnybar metanol är med dagens kunskap det billigaste alternativet för de flesta fartygstyperna medan batteri-elektriskt framdrift och segel är lovande för vissa fartygssegment. Vätgas och ammoniak är intressanta alternativ, men det behövs mer kunskap för att bedöma deras fulla potential.

Potentialen för att stimulera bränslebyte inom sjöfarten skiljer sig i viss utsträckning mellan olika styrmedel. Den exakta utformningen av styrmedlen spelar också stor roll för deras effekt på introduktionen av alternativa marina bränslen liksom för dess påverkan på växthusgasutsläppen i allmänhet. Till exempel kan val av systemgränser vid utformning av styrmedel ha stor påverkan på vilka alternativa bränslen som blir kostnadseffektiva. Utvecklingen inom andra sektorer påverkar också de kostnadseffektiva bränslevalen inom sjöfarten.

Summary

The UN agency for international shipping IMO has agreed to reduce greenhouse gas (GHG) emissions from shipping by at least 50% by 2050. There is a need for studies that analyze how this goal should be achieved. The overall purpose of the project is to assess technical solutions and policy instruments with considerable potential to contribute to the IMO's goals and to show ways to achieve the goal in Sweden and internationally. More specifically, the project (i) evaluates several technical solutions and policy instruments with considerable potential to reduce shipping's GHG emissions, (ii) analyzes scenarios for cost-effective choice of fuels and propulsion technologies and (iii) disseminate results nationally and internationally and provides directions for how shipping can reach the IMO's GHG emissions target.

It is possible to reduce the GHG emissions from shipping by 2050 and to achieve the IMO's goal of halving emissions by this year. But it will require significant measures and the introduction of policy instruments to bring about these measures. Both efficiency measures and the change of fuel/energy carriers are

needed to reduce the GHG emissions. Hydrogen and ammonia are interesting alternatives, but more knowledge is needed to assess their full potential.

The potential for stimulating fuel change in shipping differs to some extent between different instruments. The specific design of the instruments also plays a major role in their effect on the introduction of alternative marine fuels as well as for their influence on greenhouse gas emissions in general. For example, the choice of system limits when designing instruments can have a major impact on which alternative fuels become cost-effective. Developments in other sectors also affect the cost-effective fuel choices in shipping.

Inledning/Bakgrund

För att ha möjlighet att nå det globala klimatmålet i Parisavtalet måste de globala växthusgasutsläppen minskas radikalt till 2050. Det innebär en stor utmaning för energisystemet, och speciellt för transportsektorn som domineras av fossila bränslen. Sjöfarten utgör en central del av de globala transporterna men nuvarande bränsleanvändning ger betydande utsläpp av växthusgaser och luftföroreningar.

FN-organet för internationell sjöfart, International Maritime Organization (IMO) har sedan 2018 enats om en strategi med syfte att eliminera utsläppen av växthusgaser från sjöfart under detta århundrade. Mer specifikt är målen att minska de totala utsläppen av växthusgaser från internationell sjöfart med minst 50% år 2050 jämfört med 2008 och att minska koldioxid(CO₂)-utsläppen per utfört transportarbete med 40% till 2030 och 70% till 2050 [1]. Föreningen Svensk Sjöfart vill gå före och nå nollutsläpp av CO₂ redan 2050 [2]. Att drastiskt minska växthusgasutsläppen är en stor utmaning för sjöfartsbranschen vilket rapporter och artiklar som utvärderat tekniker och styrmedel för att minska sjöfartens växthusgasutsläpp visar [3-12].

Nuvarande styrmedel som införts för att reglera sjöfartens CO₂-emissioner i form av Energy Efficiency Design Index (EEDI - en teknisk standard för energieffektivitet i nya fartyg) och Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP - en plan för energibesparande åtgärder) bedöms inte tillräckliga för att minska de totala utsläppen, utan bidrar endast till att minska ökningstakten [6, 13]. Inom EU-systemet monitoring, reporting and verification (MRV) ska transportarbete och bränsleförbrukning rapporteras och målet är att styrmedel ska införas i ett andra steg. Utan nya kraftfulla styrmedel, regelverk och åtgärder förväntas sjöfartens påverkan på klimatet att fortsätta öka de kommande decennierna: från 3% av utsläppen av växthusgaser idag till en betydande del i framtiden [7, 9, 10, 14]. Bakgrunden till detta är att efterfrågan på sjöfart växer i takt med en växande världsekonomi och det ökade behovet av internationell handel, samtidigt som utsläppen av växthusgaser från andra sektorer förväntas minska.

Växthusgasutsläppen från fartyg kan minska via övergång till förnyelsebara bränslen och/eller åtgärder för minskad bränsleförbrukning per utfört transportarbete. Projektioner visar dock att endast en kraftigt ökad energieffektivitet i kombination med bränslebyte (till biodrivmedel eller

elektrobränslen tillverkade av vätgas och CO₂ med hjälp av eller till mer avancerade framdrivningssystem som t ex bränsleceller, batterier eller kärnkraft) leder till scenarier med minskade totala utsläpp [8, 10, 15-17]. Branschen behöver därför genomgå betydande förändringar. Sjöfartens utsläpp kan även minskas genom totalt minskat transportarbete men det går emot branschens mål och strategier för hela transportsektorn där överflyttning från t ex väg till sjötransporter ingår (och är ej i fokus i detta projekt) [11, 18].

Intresset för alternativa drivmedel inom sjöfarten har ökat på senare år och introduktionen har startat i liten skala [19]. Den övergång till LNG som till viss del sker i dag inom sjöfarten har endast en begränsad möjlighet att minska växthusgasutsläppen [20] och istället krävs en övergång till exempelvis biobränslen, vätgas, eldrift, vind och/eller elektrobränslen [8, 11, 16].

För att nå IMO:s mål om minskade växthusgasutsläpp behövs ökad kunskap om verktygen – både avseende teknik/bränslen och styrmedel. Det finns dock en brist på vetenskapligt underbyggda studier som utgår från målet och som visar kostnadseffektiva och tekniskt genomförbara vägar att nå dit och som beaktar hela energisystemet. Det övergripande syftet med detta projekt är att utvärdera tekniska lösningar och styrmedel med stor potential att bidra till IMO:s mål och att visa vägar för att nå målet i Sverige och internationellt. Mer specifikt ska projektet (i) utvärdera 4-5 tekniska lösningar och 2-3 styrmedel med stor potential att minska sjöfartens växthusgasutsläpp, (ii) analysera scenarier för kostnadseffektiva val av bränslen och framdrivningstekniker som även beaktar kolbudgetar (dvs hur olika åtgärder/scenarier påverkar utsläppen över tid och därmed klimatnyttan), (iii) bidra med en vägbeskrivning för hur sjöfarten kan nå IMO:s utsläppsmål som tas fram i dialog med sjöfartsbranschen och berörda myndigheter och (iv) presentera och sprida resultat även internationellt.

Projektet stödjer arbetet med att konkretisera IMO:s vision och avser utgöra ett viktigt underlag för berörda beslutsfattare i näringslivet och inom myndigheter, för politiker samt forskare. De initiativ som tas och satsningar som görs idag behöver kompletteras med analyser med system- och jämförande perspektiv för att bättre förstå olika tekniska lösningars och styrmedels roll i att minska sjöfartens växthusgasutsläpp. Projektet har pågått från 2019-03-11 till och med 2021-05-31.

Genomförande

Projektet har utförts i samarbete mellan Chalmers (Mekanik och maritima vetenskaper), IVL (enheten Hållbart samhälle) och Föreningen Svensk Sjöfart (FSS, branschorganisation som representerar ett 60-tal svenska rederier med verksamhet i hela världen).

Från ett övergripande perspektiv har projektet bestått av följande delar: (i) detaljerad utvärdering av tekniska lösningar med stor potential att minska sjöfartens växthusgasutsläpp, (ii) detaljerad utvärdering av styrmedel med stor potential att minska växthusgasutsläppen från sjöfarten och (iii) analys av scenarier för att nå målet om 50% minskning av växthusgaser från sjöfartssektorn.

Tekniska lösningar och styrmedel som kan minska sjöfartens växthusgasutsläpp har kartlagts och analyserats. Kartläggningen av dessa tekniska lösningar och styrmedel har presenterats samt diskuterats med relevanta sjöfartsaktörer på två workshops som arrangerats inom ramen för projektet. Ett ramverk för att analysera både tekniska lösningar och styrmedel med stor potential har tagits fram inom projektet där relevanta bedömningskriterier kartlagts och prioriterats. Specifika kriterier och beslutsunderlag med fokus på ett hållbart val av marina bränslen har analyserats mer i detalj och har publicerats i en vetenskaplig artikel [21]. Det arbete som pågår inom IMO med att prioritera styrmedel och förhandla kring vilka som ska utvecklas vidare och hur, har följts inom projektet.

Som en av de detaljerade utvärderingarna av tekniska lösningar inom projektet har potentialen för ammoniak som sjöfartsbränsle studerats. Arbetet har publicerats i en vetenskaplig artikel och bygger vidare på ett underlag i ett annat projekt där detta område började analyseras av projektdeltagarna. En annan specifik tekniks lösning som analyserats är segel på fartyg som huvudsakligt framdrivningsalternativ. Detta startade som ett mastersarbete som handledes gemensamt av SSPA och Chalmers. Efter det har ytterligare analyser gjorts som kommer att skickas in för publicering i vetenskaplig tidskrift. Som en tredje del i att analysera tekniska lösningar har en tekno-ekonomisk analys genomförts för flera olika fossilfria framdrivningskoncept för fyra olika fartygstyper och tre olika operationella mönster. Fartygskoncepten baseras på bio-, elektrobränslen eller en kombination av dessa i antingen förbränningsmotorer eller bränsleceller. Utöver detta har även batteri-elektrisk framdrift studerats för en av fartygskategorierna (större färjor). Denna artikel finns publicerad i form av en vetenskaplig artikel [22].

Kartläggningen av styrmedel som utförts baserat på en omfattande litteraturgenomgång har använts som underlag för den fortsatta analysen. De styrmedel som valts ut för fortsatt analys (globalt marint handelssystem, globalt handelssystem som omfattar fler sektorer, global marin CO₂ skatt eller avgift, så kallad "goal based measure" en målbaserad åtgärd och en kvot för alternativa marina bränslen eller växthusgasreduktionskrav för marina bränslen) analyseras dels med multikriterieanalys, dels med energisystemmodellering. Effekterna av kombinationer av teknik och styrmedel för kostnadseffektiva val av marina bränslen och framdrivningstekniker analyseras för olika utvalda scenarier. Vilket genomslag av ny teknik och nya bränslen som styrmedlen kan förväntas leda till inom sjöfarten studeras i detta sammanhang. I detta sammanhang har den så kallade GET-modellen använts för att testa hur kostnadseffektiva de tekniska lösningarna är samtidigt som effektiviteten för de utvalda styrmedlen analyseras. Sjöfartens bidrag till kolbudgeten till 2050 bedöms också för de olika scenarierna. Ett manuskript innehållandes dessa analyser kommer att skickas in för vetenskaplig publicering. Ett tillhörande policy brief med en sammanfattande vägbeskrivning av hur sjöfarten kan nå IMOs utsläppsmål för 2050 kommer publiceras i samband med detta.

GET-modellen är en linjär optimeringsmodell som generar scenarier för transportsektorns bränsleval, för en viss atmosfärisk CO₂ koncentration eller

kolbudget, till lägsta totala kostnad (för hela världens energisystem). GET har i stor utsträckning använts för att analysera en övergång till förnyelsebara alternativ vid kraftiga CO₂-minskningskrav i det globala energisystemet. Den innehåller tre fartygskategorier, scenarier för sjöfartens energibehov till 2100 och kostnader för olika bränslen och teknikval [15, 23-25].

Resultat

Projektet har bidragit till tre publicerade vetenskapliga artiklar och två manuskript som kommer att skickas för publicering i vetenskaplig tidskrift efter sommaren 2021. Projektet har också resulterat i flera konferensbidrag. Därtill kommer ett policy brief som sammanfattar projektet slutsatser att publiceras.

Det finns ett antal intressanta tekniska lösningar med stor potential att bidra till minskning av växthusgaser inom sjöfartssektorn. Segel innebär en möjlighet att utnyttja förnyelsebar energi direkt utan att omvandla till bränslen. Preliminära resultat visar på möjlighet att minska bränsleförbrukningen med 80% med ett nydesignat biltransportfartyg utrustat med fastriggsegel jämfört med ett motsvarande fartyg utan segel. Även om framdrivningssystem utrustat med fastriggsegel har en högre initial investeringskostnad och växthusgasutsläpp från byggande och skrotning, är kostnaderna och klimatpåverkan avsevärt lägre ur ett livscykelperspektiv på grund av den stora bränslebesparingen. Detta indikerar att fastriggsegel kan vara en lovande teknik för vissa fartygstyper.

För de flesta fartygstyper krävs dock ett bränsle/energibärare. Resultat från vår tekno-ekonomiska analys visar att när kostanden för biobränslen, bioelektrobränslen och elektrobränslen jämförs är metanol det billigaste bränslet i respektive kategori, men dimetyleter (DME) och ammoniak (i elektrobränsle kategorin) uppvisar bara marginellt högre kostnader. Förvätskad vätgas är bland de dyraste bränslena. Orsaken till det är kostnaden för förvätskning och för infrastrukturen. Men kostanden för vätgasinfrastruktur är idag mycket osäker och behöver utredas mer. Dessa slutsatser kvarstår också när kostnaden för framdrivningssystemet vägs ihop med bränslekostnaden i en årlig totalkostnad. Detta med undantaget att för stora färjor är batteri-elektrisk framdrivning ett intressant alternativ och var det alternativ för denna kategori med lägst årlig totalkostnad jämfört med alla bränslealternativ utom biodrivmedel. Vår multikriterieanalys som täcker flera aspekter visar att ammoniak kan vara lika intressant för sjöfartssektorns aktörer som vätgas och biomassabaserade bränslen.

Våra analyser visar också att det är viktigt att tänka på fartygets operationella mönster vid val av framdrivningssystem. Förbränningsmotorer är kostnadseffektiva i de flesta fall för oceansjöfart till 2030. Batteri-elektrisk framdrift ett intressant alternativ framförallt vid möjlighet till korta avstånd mellan laddning och hög utnyttjandegrad. Fartyg med hög utnyttjandegrad, långa avstånd mellan bunkring (och högre hastighet) kan gynnas av ett dyrare men effektivare framdrivningssystem, som bränsleceller.

Litteraturgenomgången av styrmedel för att minska sjöfartens växthusgasutsläpp visar att det finns en del analyser av handelssystem för utsläppsrätter, skatter och

avgifter medan väldigt få studier har analyserat någon form av målbaserade styrmedel (så kallad goal-based measure), vilket dock har föreslagits av IMO. Det saknas också analyser av system för en obligatoriska alternativ bränslekvote alternativt en reduktionsplikt för sjöfartsbränslen vilket inte heller IMO verkar ha diskuterat men denna typ av styrmedel nämns dock inom EU initiativet Fuel EU Maritime och har för svensk del föreslagits av Fossilfritt Sverige. Relativt få studier har analyserat olika styrmedels påverkan på bränsleval inom sjöfarten.

Våra inledande analyser av effekten av ett handelssystem med tak för växthusgasutsläppen för samtliga sektorer i de nordiska länderna visar att med ett tak på netto-noll växthusgasutsläpp till 2050 så måste sjöfarten i Norden minska utsläppen till 2030 och det framstår då kostnadseffektivt att byta till en mindre andel biobränslen. Till 2050 krävs en större förändring och även då framstår det kostnadseffektivt att framförallt introducera biobränslen. I vilken utsträckning beror på utvecklingen för koldioxidinfångning och lagring av biobaserad CO₂ och hur dessa negativa utsläpp får tillgodoräknas, eftersom det kan leda till att sjöfarten liksom andra transportsektorer skulle kunna tillåtas att fortsätta att släppa ut en del växthusgasutsläpp (högst osäkert dock). Elektrobränslen kan också i mindre utsträckning vara kostnadseffektivt under vissa förutsättningar (givet att koldioxidinfångning och lagring inte blir tillgängligt i stor skala). Dessa slutsatser kan dock påverkas av utvecklingen för andra alternativ och när analysen görs på det globala planet där till exempel biomasstillgången är mer begränsad.

Våra inledande analyser för Norden visar också att utan ett specifikt mål/tak för sjöfarten blir en övergång till alternativa bränslen endast kostnadseffektivt i en väldigt begränsad omfattning till 2030. Då vidtas istället minskningar i andra sektorer än sjöfartssektorn som framstår behöva mer riktade styrmedel för att åtgärder ska vidtas i större utsträckning.

En annan insikt från våra analyser är att potentialen för att stimulera bränslebyte inom sjöfarten skiljer sig mellan olika styrmedel. Styrmedlens exakta utformning spelar också stor roll för deras effekt på introduktionen av alternativa marina bränslen liksom för andra åtgärder. Även preferenserna och inställningarna hos olika sjöfartsrelaterade aktörer påverkar vilka styrmedel som är mest intressanta. De styrmedel som är att föredra för att minska sjöfartens växthusgasutsläpp påverkas utöver av dess prestanda (dvs hur de presterar för olika aspekter som kostnadseffektivitet, växthusgaspåverkan, hur snabbt de kan implementeras etc) även av hur viktiga olika aktörer tycker att dessa olika aspekter är. Redare tycker till exempel generellt sett att ekonomiska aspekter är viktigast medan myndighetspersoner tycker att miljömässiga aspekter är viktigast.

Ett globalt handelssystem för samtliga sektorer bedöms vara ett kostnadseffektivt sätt att nå låga växthusgasutsläpp totalt sett globalt. För att nå en betydande minskning inom sjöfartssektorn kan dock en global skatt på marina bränslen eller ett handelssystem med specifikt tak för sjöfarten vara mer framgångsrika enligt preliminära analyser. En specifik kvot för alternativa marina bränslen eller motsvarande reduktionsplikt framstår vara ett mindre kostnadseffektivt styrmedel och rankas enligt vår analys lägre än övriga styrmedel av samtliga aktörsgrupper som vi undersökt.

Diskussion

Det är möjligt att minska sjöfartens växthusgasutsläpp till 2050 och att nå IMO:s mål om att halvera utsläppen till detta år. Men det kommer att kräva betydande åtgärder/förändringar och införande av styrmedel för att få dessa åtgärder/förändringar till stånd. Både effektiviseringsåtgärder och byte av bränsle/energibärare behövs för att minska sjöfartens växthusgasutsläpp.

För att sjöfarten ska kunna nå sitt växthusgasminskningsmål till 2050 är det viktigt att både styrmedel införs och åtgärder vidtas skyndsamt. De fartyg som nu byggs kommer att användas i många år framöver. Detta kan innebära att det inte är möjligt att vänta på det styrmedel som framstår allra bäst utan att det är viktigt att införa styrmedel som sedan förändras med tiden.

Vid utvärdering av marina bränslen rekommenderar vi att den primära använda energikällan och den beräknade produktionsvägen anges tydligt i bedömningen. När vi utvärderar klimatpåverkan föreslår vi att man använder den globala uppvärmningspotentialen från både ett 20- och 100-årsperspektiv för att beakta både kortsiktiga och långsiktiga klimatpåverkan och åtminstone CO₂, metan och lustgas. Det är viktigt att de individuella utsläppen av växthusgaser kvantifieras för ökad transparens och användbarhet.

Våra analyser visar att både vätgasens och ammoniakens roll inom sjöfarten behöver utredas vidare eftersom det är tekniska lösningar som är under utveckling varpå möjligheter och kostnader både kopplat till bränslena och tillhörande framdrivningstekniker kan komma att förändras drastiskt. När det gäller ammoniak är det fortfarande oklart om det kan leda till utsläpp av lustgas, detta behöver utredas mer då det kan ha stor betydelse för dess klimatpåverkan.

Om styrmedel utformas för att bara ta hänsyn till växthusgasutsläppen från fartygen och inte utsläppen ur ett livscykelperspektiv så driver detta mot ”kolfria” bränslen/energibärare som el, vätgas och ammoniak. Val av systemgränser vid utformning av styrmedel kan därför ha stor påverkan på vilka alternativ som blir kostnadseffektiva.

Energisystemmodelleringsstudier visar också att utvecklingen inom andra sektorer tydligt påverkar de kostnadseffektiva bränslevalen inom sjöfarten. Detta är viktigt att beakta vid utformande av styrmedel så att styrmedlen som införs för att minska växthusgasutsläppen får de effekter som avses och att inte andra styrmedel motverkar deras effekt.

Eftersom sjöfarten består av olika typer av sjöfart med olika typer av fartyg med olika förutsättningar kommer olika lösningar för att minska växthusgasutsläppen vara olika intressanta för olika delar av sjöfarten.

Vätgas skulle kunna utgöra ett intressant alternativ för en viss del av sjöfarten. De viktigaste aspekterna för vätgas för sjöfart är relaterade till frågan om lagring av stora mängder av kryogen vätgas ombord på fartyg och kostnadsutveckling av elektrolysörer och förnybar el. Ammoniak kan till viss del vara ett intressant framtida alternativt marint bränsle, men många frågor, tekniska såväl som

säkerhetsmässiga, återstår att lösa innan vi kommer att se en storskalig introduktion.

Batterielektrisk framdrift är ett mycket intressant alternativ som främst är av intresse för mindre fartyg. De viktigaste utmaningarna inkluderar kostnad, vikt, hållbarhet och tillgänglighet av batterier. Marina biobränslen kan spela en viktig roll för sjöfartens omställning eftersom fler bränslen går att blanda in i befintliga bränslen. Nyckelaspekterna för marina biobränslen är kopplat till utbudspotentialen och kostnaden. Finns det tillräckligt med hållbar biomassa även för sjöfartssektorn givet den potentiella efterfrågan från övriga transport och andra sektorer?

Att använda vind för framdrift av fartyg är en intressant lösning men här behövs mer studier av till exempel kostnad och exakt teknisk utformning. Koldioxidinfångning ombord på fartyg är en annan åtgärd som är viktigt att utvärdera men som inte studerats i detalj i detta projekt.

Publikationslista

Projektet har resulterat i följande publikationer:

Hansson, J., Brynolf, S., Fridell, E., Lehtveer, M., 2020. The Potential Role of Ammonia as Marine Fuel – Based on Energy Systems Modelling and Multi-Criteria Decision Analysis. *Sustainability* 12(8), 3265; <https://doi.org/10.3390/su12083265>.

Andersson, K., Brynolf, S., Hansson, J., Grahm, M., 2020. Criteria and decision support for a sustainable choice of alternative marine fuels. *Sustainability* 12(9), 3623; <https://doi.org/10.3390/su12093623>.

Korberg, A., Brynolf, S., Grahm, M., Skov I., 2021. Techno-economic assessment of advanced fuels and propulsion systems in future fossil-free ships. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 142 110861.

Carlsson, J., Olsson, T., Ellis, J., Brynolf, S. Life cycle modelling of a wind powered car carrier - An assessment of cost and greenhouse gas emissions. Manuscript to be submitted to scientific journal.

Brynolf, S., Hansson, J., Mellin, A., Fridell, E., Grahm, M., et al., 2021. Global policy instruments for a fossil free shipping sector and potential impacts on cost-effective fuel choices. Manuscript to be submitted to scientific journal.

Projektet har presenterats på följande konferensposter:

Lehtveer, M., Hansson, J., Brynolf, S., Fridell, E., 2019. The potential of ammonia as marine fuel in climate mitigation. IAMC 2019 - Twelfth Annual Meeting of the Integrated Assessment Modeling Consortium, 2-4 December, Tsukuba, Japan (Poster).

Referenser, källor

1. IMO, *Note by the International Maritime Organization to the UNFCCC Talanoa Dialogue ADOPTION OF THE INITIAL IMO STRATEGY ON REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS AND EXISTING IMO ACTIVITY RELATED TO REDUCING GHG EMISSIONS IN THE SHIPPING SECTOR*. 2018, International Maritime Organization (IMO)
2. Svensk sjöfart, *Klimatfärdplan - Underlag för utredningen Klimatfärdplan 2050*. 2015, Svensk Sjöfart (Swedish Shipowners' Association); Göteborg.
3. Merk, O. and B. Busquet, *Decarbonising Maritime Transport – The Case of Sweden*. 2018, International Transport Forum, The Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD).
4. Lloyds Register and UMAS, *Zero-Emission Vessels 2030. How do we get there?* 2017.
5. Hoffmann, P.N., M.S. Eide, and Ø. Endresen, *Effect of proposed CO₂ emission reduction scenarios on capital expenditure*. Maritime Policy & Management, 2012. **39**(4): p. 443-460.
6. Bazari, Z. and T. Longva, *Assessment of IMO mandated energy efficiency measures for international shipping*. 2011, Lloyds register and Det Norske Veritas (DNV).
7. Smith, T.W.P., et al., *Third IMO GHG Study 2014*. 2014, International Maritime Organization (IMO): London, UK.
8. Chryssakis, C., et al., *LOW CARBON SHIPPING TOWARDS 2050*. 2017, DNV GL: Høvik, Norway.
9. Buhaug, Ø., et al., *Second IMO GHG Study 2009*. 2009, International Maritime Organization: London.
10. Vergara, J., C. McKesson, and M. Walczak, *Sustainable energy for the marine sector*. Energy Policy, 2012. **49**(0): p. 333-345.
11. Traut, M., et al., *CO₂ abatement goals for international shipping*. Climate Policy, 2018: p. 1-10.
12. Faber, J., et al., *Fourth IMO GHG Study*. 2020, CE Delft: Delft.
13. Johnson, H., et al., *Will the ship energy efficiency management plan reduce CO₂ emissions? A comparison with ISO 50001 and the ISM code*. Maritime Policy & Management, 2013. **40**(2): p. 177-190.
14. ICCT, *Reducing Greenhouse Gas Emissions from Ships - Cost Effectiveness of Available Options, White Paper Number 11, July 2011*. 2011, International Council on Clean Transportation.
15. Taljegard, M., et al., *Cost-Effective Choices of Marine Fuels in a Carbon-Constrained World: Results from a Global Energy Model*. Environmental Science & Technology, 2014. **48**(21): p. 12986-12993.
16. Gilbert, P., et al., *Technologies for the high seas: meeting the climate challenge*. Carbon Management, 2014. **5**(4): p. 447-461.
17. Gilbert, P., et al., *Assessment of full life-cycle air emissions of alternative shipping fuels*. Journal of Cleaner Production, 2018. **172**: p. 855-866.
18. European Commission, *White paper - Roadmap to a Single European Transport Area - Towards a competitive and resource efficient transport system*. 2011: Brussels.
19. Hansson, J., et al., *Prospects for alternative marine fuels - Extended summary report from a project within the collaborative research program Renewable transportation fuels and systems*. 2018.
20. Brynolf, S., E. Fridell, and K. Andersson, *Environmental assessment of marine fuels: liquefied natural gas, liquefied biogas, methanol and bio-methanol*. Journal of Cleaner Production, 2014. **74**(0): p. 86-95.
21. Andersson, K., et al., *Criteria and Decision Support for A Sustainable Choice of Alternative Marine Fuels*. Sustainability, 2020. **12**(9): p. 3623.
22. Korberg, A.D., et al., *Techno-economic assessment of advanced fuels and propulsion systems in future fossil-free ships*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2021.
23. Azar, C., K. Lindgren, and B.A. Andersson, *Global energy scenarios meeting stringent CO₂ constraints—cost-effective fuel choices in the transportation sector*. Energy Policy, 2003. **31**(10): p. 961-976.
24. Grahn, M., et al., *Fuel and Vehicle Technology Choices for Passenger Vehicles in Achieving Stringent CO₂ Targets: Connections between Transportation and Other Energy Sectors*. Environmental Science & Technology, 2009. **43**(9): p. 3365-3371.
25. Lehtveer, M., S. Brynolf, and M. Grahn, *What future for electrofuels in transport? - Analysis of cost-competitiveness of electrofuels in global climate mitigation (manuscript in preparation)*. 2018, Chalmers University of Technology.