

Executive summary

FRAMTIDA BRÄNSLEVAL FÖR FLYG, SJÖFART OCH VÄGTRANSPORTER UR ETT ENERGI- SYSTEMPERSPEKTIV

Februari 2022

Julia Hansson och Erik Fridell
IVL Svenska Miljöinstitutet

Selma Brynolf, Maria Grahn och Elin Malmgren
Chalmers Tekniska Högskola

FÖRNYBARA DRIVMEDEL OCH SYSTEM 2018-2021

Ett samverkansprogram mellan Energimyndigheten och
f3 Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel

FÖRORD

Denna executive summary har skrivits för ett projekt inom samverkansprogrammet Förnybara drivmedel och system, projektnummer 48357–1. Projektet har finansierats av Energimyndigheten och f3 – Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel.

Energimyndigheten arbetar på regeringens uppdrag med energiomställningen till ett modernt, hållbart, fossilfritt välfärdssamhälle och stödjer forskning om förnybara energikällor, smarta elnät och framtidens fordon och bränslen.

f3 är en nätverksorganisation som fokuserar på utveckling av miljömässigt, ekonomiskt och socialt hållbara förnybara drivmedel. f3 finansieras gemensamt av centrets parter och Västra Götalandsregionen. Chalmers Industriteknik fungerar som värd för centret. Kansliet vid f3 utgör programkansli för samverkansprogrammet Förnybara drivmedel och system. (se www.f3centre.se)

Denna publikation ska citeras enligt följande:

Hansson, J. *et al* (2022) Framtida bränsleval för flyg, sjöfart och vägtransporter ur ett energisystemperspektiv (*Executive summary*). Publ. nr FDOS 27:2022. Tillgänglig på <https://f3centre.se/sv/samverkansprogram/>

Publikationen täcker in utvalda delar av projektets resultat. Projektets totala resultat presenteras i följande publikationer:

Hansson, J. *et al* (2022) Framtida bränsleval för flyg, sjöfart och vägtransporter ur ett energisystemperspektiv. Publ. nr FDOS 26:2022. Tillgänglig på <https://f3centre.se/en/renewable-transportation-fuels-and-systems/>

Andersson, K. *et al* (2020) Criteria and decision support for a sustainable choice of alternative marine fuels. *Sustainability* 12(9), 3623.

Hansson, J., *et al* (2020) Decarbonizing Nordic Transports – The Role of Alternative Aviation Fuels. Book of abstracts, Vol 1, 3rd ECATS Conference, Making Aviation Environmentally Sustainable.

Dahal, K., *et al* (2020) Reviewing the Development of Alternative Aviation Fuels and Aircraft Propulsion Systems. Book of abstracts, Vol 1, 3rd ECATS Conference, Making Aviation Environmentally Sustainable.

Dahal, K. *et al* (2021) Techno-economic review of alternative fuels and propulsion systems for the aviation sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 1115642021.

Hansson, J., *et al* (2021). Fuel choices for different transport modes when decarbonizing the Scandinavian energy system. Proceedings of the European Biomass Conference & Exhibition (EUBCE) 2021, 26-29 April 2021.

Trinh, J. *et al* (2021). What Are the Policy Impacts on Renewable Jet Fuel in Sweden? *Energies*, 14, 7194.

Grahn, M. *et al* (202X). Review of electrofuel feasibility - Cost and environmental impact. Submitted for publication in Special issue of Progress in Energy (PRGE).

Brynnolf, S. *et al* (202X). Review of electrofuel feasibility - Prospects for road, ocean, and air transport. Submitted for publication in Special issue of Progress in Energy (PRGE).

FÖRNYBARA SJÖFARTS- OCH FLYGDRIVMEDEL AVGÖRANDE FÖR ATT MINSKA KOLDIOXIDUTSLÄPPEN

För att drastiskt minska koldioxidutsläppen från transportsektorn måste introduktionen av drivmedel och framdrivningstekniker med låga utsläpp accelerera, inte minst inom sjöfarten och flyget. Det finns en rad olika drivmedelsalternativ med olika förutsättningar.

Sett ur ett kombinerat kostnads- och klimatperspektiv, vilka är på sikt de mest intressanta alternativen och vilka faktorer påverkar valet?

BIODRIVMEDEL HAR EN NYCKELROLL OCH BEHÖVER ÖKA SNARAST

En betydande elektrifiering framstår som kostnadseffektiv både för person- och godstransporter på väg i de studerade nordiska länderna. Fram till 2030 behövs även biodrivmedel för samtliga vägtransporter, men på längre sikt, till 2050, ökar behoven framför allt inom sjöfarten och flyget. Det beror på att de andra alternativen inte har samma möjligheter att tillgodose efterfrågan inom sjöfart och flyg.

Biomassabaserade marina bränslen och biojetbränslen är kostnadseffektiva åtgärder för att minska koldioxidutsläppen inom den nordiska sjöfarts- och flygsektorn för 2030 och 2050. Det visar sig i alla de scenariofall som studerats i detta projekt. Resultaten för åtta av scenariofallen presenteras i Figur 1 för sjöfarten och figur 2 för flyget.

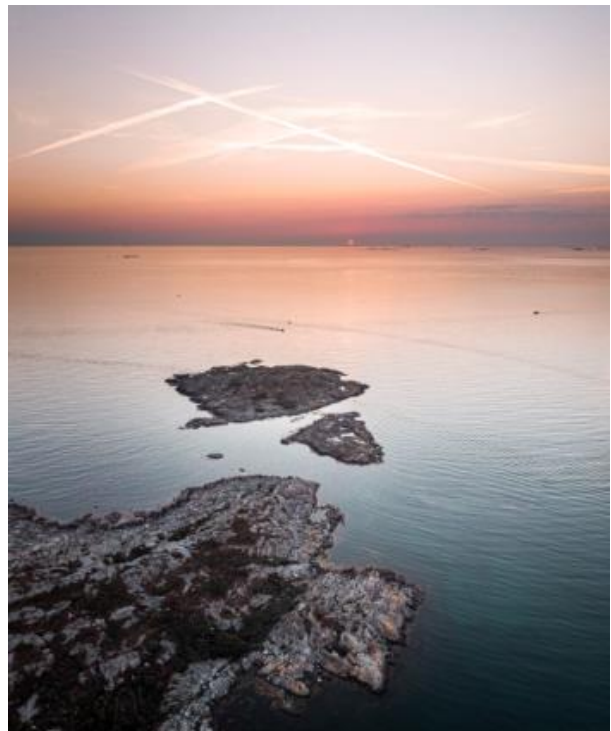
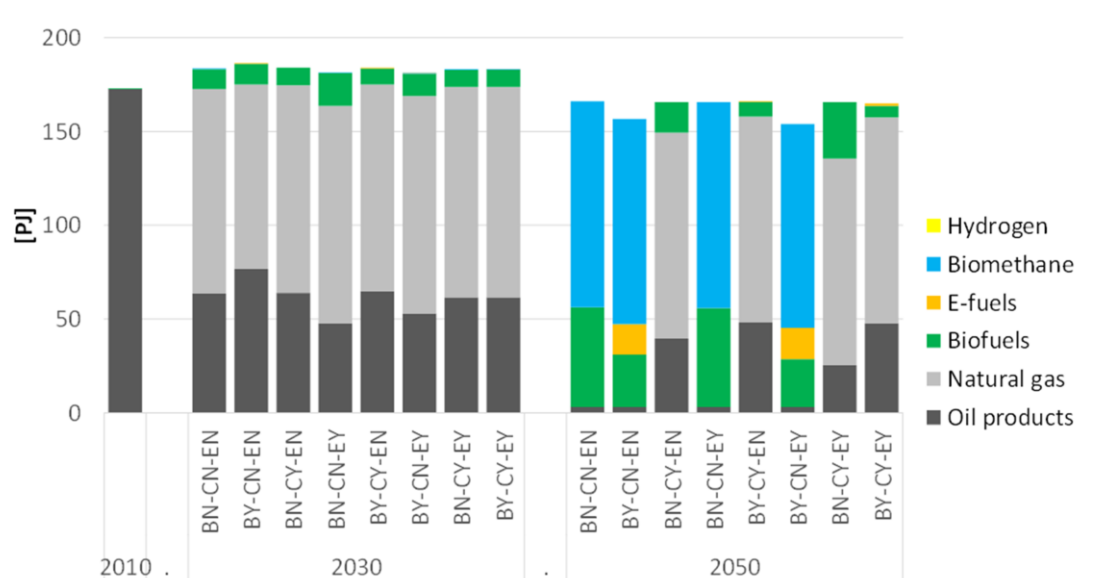
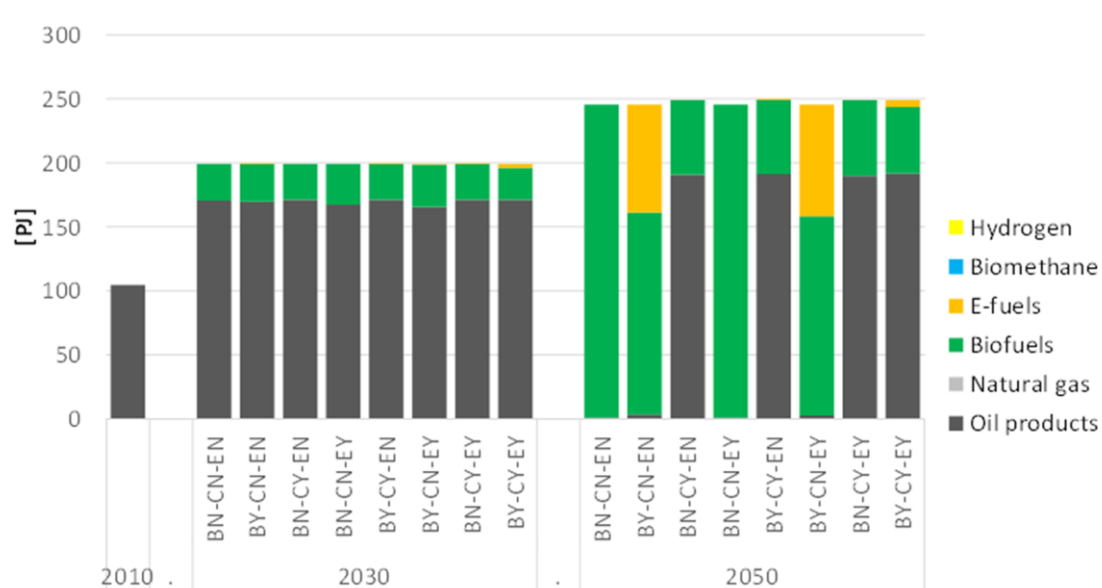


Bild: Stories, Unsplash.



Figur 1. Drivmedelsanvändning (PJ¹/år) i sjöfartssektorn i Danmark, Norge och Sverige 2030 och 2050 för åtta olika scenarier som konstruerats som kombinationer av olika variabler. *B* betecknar begränsad tillgång på biomassa, *C* introduktion av CO₂-avskiljning och lagring (CCS) och *E* hög kostnad för el- och bränslecellsfordon. Bokstäverna *Y* (Yes) och *N* (No) beskriver i kombination med variabeln ifall förutsättningarna uppfylls i respektive scenario. Drivmedelsanvändningen 2010 ingår för jämförelse. *E-fuels* representerar elektrobränslen, *Biomethane* gasformiga biodrivmedel, och *Biofuels* flytande biodrivmedel.



Figur 2. Drivmedelsanvändning (PJ/år) i flygsektorn i Danmark, Norge och Sverige 2030 och 2050 för åtta olika scenarier som konstruerats som kombinationer av olika variabler. *B* betecknar begränsad tillgång på biomassa, *C* introduktion av CO₂-avskiljning och lagring (CCS) och *E* hög kostnad för el- och bränslecellsfordon. Bokstäverna *Y* (Yes) och *N* (No) beskriver i kombination med variabeln ifall förutsättningarna uppfylls i respektive scenario. Drivmedelsanvändningen 2010 ingår för jämförelse. *E-fuels* representerar elektrobränslen, *Biomethane* gasformiga biodrivmedel, och *Biofuels* flytande biodrivmedel.

¹ 1 PJ = 278 miljoner kWh.

Elektrobränslen för flyg- och sjöfartssektorn är i viss mån ett kostnadseffektivt alternativ, men bara när avskiljning och lagring av koldioxid (CCS) inte introduceras och med en begränsad tillgång på biomassa. Elektrobränslen avser drivmedel gjorda av el, vatten och koldioxid (eller kväve).

En faktor som är viktig för utvecklingen inom transportsektorn, särskilt för biodrivmedlens framtida roll, är utvecklingen av avskiljning och lagring av kol för biomassabaserad teknik (bio-CCS) och hur beslutsfattare kommer att beakta dessa potentiellt negativa utsläpp i framtida styrmedel. Skälet är att det, i förhållande till andra sektorer, är relativt dyrt att minska utsläppen i transportsektorn och att den totala mängd biodrivmedel som behövs beror på hur mycket utsläppen för samtliga transportslag i praktiken måste minska.

Förutsättningarna för vätgas att utgöra ett kostnadseffektivt alternativ för sjöfarten och flyget i Norden måste utvärderas vidare med hänsyn till uppdaterade uppskattningar för kostnads- och teknikprestanda. Med nuvarande antaganden och modell fås en ganska låg användning av vätgas för transporter i de flesta studerade scenariofallen. Vätgas har dock inte varit i fokus för detta projekt. Ytterligare bedömningar behövs innan säkra slutsatser kan dras om vätgasens potentiella roll i de nordiska och globala transportsektorerna och för vilka transportsätt.

EN KOSTNADSEFFEKTIV DRIVMEDELS- OCH TEKNIKMIX BEROR PÅ FLERA NYCKELFAKTORER

Det går att peka på ett antal nyckelfaktorer som är betydelsefulla för att uppnå en kostnadseffektiv drivmedels- och teknikmix inom den nordiska transportsektorn och specifikt inom sjöfarten och flyget. Dessa inkluderar

1. Tillgång till hållbara biodrivmedel
2. Teknisk utveckling, möjlig kostnadsminskning och säkerhet för nya framdrivningssystem för flygplan och fartyg (t.ex. vätgasbaserade koncept, hel-elektriska och hybridkoncept)
3. Utbyggnad av elproduktion med låga koldioxidutsläpp
4. Kostnadsutveckling av elektrifierade och vätgasbaserade alternativ i andra sektorer
5. Utveckling och införande av biomassabaserad CCS i el- och värmeproduktion

Det sista kan, beroende på hur negativa utsläpp får redovisas, ge utrymme för fortsatta utsläpp inom till exempel transportsektorn och därmed underlätta omställningen för flyg och sjöfart och hela transportsektorn, som då kanske inte behöver minska sina utsläpp i samma omfattning. Detta beror dock i stor utsträckning på hur negativa utsläpp från bio-CCS kommer att hanteras av beslutsfattare och i styrmedel. Det är viktigt att alla sektorer minskar sina koldioxidutsläpp.



Bild: Vidar Nordli Mathisen, Unsplash.

EN KOMBINATION AV ÅTGÄRDER BEHÖVS – STYRMEDEL ÄR AVGÖRANDE

Utöver byte av drivmedel är det kostnadseffektivt att minska koldioxidutsläppen från den nordiska transportsektorn med energieffektivare fordon och minskad transportefterfrågan. En kombination av olika åtgärder för att åstadkomma detta är centralt och genomförandet av dem kan också minska det totala behovet av förnybara drivmedel och dess råvaror. Styrmedel och mål kopplade till alternativa drivmedel för flyg och sjöfart i de nordiska länderna kommer att påverka deras utveckling på olika sätt beroende på hur styrmedlen utformas.

Kostnadseffektiviteten för olika drivmedelsval med låga koldioxidutsläpp inom olika delar av transportsektorn har analyserats med hjälp av en energisystemmodell som täcker Sverige, Norge och Danmark. Figur 1 och 2 visar exempel på resultaten från modellen. I takt med teknisk utveckling, marknadsintroduktion av nya drivmedel och införande av styrmedel behöver kostnadsuppskattningar för olika drivmedel och framdrivningssystem uppdateras för att förbättra bedömningen och klargöra den potentiella rollen för olika alternativ för flyg och sjöfart.

MILJÖ- OCH KLIMATPÅVERKAN FRÅN ELEKTROBRÄNSLEN

Den möjliga miljöpåverkan från produktion och användningen av elektrobränslen, med fokus på fartyg, och de faktorer som påverkar utfallet har också undersökts eftersom det saknats sådan kunskap. Även om elektrobränslen enbart framstår intressant under vissa förutsättningar i analysen ovan kan detta alternativ introduceras framöver och då behöver kunskapen om det öka. De största

utmaningarna med att bedöma miljöpåverkan för elektrobränslen relaterar till vad som inkluderas i livscykeln. Miljöpåverkan från marina drivmedel sker inte bara på den omgivande miljön när fartyget används, utan även i produktionen av drivmedlet och framdrivningsutrustning som motorer, bränsleceller och lagringsbehållare. För att kunna bedöma miljöpåverkan av elektrobränslen ur ett livscykelperspektiv behövs därför kunskap om den framtida produktionsvägen, detaljer kring användning, utsläpp till miljön och omvandlingseffektiviteten.

De faktorer som avgör elektrobränslets miljöpåverkan är elens ursprung och energibehovet vid produktionen, prestandan vid förbränning av drivmedlet på fartyget (marina motoregenskaper), el och värmebehov för stödsystem (främst bränslesyntesen), hållbarhet hos den kolkälla som används i produktionen, och vilka uppströms utsläpp kopplat till biprodukter som inkluderas och hur de fördelas.

FÖRNYBAR EL CENTRALT FÖR ELEKTROBRÄNSLENS KLIMATPÅVERKAN

Tillgång till förnybar el är ett krav för att elektrobränslen ska bidra till lägre klimatpåverkan. Det kan dock vara så att en minskning av klimatpåverkan bara kräver elproduktionsmixar med en hög grad av förnybar energi, vilket förväntas vara situationen i många europeiska länder framöver.

Våra analyser visar att miljöpåverkan från elektrometanol (metanol producerad som elektrobränsle) kan vara lägre än miljöpåverkan från konventionella marina drivmedel för de flesta undersökta påverkanskategorierna (klimatpåverkan, försurning, övergödning, partiklar). Effekterna på människors hälsa kan dock vara högre för elektrometanol (och andra elektrobränslen) än dagens konventionella drivmedel. Det verkar bero på behovet av el som vid sin produktion ger upphov till flera potentiellt skadliga ämnen men i vilken utsträckning är osäkert. Känslighetsanalys konstaterar att dessa resultat är osäkra och påverkas av begränsningar i metoden för livscykelbedömning av marina drivmedel. Det behöver därmed studeras mer ingående i framtida bedömningar av elektrobränslen.

Det behövs också ytterligare analyser av hur elektrobränslen påverkar markanvändning, vattenbehov, buller och syreanvändning för att till fullo förstå deras totala miljöpåverkan.

ENGLISH SUMMARY

The introduction of alternative maritime and aviation fuels will play a key role in reducing carbon dioxide (CO₂) emissions. However, the introduction needs to accelerate. Which future fuel choices are most interesting from a combined cost and climate perspective, and which factors influence the choices?

Significant electrification appears to be cost-effective for both passenger and freight transport by road in the Nordic countries. Biofuels are also needed, in the short term (until 2030) for all road transport, but in the longer term (2050), especially in shipping and aviation (although maybe also to some extent for heavy-duty road transport). Biomass-based marine fuels and biojet fuels thus represent cost-effective measures to reduce CO₂ emissions in the Nordic shipping and aviation sector for 2030 and 2050 in all the scenario cases studied within this project. To some extent, electrofuels are also a cost-effective alternative for the aviation and shipping sector, but only in scenarios without or with very low introduction of CO₂ capture and storage (CCS), and with a limited supply of biomass.

The development of CCS for biomass-based technology (bio-CCS) and how these potentially negative emissions will be considered in policy making, is important for the development in the transport sector and for the future role of biofuels as it may influence the reduction of emissions needed.

A cost-effective fuel and technology mix in the transport sector, specifically shipping and aviation, depends on several key factors. These include (i) availability of sustainable biofuels, (ii) development and cost reductions of new propulsion systems for shipping and aircraft (e.g., hydrogen-based concepts, all electric and hybrid concepts), (iii) the expansion of low-carbon electricity generation, (iv) cost development of electrified and hydrogen-based options in other sectors, and (v) the development and implementation of bio-CCS. Also, the implementation and design of policies and targets linked to alternative aviation and marine fuels will influence the development for different options. Besides switching from fossil fuels, more energy efficient vehicles and a reduced demand for transports represent cost-effective measures for decarbonizing the transport sector.

The potential environmental impact from the use of electrofuels on ships and the factors that affect the outcome have also been investigated since there has been a lack of such knowledge. The environmental impact of electrofuels may be lower than that of conventional marine fuels for most of the impact categories studied. Use of renewable electricity is a requirement for electric fuels to contribute to a lower climate impact. Other factors that affect the environmental impact of electrofuels include the sustainability of the carbon source used, marine engine properties, raw material extraction and the energy requirements for fuel production. There is a risk that electrofuels may affect human health more than conventional fuels but the extent is uncertain and depends on limitations in the method for life cycle assessment of marine fuels. Further assessments are needed.

