

**Meriliikenteen
vaihtoehtoisten
polttoaineiden
markkinoiden kehitys
ja vaikutukset
Suomeen
suuntautuvan
meriliikenteen
kustannuksiin**

Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2022:13

Meriliikenteen vaihtoehtoisten polttoaineiden markkinoiden kehitys ja vaikutukset Suomeen suuntautuvan meriliikenteen kustannuksiin

FuelEU Maritimen ja päästökaupan vaikutukset
meriliikenteen polttoainevaihtoehtoihin

Juha Vanhanen, Anu Pulkkinen, Walteri Salmi,
Meng Beniard, Kaisa Järvinen ja Jenny Lehtomäki,
Gaia Consulting Oy

Liikenne- ja viestintäministeriö Helsinki 2022

Julkaisujen jakelu

Distribution av publikationer

**Valtioneuvoston
julkaisuarkisto Valto**

Publikations-
arkivet Valto

julkaisut.valtioneuvosto.fi

Julkaisumyynti

Beställningar av publikationer

**Valtioneuvoston
verkkokirjakauppa**

Statsrådets
nätbokhandel

vnjulkaisumyynti.fi

Liikenne- ja viestintäministeriö

CC BY-ND 4.0

ISBN pdf: 978-952-243-901-7

ISSN pdf: 1795-4045

Taitto: Valtioneuvoston hallintoyksikkö, Julkaisutuotanto

Helsinki 2022

Meriliikenteen vaihtoehtoisten polttoaineiden markkinoiden kehitys ja vaikutukset Suomeen suuntautuvan meriliikenteen kustannuksiin

Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2022:13

Julkaisija Liikenne- ja viestintäministeriö

Tekijä/t Juha Vanhanen, Anu Pulkkinen, Walteri Salmi, Meng Beniard, Kaisa Järvinen, Jenny Lehtomäki

Yhteisötekijä Gaia Consulting Oy

Kieli suomi

Sivumäärä 74

Tiivistelmä Työssä arvioitiin FuelEU Maritimen ja päästökaupan vaikutusta meriliikenteen polttoaineiden markkinoiden kehitykseen Euroopassa ja Suomessa. Meriliikennealan toimijat panostavat polttoainejoustavuuteen, jotta useita eri vaihtoehtoja voitaisiin käyttää tulevaisuudessa. Polttoainevalintojen täytyy olla Suomessa samansuuntaisia kuin globaaleilla toimijoilla, jotta alusten käytettävyys ja jälleenmyyntiarvo säilyisivät. LNG on mahdollinen väliratkaisu olemassaolevan infrastruktuurin, meriliikenteessä yleistyneen käytön sekä synteettisiin vaihtoehtoihin verrattuna matalamman kustannustason ansiosta, kun huomioidaan myös päästöoikeuksien hinta.

Synteettisten polttoaineiden tuotantokustannusten ja päästöoikeuksien hintakehitysarvioihin perustuen polttoaineiden käytön kustannustason on arvioitu nousevan 35–40 % 2030 mennessä ja 70–90 % 2040 mennessä, kun arviossa käytetään fossiilisten polttoaineiden keskimääräistä hintatasoa vuosina 2019–2022. Suhteutettuna nykyhetken (kevät 2022) korkeisiin polttoainehintoihin, on polttoaineiden kustannustason nousu arviolta 30 % vuoteen 2030 mennessä ja 30–40 % vuoteen 2040 mennessä.

Selvitys perustuu pääosin tekijöiden laskelmiin sekä meriliikennealan toimijoiden haastatteluihin. Selvityksen suositukset ovat tekijöiden omia, eivätkä välttämättä edusta liikenne- ja viestintäministeriön kantaa.

Asiasanat meriliikenne, merenkulku, merenkulkupolitiikka, päästökauppa, vähähiilisyys, polttoaineet, kasvihuonekaasut, FuelEU Maritime

ISBN PDF 978-952-243-901-7

ISSN PDF 1795-4045

Julkaisun osoite <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-901-7>

Utveckling av marknaden för alternativa bränslen för sjötransporter och dess effekter på kostnaderna för sjötransporter till Finland

Kommunikationsministeriets publikationer 2022:13

Utgivare	Kommunikationsministeriet		
Författare	Juha Vanhanen, Anu Pulkkinen, Waltteri Salmi, Meng Beniard, Kaisa Järvinen, Jenny Lehtomäki		
Utarbetad av	Gaia Consulting Oy		
Språk	finska	Sidantal	74
Referat	<p>Detta arbete utvärderade FuelEU Maritimes och utsläppshandelns effekt på utvecklingen av sjöfarts bränslemarknader i Europa och Finland.</p> <p>Operatörer investerar i bränsleflexibilitet för att kunna använda olika bränslealternativ i framtiden. Bränslevalen i Finland måste ligga i linje med de globala aktörerna för att upprätthålla fartygens användbarhet och återförsäljningsvärde. LNG är en möjlig mellanhandslösning, eftersom den redan har infrastrukturen, dess användning inom sjötransporter har blivit vanligare och kostnadsnivån är lägre i jämförelse med syntetiska alternativ när man tar hänsyn till priset på utsläppsrätter.</p> <p>Baserat på uppskattningar av produktionskostnaden för syntetiskt bränsle och antagen prisutveckling för utsläppsrätter, beräknas kostnadsnivån för bränslen öka med 35-40 % fram till 2030 och med 70-90 % fram till 2040 när man tager hänsyn till användning av den nuvarande genomsnittliga prisen för fossila bränslen 2019-2022. Jämförs med den nuvarande (våren 2022) höga priser på fossila bränslen beräknas ökningen av kostnadsnivån för bränslen med 30 % fram till 2030 och med 30-40 % fram till 2040.</p> <p>Utredningen baserar sig i huvudsak på författarnas beräkningar samt på intervjuer med aktörer inom sjöfartssektorn. Rekommendationerna i utredningen är författarnas egna och representerar inte nödvändigtvis kommunikationsministeriets ståndpunkt.</p>		
Nyckelord	marina bränslen, lågkoldioxidbränslen, FuelEU Maritime, utsläppshandeln		
ISBN PDF	978-952-243-901-7	ISSN PDF	1795-4045
URN-adress	https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-901-7		

Development of the market for alternative fuels for maritime transport and its effects on the costs of maritime transport to Finland

Publications of the Ministry of Transport and Communications 2022:13

Publisher Ministry of Transport and Communications

Author(s) Juha Vanhanen, Anu Pulkkinen, Walteri Salmi, Meng Beniard, Kaisa Järvinen, Jenny Lehtomäki

Group author Gaia Consulting Oy

Language Finnish **Pages** 74

Abstract This work assessed the effects of FuelEU Maritime and the emission trading on marine fuel market development in Europe and Finland. Marine industry is focusing on fuel flexibility to be able to use several different fuel options in the future. The fuel choices in Finland must be compatible with the global players to maintain the usability and resale value of the vessels globally. LNG is a possible intermediary solution, as it already has existing infrastructure, its use in maritime transport has become more common and the cost level is lower in comparison with the synthetic alternatives, taking into account the price of emission allowances also.

The cost level of fuel usage is estimated to increase 35-40% by 2030 and 70-90% by 2040 when using the average price level for fossil fuels in 2019-2022, based on synthetic fuel production cost estimates and assumptions for the price development for emission allowances. If the cost level is compared with the current (spring 2022) high fossil fuel prices, it is estimated that the cost level of fuel usage will increase 30% by 2030 and 30-40% by 2040.

The report is mainly based on the authors' calculations and interviews with maritime stakeholders. The recommendations of the report are the authors' own and do not necessarily represent the position of the Ministry of Transport and Communications.

Keywords marine fuels, low carbon fuels, FuelEU Maritime, emission trading

ISBN PDF 978-952-243-901-7 **ISSN PDF** 1795-4045

URN address <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-901-7>

Sisältö

1	Työn tausta, tavoite ja merkitys Suomelle	11
2	Vaihtoehdot polttoaineiden markkinoiden kehitys Euroopassa aikavälillä 2020–2050	13
2.1	Vähähiiliset polttoaineet ja niiden valmistusmenetelmät	13
2.2	EU:n ja IMO:n ilmastotoimien vaikutukset meriliikenteeseen soveltuviin polttoaineisiin	16
2.2.1	KHK Intensiiteetti	16
2.2.2	Maasähkön käyttöönotto osaksi merenkulkua	20
2.2.3	Merenkulku osaksi päästökauppaa	21
2.2.4	Energiaverodirektiivi	21
2.2.5	IMO:n tavoitteet ja vaikutukset	23
2.3	Biopolttoaineiden saatavuus	24
2.4	Polttoaineiden vaatima infrastruktuuri ja soveltuvuus alusten käyttövoimana	32
2.5	Meriliikennepolttoaineiden arvioitu hintataso sekä päästökaupan ja energiaverodirektiivin vaikutukset eri polttoaineiden kilpailukykyyn	37
2.5.1	Meriliikennepolttoaineiden arvioitu nykycustannustaso	37
2.5.2	Päästökaupan vaikutus polttoainekustannuksiin	38
2.5.3	Energiaverodirektiivin vaikutus polttoainekustannuksiin	40
2.6	Vety ja vetyjalosteiden ohjautuminen eri sektoreihin	41
2.7	Meriliikennealan keskeisimmät julkaisut tulevaisuuden polttoaineista	42
2.8	Polttoainejoustavuus ja polttoaineiden tilantarve meriliikenteessä	44
3	Fuel EU Maritime -ehdotuksen kannalta olennaisimmat tulevaisuuden vaihtoehdotiset polttoaineet	46
4	Polttoainemarkkinoiden kehityksen vaikutukset kansallisesti	51
4.1	Analyysi olennaisista FuelEU Maritime -ehdotuksen täyttävien vaihtoehtoisten polttoaineiden käytöstä johtuvista lisäkustannuksista Suomeen suuntautuvalla meriliikenteellä	51
4.1.1	Skenaarioiden taustoitus	51
4.1.2	Skenaario 1, metaanipolku	52
4.1.3	Skenaario 2, metanolipolku	53

4.1.4	Skenaario 3, ammoniakkipolku.....	55
4.1.5	Skenaarioiden yhteenveto ja johtopäätökset.....	57
4.2	Analyysi FuelEU Maritimen ja päästökaupan vaikutuksista Suomeen ja suomalaisiin toimijoihin.....	59
4.2.1	Talviolosuhteet tulisi huomioida paremmin muutoksissa.....	59
4.2.2	FuelEU Maritimen ja päästökaupan vaikutukset kohdentuvat EU:n alueelle ja Suomeen.....	59
4.2.3	Alalla tarvitaan uudenlaista ajattelua koko arvoketjun ja meriliikenteen toiminnan tehostamisen näkökulmasta.....	60
4.3	Analyysi suomalaisten varustamoiden varautumisesta muutoksiin alusinvestointien kautta sekä vaikutus varustamoiden väliseen kilpailuun.....	60
4.3.1	Energiatehokkailla ja maksukykyisimmillä yrityksillä on parhaat edellytykset selviytyä velvoitteista.....	61
4.3.2	Alusteknologiainvestointeihin liittyvä epävarmuus on globaali.....	61
4.3.3	Asiakasvaatimukset ja saatavilla oleva rahoitus ovat työntävä voima vihreille investoinneille.....	62
4.4	Arvio vaatimusten mahdollisesti aikaansaamista uusista liiketoimintamahdollisuuksista suomalaisille toimijoille.....	62
5	Yhteenveto ja johtopäätökset.....	64
	Asiantuntijahaastattelut.....	68
	Lähteet.....	69

Lista lyhenteistä

ATJ	Lentoliikenteen vaihtoehtoinen polttoaine (engl. Alcohol-to-jet)
AR4, AR5 ja AR6	IPCC:n neljäs, viides ja kuudes arviointiraportti
Bio-CNG	Biopohjainen paineistettu maakaasu
Biokaasu	Biopohjainen kaasu
Bio-LNG	Biopohjainen nesteytetty maakaasu
Biometaani	Biopohjainen metaani
Biometanoli	Biopohjainen metanoli
Bio-MGO	Biopohjainen laivanpolttoneste
CBG	Paineistettu biometaani (engl. Compressed Biogas)
CH ₄	Metaani
CII	Hiili-intensiteetti indeksi (engl. Carbon Intensity Index)
CNG	Paineistettu maakaasu (engl. Compressed Natural Gas)
CO ₂	Hiilidioksidi
CO ₂ e	Hiilidioksidiekvivalentti, toimii kasvihuonekaasupäästöjen yhteismittana
DME	Dimetylieetteri (engl. Dimethyl Ether)
Drop-in polttoaineet	Biopohjaisia nestemäisiä polttoaineita joita voidaan hyödyntää aluksissa ilman muutoksia
E-ammoniakki	Synteettinen ammoniakki
E-LNG	Synteettinen nesteytetty maakaasu

E-metaani	Synteettinen metaani
E-metanoli	Synteettinen metanoli
FAME biodiesel	Rasvahapoista transesteröintiprosessin kautta valmistettu biodiesel (engl. Fatty Acid Methyl Ester)
FT diesel	Ficher-Tropsch menetelmällä valmistettu diesel (engl. Fischer-Trops diesel)
GT	Bruttovetoisuus (engl. Gross Tonnage)
HDRD	Uusiutuva diesel (engl. Hydrogenation-Derived Renewable Diesel)
HEFA	Lentoliikenteen vaihtoehtoinen polttoaine (engl. Hydroprocessed Esters and Fatty Acids)
HFO	Raskas polttoöljy (engl. Heavy Fuel Oil)
HVO	Vetykäsitelty diesel, joka on valmistettu kasviöljyistä, eläinrasvoista tai muista eloperäisistä rasvoista (engl. Hydrotreated Vegetable Oil)
ICCT	Kansainvälinen puhtaan liikenteen neuvosto (engl. International Council on Clean Transportation)
IMO	Kansainvälinen merenkulkujärjestö (engl. International Maritime Organization)
IPCC	Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli (engl. Intergovernmental Panel on Climate Change)
IRENA	Kansainvälinen hallitusten muodostama organisaatio, joka pyrkii edistämään uusiutuvaa energiaa maailmassa (engl. International Renewable Energy Agency)
KHK	Kasvihuonekaasu (engl. Greenhouse Gas, GHG)
KHK-intensiteetti	Kasvihuonekaasu-intensiteetti, yleensä kgCO ₂ e/MJ (engl. GHG intensity)

LBG	Nesteytetty biometaani (engl. Liquefied Biogas)
LNG	Nesteytetty maakaasu (engl. Liquefied Natural Gas)
LSFO	Matalarikkinen polttoöljy (engl. Very Low Sulphur Fuel Oil)
MEPC	Meriympäristön suojelukomitea (engl. Maritime Environmental Protection Committee)
MGO	Meriliikenteessä käytettävä kaasuöljy (engl. MarineGasoil)
N ₂ O	Dityppioksidi eli typpioksiduuli
RED	Uusiutuvan energian direktiivi (engl. Renewable Energy Directive)
Sininen ammoniakki	Vähäpäästöinen ammoniakki, jonka tuottaminen perustuu fossiilisiin polttoaineisiin, hiilidioksidin talteenottoon ja varastointiin
Slip	LNG-moottoreille tyypillinen metaanipäästö (engl. methane slip tai slip) tarkoittaa sitä, että moottorista kulkeutuu jonkun verran palamatonta metaania lävitse.
TTW	Polttoaineen käytön aikaiset päästöt (engl. Tank-To-Take)
VLSFO	Erittäin matalarikkinen polttoöljy (engl. Very Low Sulphur Fuel Oil)
WTT	Polttoaineen valmistuksen ja jakelun aikaiset päästöt (engl. Well-To-Tank)
WTW	Polttoaineen koko elinkaaren aikaiset päästöt aina valmistuksesta käyttöön (engl. Well-To-Wake)

1 Työn tausta, tavoite ja merkitys Suomelle

Meriliikenteen päästövaatimuksia kiristetään globaalisti – sekä EU että IMO (International Maritime Organization) ovat asettaneet tavoitteita päästöjen vähentämiseksi. Euroopan komissio on hiljattain tuonut esille valmiuspaketin, jonka avulla merenkulun kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää. Suoraan merenkulkuun kohdistuu erityisesti kaksi ehdotusta, joista toinen asetus koskee uusiutuvien ja vähähiilisten polttoainesten käyttöä meriliikenteessä (nk. FuelEU Maritime) ja toinen merenkulun lisäämistä unionin päästökauppajärjestelmään.

Mikäli komission päästökauppaehdotus toteutuu, EU:n sisäinen meriliikenne ja puolet EU:n ja kolmansien maiden välisestä meriliikenteestä kuuluisi yleiseen päästökauppaan. Meriliikenteen päästöt tuotaisiin päästökaupan velvoitteiden piiriin vähitellen todennäköisesti 2024 tammikuusta alkaen. Merenkulun päästökauppaa koskevat neuvottelut ovat käynnissä, ja ne voivat keskustelujen kuluessa vielä muuttua ehdotuksesta.

FuelEU Maritimen päätavoitteena on laskea merenkulun päästöjä 55 % nykytasosta vuoteen 2030 mennessä. Toisena tavoitteena on kasvattaa uusiutuvien polttoainesten kysyntää merenkulussa asettamalla energiayksikköä kohti portaittain tiukentuva kasvihuonekaasupäästöintensiteetti (KHK-intensiteetti). Kolmantena tavoitteena on kasvattaa maasähkön käyttöä satamissa. Myös neuvottelut tästä ehdotuksesta ovat vielä käynnissä.

FuelEU Maritime asetusta sovelletaan yli 5 000 tonnin bruttovetoisuuden ylittäviin aluksiin liiallisen byrokratian välttämiseksi. Esitettyyn kokoluokkaan kuuluvien alusten arvioidaan tuottavan 90 % meriliikenteen ilmastopäästöistä EU:ssa.¹ Kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa huomioidaan EU:n sisäisen meriliikenteen käyttämä kokonaisenergia täysimääräisesti. EU:n jäsenmaiden ja kolmansien maiden välisen meriliikenteen käyttämästä kokonaisenergiasta huomioidaan puolet.

Meriliikenteessä, kuten kaikessa liikenteessä, kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää kolmella pääasiallisella keinolla. Ensimmäinen keino on kuljetussuoritteiden pienentäminen esimerkiksi reittejä optimoimalla ja liikennettä vähentämällä. Toinen keino on alusten energiantensiteetin pienentäminen joko energiatehokkuustoimenpiteiden tai muiden polttoainekulutusta pienentävien toimenpiteiden avulla. Tällaisia voivat olla

¹ Suomen Satamaliitto ry. (2021). Maasähkön investointikustannuksia on tarpeen tämentää.

tuuli- tai aurinkoenergian hyödyntäminen aluksella, digitalisaatoratkaisut, oikea-aikainen saapuminen ja hitaampi matkanopeus. Kolmas keino on käytetyn polttoaineen päästöintensiteetin pienetäminen energiayksikköä kohden, johon FuelEU Maritime asetus kohdentuu.

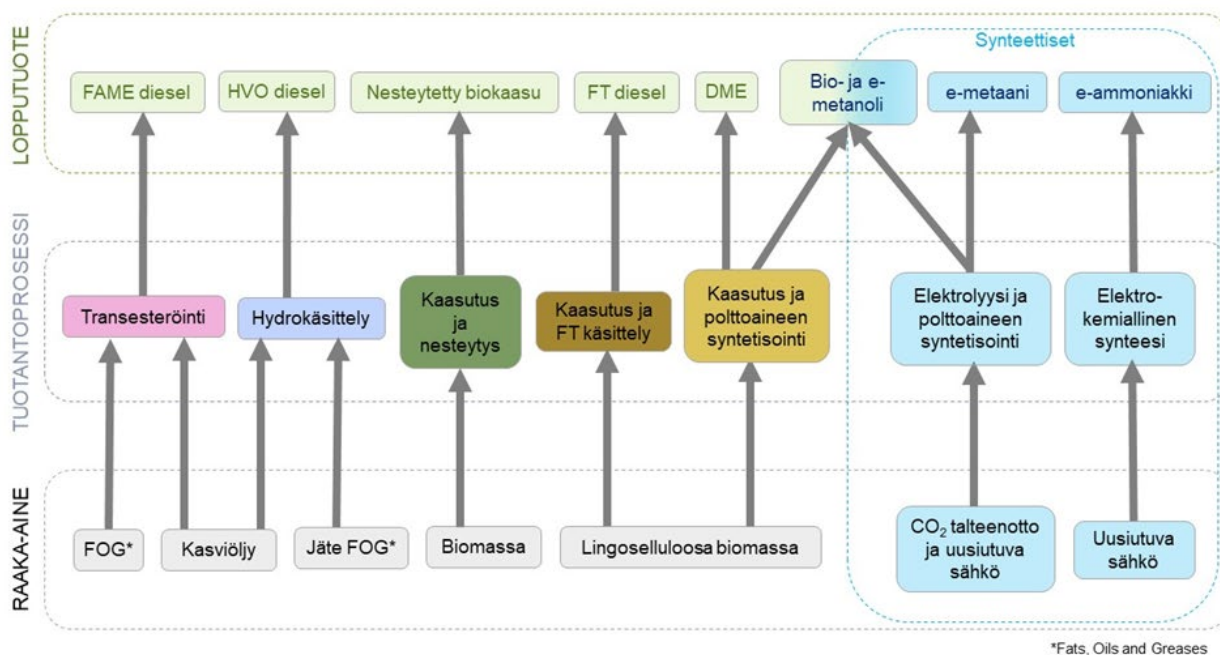
2 Vaihtoehtoiset polttoaineiden markkinoiden kehitys Euroopassa aikavälillä 2020–2050

2.1 Vähähiiliset polttoaineet ja niiden valmistusmenetelmät

Tässä selvityksessä tarkasteltavien meriliikenteen tulevaisuuden polttoaineiden valmistukseen tarvittavat pääraaka-aineet ja tuotantomenetelmät ovat havainnollistettuna kuvassa 1. Tarkasteltavat polttoaineet on valittu perustuen kirjallisuuskatsaukseen ja asiantuntijahaastatteluihin. Tarkastelluista polttoaineista FAME-biodieseliä (Fatty Acid Methyl Ester), HVO-Biodieseliä (Hydrotreated Vegetable Oil), nesteytettyä biometaanina ja FT-dieseliä (Fischer-Trops) valmistetaan tyypillisesti biopohjaisista raaka-aineista. Metanolia ja DME:tä (dimetyylieetteri) voidaan valmistaa sekä biopohjaisiin raaka-aineisiin perustuen että myös synteettisesti. Metanolin ja DME:n lisäksi synteettisiin polttoaineisiin lukeutuvat e-metaani sekä e-ammoniakki.

Kaikissa synteettisesti valmistettavissa polttoaineissa tarvitaan uusiutuvaa sähköenergiaa veden pilkkomiseksi vedyksi ja hapeksi. Tämän lisäksi DME:tä, e-metanolia ja e-metaanina valmistettaessa tarvitaan myös hiilidioksidilähde vedestä tuotetun vedyn lisäksi, jotta polttoaineiden sisältämä hiili saadaan tuotettua kestävästi. Hiilidioksidilähteenä käytetään tyypillisesti savukaasuja, jonka alkuperäinen lähde voi olla sekä biotuotteiden että fossiilisten raaka-aineiden käyttö teollisessa prosessissa tai energiantuotannossa. Hiilidioksidia on mahdollista ottaa talteen myös suoraan ilmasta, mutta toistaiseksi tämä on huomattavan kallista teknologiaa verrattuna pistemäiseen, teolliseen päästölähteeseen. Synteettisistä polttoaineista ainoastaan e-ammoniakin tuotanto ei vaadi erillistä hiilidioksidin talteenottoa, sillä tämä polttoaine ei sisällä ollenkaan hiiltä. Tässä prosessissa elektrolyyssillä tuotettu vety yhdistetään ilmasta talteen otettavan typen kanssa, jolloin saadaan tuotettua synteettistä ammoniakkiä.

Kuva 1. Tarkasteluun valittujen vähähiilisten polttoaineiden valmistamisen pääraaka-aineet ja tuotantomenetelmät.



Tarkennetut kuvaukset vähähiilisten polttoaineiden tuotantomenetelmistä:

- FAME-biodieseliä (Fatty Acid Methyl Ester) valmistetaan rasvahapoista transesteröintiprosessin kautta. Transesteröinnissä glyseridit reagoivat alkoholin kanssa katalyytin läsnä ollessa. Yleisesti käytetty nimitys FAME-biodieselille on biodiesel. FAME:n ominaisuudet ovat lähellä perinteisiä polttoaineita, mutta sitä ei voi käyttää sataprosenttisesti korvaamaan fossiilista dieseliä ajoneuvojen dieselmootoreissa teknisten rajoitteiden vuoksi. Tyypillisesti FAMEA sekoitetaan 7 tilavuusprosentilla fossiiliseen dieseliin käytettäväksi ajoneuvoissa. Kuitenkin merenkulun dieselmootoreissa FAME:a voidaan käyttää drop-in polttoaineena. Drop-in polttoaineella tarkoitetaan polttoaineita, joita voidaan hyödyntää ilman muutoksia aluksissa, ja poltto-ominaisuudet ovat samanlaiset kuin fossiilisilla polttoaineilla.
- HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) dieselillä tarkoitetaan vetykäsiteltyä dieseliä, jota voidaan valmistaa kasviöljyistä, eläinrasvoista tai muista eloperäisistä rasvoista. HVO:ta valmistetaan käyttämällä vetyä ja katalyyttiä korkeassa lämpötilassa ja paineessa kasviöljyihin ja eläinperäisiin rasvoihin. Happi poistetaan triglyserideistä ja/tai rasvahapoista, jolloin HVO soveltuu drop-in polttoaineeksi.
- Biometaaniam valmistetaan anaerobisella hajottamisella esimerkiksi yhdyskuntien puhdistamolietteilistä, teollisuuden biohajoavista jätteistä tai maatalouden lannasta tai oljesta. CBG:tä (Compressed Biogas) valmistetaan paineistamalla biometaaniam,

tyypillisesti 200 bariin. LBG:tä (Liquified Biogas) voidaan tehdä jäädyttämällä paineistettua biometaania -162 asteeseen, jolloin kaasu nesteytyy. LBG:tä voidaan käyttää LNG aluksissa drop-in polttoaineena eli ilman teknisiä muutoksia.

- FT (Fischer-Trops) dieseliä valmistetaan kaasuttamalla biomassaa, jolloin syntyy synteettistä kaasua. Synteettinen kaasu nesteytetään. Fischer-Trops -menetelmällä syntyy puhtaita hiilivetyketjuja, ja sitä voidaan hyödyntää drop-in polttoaineena fossiilisen dieselin sijaan.
- DME (dimetyylieetteri) valmistetaan lignoselluloosabiomassasta kaasuttamalla synteettiseksi kaasuksi. Muodostunut kaasu muunnetaan katalyytin avulla metanoliksi ja metanolia dehydratoidaan katalyytin avulla DME:ksi.²
- Biometanolia valmistetaan joko kaasuttamalla kuivaa biomassaa tai anaerobisesti mädättämällä märkää biomassaa. Biomassasta saatu kaasu syntetisoidaan ja lopputuotteena syntyy biometanolia.
- Synteettistä metaania valmistetaan hiilidioksidilähteestä, vedestä ja uusiutuvasta sähköstä. Uusiutuvalla sähköllä tuotetaan ensin vedestä vetyä elektrolyysin avulla, minkä jälkeen vetyyn lisätään hiilidioksidilähde ja se syntetisoidaan metaaniksi. Hiilidioksidia voidaan ottaa talteen esimerkiksi teollisuudessa syntyvistä kaasuista tai myös suoraan ilmasta.
- Synteettistä metanolia valmistetaan vastaavasti hiilidioksidilähteestä, vedestä ja uusiutuvasta sähköstä. Uusiutuvalla sähköllä tuotetaan ensin vetyä elektrolyysin avulla, jonka jälkeen vetyyn lisätään hiilidioksidilähde ja syntetisoidaan metanoliksi.
- Synteettistä ammoniakkia valmistetaan prosessissa, jossa elektrolyyserillä tuotettu vety yhdistetään ilmasta talteen otettavan typen kanssa, jolloin saadaan tuotettua synteettistä ammoniakkia. Muista synteettisistä polttoaineista poiketen, tämä prosessi ei vaadi hiilidioksidilähdettä.

² ETIP bioenergy. (2017). Marine Biofuels.

2.2 EU:n ja IMO:n ilmastotoimien vaikutukset meriliikenteeseen soveltuviin polttoaineisiin

2.2.1 KHK Intensiiteetti

FuelEU Maritime määrittelee KHK-intensiiteetin laskentakaavan aluksille. Kaava on seuraavanlainen:

GHG intensity index
GHG intensinty
$index \left[\frac{gCO_2eq}{MJ} \right] =$
WtT
$\frac{\sum_i^n fuel M_i \times CO_{2eqWtT,i} \times LCV_i + \sum_k^c E_k \times CO_{2eq-electricity,k}}{\sum_i^n fuel M_i \times LCV_i + \sum_k^c E_k}$
TtW
$+ \frac{\sum_i^n fuel \sum_j^m engine M_{i,j} \times \left[\left(1 - \frac{1}{100} C_{engine slip,j} \right) \times (CO_{2eq,TtW,j}) + \left(\frac{1}{100} C_{engine slip,j} \times CO_{2eq,TtW,slippage,j} \right) \right]}{\sum_i^n fuel M_i \times LCV_i + \sum_k^c E_k}$

Mitä korkeampi KHK-intensiiteetti, sitä enemmän kasviuonepäästöjä syntyy suhteessa käytettyyn energiaan. FuelEU Maritimen mukaan yli 5 000 tonnin bruttovetoisuuden ylittävien alusten tulee alittaa portaittain tiukentuva KHK-intensiiteetti vuodesta 2025 alkaen. Referenssiarvona käytetään vuoden 2020 KHK-intensiiteettiä, jota ei ole vielä määritetty. Tässä työssä on käytetty referenssiarvona MGO:n KHK-intensiiteettiä.

-2 % 1. tammikuuta 2025 alkaen;

-6 % 1. tammikuuta 2030 alkaen;

-13 % 1. tammikuuta 2035 alkaen;

-26 % 1. tammikuuta 2040 alkaen;

-59 % 1. tammikuuta 2045 alkaen; sekä

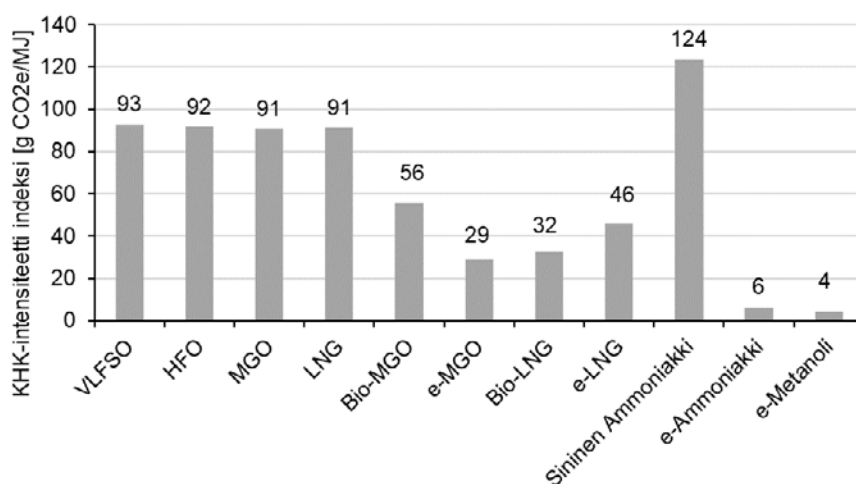
-75 % 1. tammikuuta 2050 alkaen.

Kasvihuonekaasupäästöt yhteismitallistetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi (CO₂e) huomioiden hiilidioksidi- (CO₂), metaani- (CH₄) ja typpioksiduuli- (N₂O) päästöt IPCC:n viidennen arviointiraportin (AR5) mukaan käyttäen aikajänteenä 100 vuotta. Kaava koostuu kahdesta osasta: WTT (Well-to-Tank, ”kaivosta tankkiin”) ja TTW (Tank-to-Wake, ”tankista aalloille”) laskennasta. Tällä pyritään siihen, että polttoaineiden koko elinkaaren päästöt otetaan huomioon.

WTT ottaa huomioon polttoaineen tuotannosta aiheutuvat päästöt. WTT:n KHK-intensiteettiä nostaa polttoaineen valmistamisen aiheuttavat absoluuttiset hiilidioksidiekvivalenttipäästöt (CO₂e) suhteessa energiasisältöön, ja vastaavasti sitä laskee maasähkön käyttö.

TTW laskennassa määritetään käytönaikainen KHK-intensiteetti, joka riippuu polttoaineesta ja moottorityypistä. FuelEU Maritimessa on määritetty oletusluvut käytönaikaisille päästöille TTW laskennassa otetaan huomioon LNG-moottoreille myös metaanipäästö, methane slip. Methan slip-ilmio tarkoittaa sitä, että moottorista kulkeutuu jonkun verran palamatonta metaania lävitse. FuelEU Maritime mahdollistaa kuitenkin myös todellisen suoriutumisen mukaisten päästökertoimien käyttämisen TTW laskennassa, jolloin päästöt voidaan laskea moottorinvalmistajan sertifioiduilla alemmilla kertoimilla kuin oletusluvut FuelEU Maritimessa.

Kuva 2. FuelEU Maritimen mukaiset oletuskertoimet eri polttoaineiden KHK-intensiteetti indeksiin koko elinkaaren (WTW) ajalta. FuelEU Maritime arvoja on täydennetty IMO:n ehdottamilla arvoilla uusien polttoaineiden osalta³ sekä ammoniakkin dityppioksidipäästöjä kirjallisuuden⁴ ja haastatteluiden perusteella.



Metaanipäästöt LNG-aluksista ovat kiistanalaisia, ja vaihtelevat voimakkaasti mm. polttoaineen valmistusketjusta, moottorin tyypistä ja iästä riippuen. ICCT arvioi metaanipäästöjen olevan 2–8 g/kWh⁵ kun taas Wärtsilä ilmoittaa niiden olevan 2–3 g/kWh⁶. ICCT:n raportin valmistuspolkujen keskiarvo perustilanteelle on 82 gCO₂e/MJ koko polttoaineen elinkaarelle (WTW) vaihteluvälin ollessa 72–92 gCO₂e/MJ valmistuspolusta riippuen. Parhaassa tilanteessa, jossa nesteytykseen vaadittava energiamäärä, valmistuspolun metaanipäästöt sekä moottorin metaanipäästöt ovat pienentyneet nykytilasta, keskiarvo olisi 71 gCO₂e/MJ vaihteluvälin ollessa 65–78 gCO₂e/MJ valmistuspolusta riippuen⁵.

FuelEU Maritimen KHK-intensiteettilaskenta ottaa huomioon polttoaineen päästöt koko elinkaarelta, joka mahdollistaa kokonaisvaltaisemman ja hallitumman siirtymän kohti vähähiilisempiä polttoaineita. Kuten näemme asetetusta intensiteetin laskutavoitteen aikajänteestä, seuraavan 10–15 vuoden aikana tavoitteet eivät ole erityisen jyrkät, mutta vuoteen 2050 mennessä GHG-intensiteetin on jo laskettava -75 % vuoden

3 IMO. (2021a). Intersessional meeting of the working group on reduction of GHG emissions from ships.

4 Cames et al. (2021). Ammonia as a marine fuel, risks and perspectives.

5 Lowell et al. (2013). Assessment of the fuel cycle impact of liquefied natural gas as used in international shipping.

6 Wärtsilä. (2020). Mind the methane gap.

2020 referenssiarvosta. Voimme tästä tulkita, että noin vuodesta 2035 alkaen ei-fossiilisten polttoaineiden odotetaan ottavan jo huomattavan markkinaosuuden merenkulussa.

Päästöjen yhteismitallistamiseen FuelEU Maritime ehdottaa 100 vuoden aikajännettä mutta ei tiettyjä kertoimia, ja uusiutuvien polttoaineiden päästöjen laskennan osalta viitataan EU Direktiiviin 2018/2001. Kyseisessä direktiivissä esitetään käytettäväksi IPCC:n neljännen arviointiraportin (AR4) mukaisia kertoimia⁷ ja 100 vuoden aikajännettä ilmaston lämpenemiselle. Kuitenkin Pariisin sopimuksessa⁸ on todettu jäsenmaiden käyttävän 100 vuoden aikajännettä ja IPCC:n viidennen arviointiraportin (AR5) tai vaihtoehtoisesti uudemman IPCC:n arviointiraportin mukaisia kertoimia Pariisin sopimuksen osapuolikokouksen erillisellä päätöksellä. Viimeisin, IPCC:n kuudes arviointiraportti julkaistiin elokuussa 2021 (taulukko 1). Tammikuussa 2022 Euroopan parlamentin Teollisuus-, tutkimus- ja energiavaliokuntajulkaisemassa Draft Opinionissa⁹ ehdotetaan käytettäväksi AR6 mukaisia kertoimia, joista hiilidioksidille 100 vuoden aikajännettä ja metaanille ja dityppioksidille 20 vuoden aikajännettä.

Tässä raportissa on käytetty IPCC:n viidettä arviointiraporttia (AR5) ja aikajänteenä 100 vuotta. Päätös käytettävästä aikajänteestä ja IPCC:n arviointiraportista vaikuttaa erityisesti metaanipäästöjen ja siten LNG:n ja metaanin houkuttelevuuteen meriliikenteen polttoaineena. Jotta ilmaston lämpeneminen saadaan rajoitettua 1,5 asteeseen, päättäjillä voi olla painetta käyttää lyhyempiä, 20 vuoden aikajänteen kertoimia.

7 Direktiivi 2018/2001. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä. Annettu 11.12.2018.

8 Pariisin sopimus. (2019). Pariisin sopimuksen päätös 18/CMA.1, liitteen osa II, kohta D, pykälä 37.

9 Euroopan Parlamentin teollisuus- tutkimus ja energiavaliokunta. (2022). DRAFT OPINION of the Committee on Industry, Research and Energy, for the Committee on Transport and Tourism, on the proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council The use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport and amending Directive 2009/16/EC.

Taulukko 1. IPCC:n neljännen, viidennen ja kuudennen arviointiraportin mukaiset kertoimet kasvihuonekaasupäästöjen yhteismitallistamiseksi.

Kasvihuonekaasu	20 vuoden aikajänne			100 vuoden aikajänne		
	AR 4 (2007)	AR 5 (2013)	AR 6 (2021)	AR 4 (2007)	AR 5 (2013)	AR 6 (2021)
CO ₂	1	1	1	1	1	1
CH ₄ , fossiilinen	72	84	82,5	25	28	29,8
CH ₄ , ei-fossiilinen			80,8			27,2
N ₂ O	289	264	273	298	265	273

2.2.2 Maasähkön käyttöönotto osaksi merenkulkua

FuelEU Maritime -ehdotuksen maasähkön käyttöä koskeva velvoite koskee kontti- ja matkustaja-aluksia, jotka ovat vähintään kahden tunnin kestoisilla satamakäynneillä. Velvoite tulee voimaan vuoden 2030 alusta. Velvoite ei kuitenkaan koske aluksia, jotka käyttävät satamassa ollessaan jotain muuta nollapäästöistä energiaa, kuten aluskohtaista tuuli- tai aurinkoenergiaa. Ensimmäiset viisi vuotta alus voi poiketa maasähkön käyttövelvoitteesta, jos satamassa ei ole maasähköliitintä tai se ei ole yhteensopiva aluksen kanssa. Vuodesta 2035 alkaen vaatimukset koskevat aluksia muutamaa vuotuista poikkeusta (5 satamakäyntiä/vuosi) lukuun ottamatta kaikkia kontti- ja matkustaja-aluksia satamasta huolimatta.

Valtioneuvoston kirjelmässä eduskunnalle FuelEU Maritime -ehdotuksesta on todettu seuraavasti: ”Ehdotuksen maasähkön käyttövelvoite edellyttää lisäinvestointeja niihin Suomen satamissa käyviin bruttovetoisuudeltaan yli 5 000 tonnin kontti- ja matkustaja-aluksiin, joilla ei vielä ole mahdollisuutta maasähkön käyttöön. Investointikustannusten konttialuksille ja matkustaja-autolautoille arvioidaan olevan muutaman kymmenen miljoonan euron luokkaa. Maasähkön hyödyntäminen satamissa on kuitenkin kustannustehokas tapa paljon energiaa satamissa kuluttaville aluksille myötävaikuttaa hiili-intensiteettivaatimuksen täyttymiseen. Maasähkön käyttökustannukset muodostuvat arvion mukaan vähäisemmiksi kuin biodieselin käyttökustannukset satamissa. Arvio pohjautuu tietoihin vuoden 2019 aluskäynneistä Suomen satamissa.”¹⁰

¹⁰ Harakka & Sarlin. (2021). Valtioneuvoston U-kirjelmä U 51/2021 vp.

Maasähkön käytön yleistyminen voi laskea laivojen satamakäyntien päästöjä merkittävästi, jopa 50–80 % satamassaolon aikana aiheutuneista päästöistä. Kun laivat saavat laiturissa ollessaan sähkön maista, ei apukoneita tarvita sähkön tuottamiseen.¹¹

2.2.3 Merenkulku osaksi päästökauppaa

Toinen merkittävä muutos, jota FuelEU Maritime ajaa merenkulkuun, on sen ottaminen osaksi EU:n yleistä päästökauppaa.

Meriliikenteen päästöt suunnitellaan otettavaksi mukaan päästökauppaan portaittain vuodesta 2024 alkaen. Ensimmäisenä vuonna päästökauppaan otetaan mukaan 20 % merenkulun laskennallisesta kokonaispäästöstä, ja vuonna 2027 merenkulut päästöt otetaan kokonaisuudessaan päästökaupan piiriin.

Ehdotuksessa ottaa merenkulku mukaan päästökauppaan todetaan, että varustamoiden tulisi monitoroida ja raportoida päästöt EU:n asetuksen 2015/757 mukaan¹².

Tämä nk. MRV säädös kuitenkin huomioi ainoastaan käytönaikaiset (TTW) fossiiliset hiilidioksidipäästöt, kun taas FuelEU Maritime huomioi koko elinkaaren ajan (WTW) ilmastopäästöt huomioiden myös metaani- ja typpioksidipäästöt. Asetuksessa ilmoitetaan sovellettavat päästökertoimet yleisimmille polttoaineille mutta bio- ja vaihtoehtoisille polttoaineille niitä ei ole vielä määritelty.

2.2.4 Energiaverodirektiivi

Energiaverodirektiivissä (2003/EY/96) on annettu yhdenmukaiset säännöt energiatuotteiden ja sähkön verotukseen. Energiaverodirektiivissä on määritelty mm. kansainväliseen kauppamerenkulkuun käytettyjen polttoaineiden olevan verottomia. Direktiivin uudelleenlaatimisesta on annettu ehdotus 14.7.2021, jotta energiaverodirektiivi paremmin huomioisi ympäristö- ja ilmastokysymykset sekä olisi linjassa Fit for 55-tavoitteiden kanssa. Lisäksi tarpeen oli päivittää puutteita liittyen sisämarkkinoiden asianmukaiseen toimintaan.

11 Navigator magazine. (2021). Helsingin Eteläsataman maasähkö otettiin käyttöön.

12 Asetus 2015/757. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus meriliikenteen hiilidioksidipäästöjen tarkkailusta, raportoinnista ja todentamisesta sekä direktiivin 2009/16/EY muuttamisesta. Annettu 29.04.2015.

Uudistetun direktiivin mukaan useita verovapauksia ja -alennuksia poistettaisiin, koskien mm. maatalouden, kotitalouksien ja energiaintensiivisten teollisuusalojen käyttämiä fossiilisia polttoaineita. Ehdotuksen mukaan lento- ja vesiliikenteen polttoaineiden verovapaus poistettaisiin, ja vuodesta 2023 alkaen EU:n sisäisen meriliikenteen polttoaineita verotettaisiin.

Aiemman energiaverodirektiivin mukaan matalan hiili-intensiteetin polttoaineita on verotettu niiden fossiilisten ekvivalenttien mukaan, mikä on asettanut erityisesti biopolttoaineet heikompaan asemaan. Uudistuksessa polttoaineita ja sähköä verotetaan kahdella komponentilla; energiasisällön mukaan sekä hiili-intensiteettiin ja kestävyysden mukaan. Ehdotuksessa veroluokkia on neljä (taulukko 2), ja sen on kaavailtu tulemaan voimaan 1.1.2023, mutta aikataulu on vielä epävarma.

Taulukko 2. Energiaverodirektiivin ehdotetun uudistuksen mukaiset veroluokat laivapolttoaineille.¹³

Hinta 1.1.2023 alkaen	Hinta 1.1.2033 alkaen	Laivapolttoaine
0,9 €/GJ	0,9 €/GJ	VLSFO, HFO, MGO
0,6 €/GJ	0,9 €/GJ	LNG
0,45 €/GJ	0,9 €/GJ	Kestävät ravinto- ja rehupohjaiset biopolttoaineet ja biometaani
0,45 €/GJ	0,45 €/GJ	Kestävät biopolttoaineet ja biometaani
0,15 €/GJ	0,45 €/GJ	Matalahiiliset polttoaineet
0,15 €/GJ	0,15 €/GJ	synteettiset polttoaineet, toisen sukupolven biopolttoaineet ja biometaani

Lisäksi sähkön energiavero on määritelty tasolle 0,15 €/GJ, mutta satamissa käytettävän maasähkön verotus ei ole pakollista. Hinnat päivitetään vuosittain Eurostatin kulluttajahintojen perusteella. Koska energiaverodirektiivi koskee vain EU-maiden välisiä merimatkoja, on riskinä, että bunkraus siirtyy entistä enemmän satamiin EU:n ulkopuolella¹³. Energiaverodirektiivin katsotaan täydentävän päästökauppaa. Siinä missä

¹³ Euroopan komissio. (2021). Proposal for a Council Directive restructuring the Union framework for the taxation of energy products and electricity (recast).

energiaverodirektiivin kautta verotetaan polttoaineiden energiamäärää, päästökau-
passa kustannuksia syntyy fossiilisista hiilidioksidipäästöistä. Tämänhetkinen nollave-
rokanta on voitu tulkita jopa tueksi fossiilisille polttoaineille, ja uudistus ohjaa ja vauh-
dittaa kehitystä kohti kestävämpää energiantuotantoa. Ohjaavuus kohti kestäviä polt-
toaineita voimistuu 10 vuoden siirtymäjakson jälkeen, jolloin esimerkiksi LNG:n vero-
tusluokka nousee korkeammalle tasolle.

2.2.5 IMO:n tavoitteet ja vaikutukset

Kansainvälisen merenkulkujärjestön (IMO) kokonaistavoitteena on vähentää meren-
kulun päästöjä 40 % vuoteen 2030 mennessä verrattuna lähtövuoteen 2008. Haas-
teena on ollut päästä sopuun toimenpiteistä, joilla saadaan rajoitettua merenkulun
kasvihuonekaasupäästöjä. IMO:n meriympäristön suojelukomitea (MEPC, Maritime
Environmental Protection Committee) on kuitenkin heinäkuussa 2021 päässyt sopuun
alustavista toimenpiteistä¹⁴, joiden myötä alusten sallittu kasvihuonekaasujen päästö-
taso pienenisi.

Jokaiselle alukselle määritellään vuosittain hiili-intensiteettitaso (CII, Carbon Intensity
Index) joka kattaa polttoaineen päästöintensiteetin, energiatehokkuuden sekä aluksen
kapasiteetin. Säädos koskee ropax- rahti- ja risteilyaluksia, jotka ylittävät 5 000 GT
bruttovetoisuuden. CII:n perustasoksi on määritelty vuosi 2019, ja CII:n voimaantulo-
vuonna 2023 vaadittu intensiteettitaso on -5 % perustasoon verrattuna. CII-taso tiu-
kentuu 2 % vuosittain ollen -11 % vuonna 2026. Tämän pidemmälle tavoitetasoa ei
ole määritelty.

Alustavien toimenpiteiden mukaan alusten toimintaa ei rajoiteta, vaikka vaadittua
päästötasoa ei saavutettaisi¹⁵. Siten EU:n nykyiset toimenpiteet merenkulun ilmasto-
vaikutusten saralla voidaan katsoa olevan sitovampia ja vaikuttavampia kuin IMO:n
toimenpiteet. IMO:n kattavamman kansainvälisen merenkulun strategian on tarkoitus
korvata nykyinen aloite vuonna 2023.

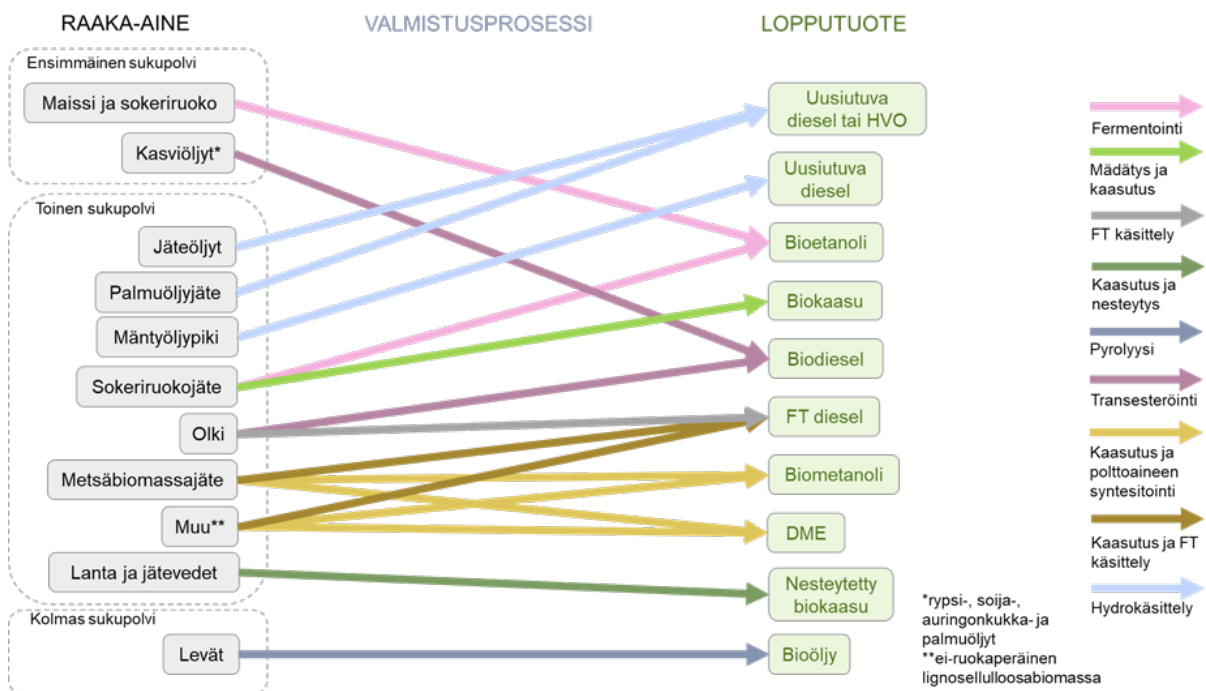
14 IMO. (2021b). Further shipping GHG emission reduction measures adopted.

15 Finska & Ringbom. (2022). Regulation of GHGs from Ships On the available discre-
tion for regulatory solutions in a European and Finnish perspective.

2.3 Biopolttoaineiden saatavuus

Biopolttoaineita valmistetaan useista eri raaka-aineista ja biopolttoaineiden määritteleviä tekijöitä on raaka-aineiden saatavuus sekä niiden kestävyyskriteerit. Biopolttoaineet voidaan jakaa ensimmäisen, toisen ja kolmannen sukupolven biopolttoaineisiin. Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineilla viitataan elintarvikekelpoisiin raaka-ainelähteisiin. Nämä ovat tyypillisesti sokeritärkkelyksiä, kuten maissia tai ruokaöljyä, kuten rypsiöljyä. Toisen sukupolven polttoaineilla tarkoitetaan ei-elintarvikekelpoisia raaka-aineita, jotka vaihtelevat lignoselluloosasta jätteisiin. Uusiutuvan energian direktiivissä (RED II) asetuksessa näihin viitataan kehittyneillä polttoaineilla. Kolmannen sukupolven biopolttoaineilla tarkoitetaan levästä valmistettuja polttoaineita. Biopolttoaineet raaka-aineiden mukaan ja valmistusprosessit on esitetty kuvassa 3.

Kuva 3. Biopolttoaineiden raaka-aineet, lopputuotteet ja valmistusprosessit.



Biopolttoaineiden saatavuuteen meriliikenteessä vaikuttaa muiden sektoreiden kysyntä biopolttoaineista sekä raaka-aineiden kokonaissaatavuus. Liikennesektorin RED II (2018/2001)¹⁶ mukaiset tavoitteet kattavat vähintään 14 % liikenteen energiankäytöstä uusiutuvilla energialla vuonna 2030. Lisäksi biopolttoaineille on alatavoite, jossa kehittyneiden polttoaineiden (advanced biofuels) osuus tulisi olla 3,5 % vuonna 2030 liikennesektorin energiankäytöstä. Näihin polttoaineisiin sisältyy mm. jätteistä tuotetut polttoaineet, kuten lannasta tuotettu biokaasu sekä ei-ruokapohjaisista raaka-aineista, kuten puutähteistä tuotettu bioetanoli.

EU:n epäsuoran maankäytön asetus (ILUC-direktiivi) asettaa ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden ja bionesteiden osuudelle katon, jonka suuruus on 7 prosenttia liikenteen energian loppukulutuksesta.¹⁷ Uusiutuvan energian direktiivi on päivityksen alla RED III direktiiviksi osana 55-velvoitepakettia. RED III:ssa on ehdotettu uusiutuvan energian käytön tavoitetta liikenteessä nostettavan 26 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä nykyisen tavoitteen 14 prosentin sijaan.¹⁸ Samanaikaisesti EU haluaa vähentää elintarviketehojen biopolttoaineiden käyttöä, mikä tarkoittaa sitä, että kehittyneiden biopolttoaineiden määrää tulee lisätä EU:ssa.

Fit for 55 paketissa on tehty muutosehdotuksia metsäbiomassan kestävyyskriteereihin. Uudessa ehdotuksessa on lisätty tarkastelutavan muutos monimuotoisuuden ja maaperän laatuun. Aarniometsistä korjattavat metsäbiomassaerät eivät olisi kestävyyskriteerien mukaisia. Jalostuskelpoisen ainespuun sekä kantojen ja juurakoiden energiakäytön sekä bioenergiatuketuotannon (sähkö) tukeminen jäsenmaissa kiellättäisiin. Lisäksi jäsenmaissa olisi varmistettava, että bioenergiatuotannon haitallisia markkina- ja monimuotoisuusvaikutuksia minimoidaan.¹⁹

Uusimman IPCC raportin mukaan intensiivinen puunkäyttö vähentää metsien hiilinielua ja metsien käyttö vaarantaa ilmasto- ja monimuotoisuustavoitteet. Maltilliset hakkuut mahdollistavat ilmastotavoitteiden ja metsien käytön yhteensovittaminen, mutta hakkuiden lisäämistä ja ajoittamista tulisi tarkastella varovaisuusperiaatteen mukaisesti maankäyttösektorin ilmastotoimien kokonaisuudessa.²⁰

16 Direktiivi 2018/2001. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä. Annettu 11.12.2018.

17 TEM. (2017). Epäsuoria maankäytön muutoksia koskevan ILUC-direktiivin kansallinen täytäntöönpano.

18 Euractiv. (2021). Will RED III fuel a revolution for renewable energy in road transport?.

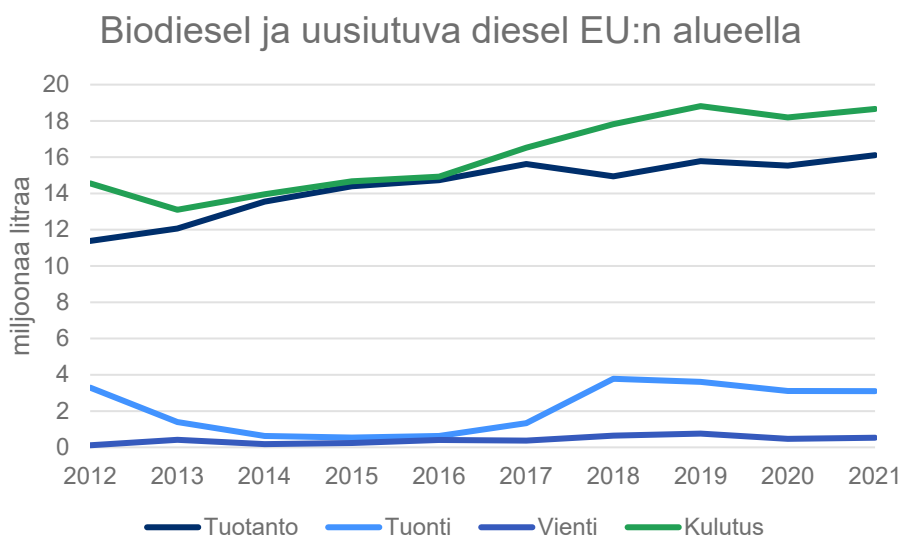
19 Maa- ja metsätalousministeriö. (2022). Biomassan kestävyyskriteerit.

20 Seppälä et al. (2022). Metsät ja ilmasto: Hakuut, hiilinielut ja puun käytön korvaushyödyt.

EU:n maatalouden selvityksessä on arvioitu, että biodieselin kulutus liikenteessä pienenee 24 % vuoteen 2031 mennessä vuoteen 2023 huippuun verrattuna.²¹ Liikenteen biopolttoaineiden pieneneminen on seurausta liikenteen sähköistymisestä erityisesti henkilöajoneuvoissa. Bioetanolin kulutus pysyy suhteellisen tasaisena vuoteen 2031 asti. Palmuöljyn osuus pienenee biopolttoaineiden raaka-aineena ja raaka-aineena hyödynnetään erityisesti jäteöljyjä.

FAME-biodieseliä valmistetaan EU:n alueella vuosittain 20,3 Mt ja HVO:ta 5,1 Mt. HVO tuotannon odotetaan kaksinkertaistuvan vuoteen 2025 mennessä. Tieliikenteen biodieseliä tuotetaan EU:n alueella pääasiassa kasviöljyistä (rypsi (36%), palmu (30%) ja soija). Käytettyjä ruokaöljyjä käytettiin 2,6 Mt biodieselin tuotantoon vuonna 2020.²² Biodieselin ja uusiutuvan dieselin tuotanto Euroopassa on esitetty kuvassa 4 sekä näihin käytetyt raaka-aineet on esitetty kuvassa 5.

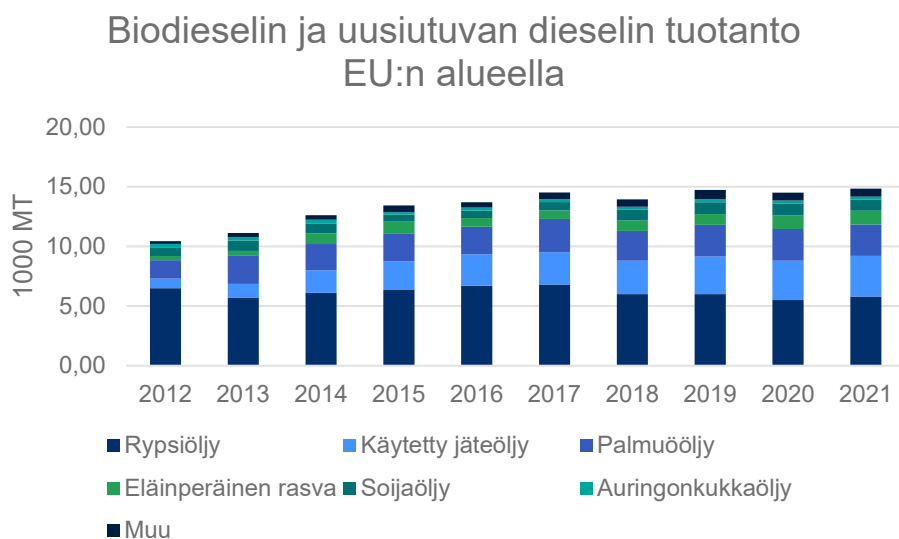
Kuva 4. Tieliikenteen biodieselin tuotanto EU:n alueella.²³



21 Euroopan Komissio. (2021). EU agricultural outlook for markets, income and environment 2021-2031.

22 Transport & Environment. (2021). 10 years of EU fuels policy increased EU's reliance on unsustainable biofuels.

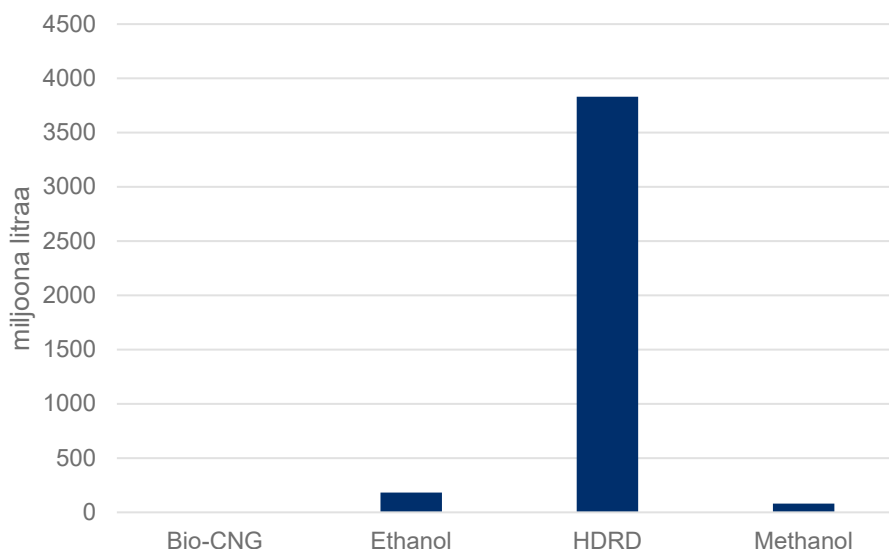
23 Flach et al. (2021). Biofuels annual.

Kuva 5. Biodieselin tuotannon raaka-aineet EU:n alueella.²³


FT-dieseliä valmistetaan tällä hetkellä pilotointitehtaissa Euroopassa ja kokonaistuotantokapasiteetti ei ole kovin suuri.²⁴ Kehittyneitä polttoaineita valmistetaan EU:n alueella tällä hetkellä kuvan 6 mukaisesti. Suomessa ja Ruotsissa on muutama teollisuuskokoluokan polttoaineiden tuotantolaitoksia, joissa valmistetaan mäntyöljystä biodieseliä (HDRD, Hydrogenation-Derived Renewable Diesel). Biometanolia valmistetaan Ruotsissa ja tuotantolaitoksen kapasiteetti on 5,25 kt vuodessa²⁵. Kehittyneiden polttoaineiden valmistus Euroopassa on esitetty kuvassa 6. DME:tä tuotetaan maailmassa 9 miljoonaa tonnia vuosittain, mutta suurin osa DME:stä tuotetaan tällä hetkellä fossiilisista lähteistä Kiinassa ja Japanissa. Ruotsissa on yksi bioDME:n tuotantolaitos, joka on tehty EU rahoituksella pilottiprojektina.

²⁴ Salimbeni, A. (2021). Overview on biofuels production facilities and technologies in Europe.

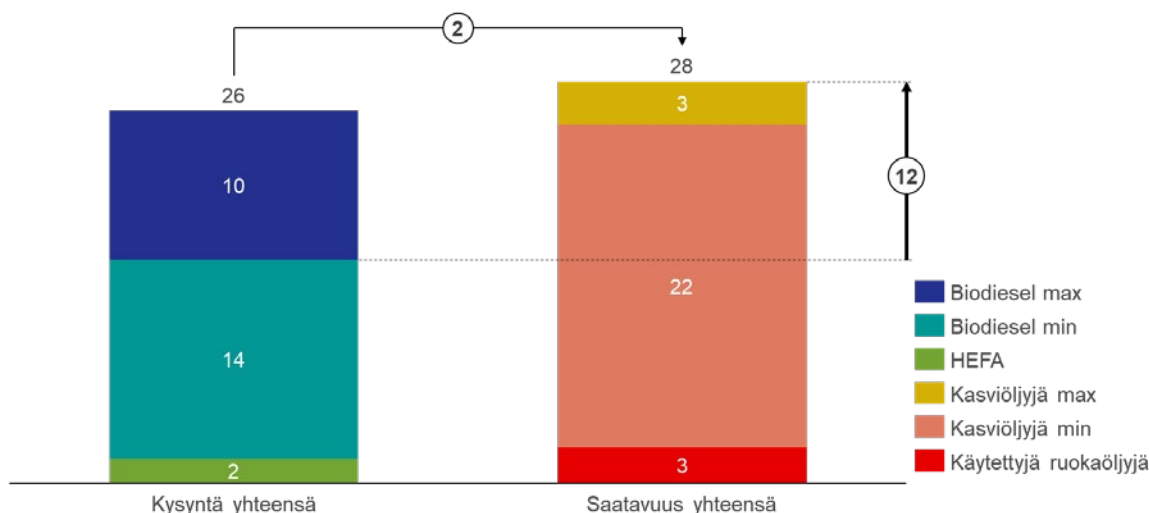
²⁵ IRENA AND METHANOL INSTITUTE. (2021). Innovation Outlook : Renewable Methanol.

Kuva 6. Kehittyneiden biopolttoaineiden valmistus EU:n alueella. ²⁶


Biodieseliä tai uusiutuvaa dieseliä käytetään tieliikenteessä, HVO:ta meriliikenteessä ja HEFA:a lentoliikenteessä. Näitä kaikkia kolmea polttoainetta valmistetaan kasviöljyistä ja käytetyistä ruokaöljyistä sekä eläinperäisistä rasvoista. Arvion mukaan EU-alueella on energiaa saatavilla 22–25 Mtoe rypsiöljystä, auringonkukkaöljystä ja soijasta ja käytettyjä ruokaöljyjä 2–3 Mtoe vuonna 2030. Tieliikenteessä biopolttoaineiden kysyntä on arvioitu 15,1–27,2 Mtoe välille, josta 7–17,7 Mtoe henkilöajoneuvoille ja kevyelle kuljetuskalustolle ja 8,1–9,5 Mtoe raskaalle kalustolle. Lentoliikenteelle HEFA:n (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids) kysynnän on arvioitu olevan vuonna 2030 1,7 Mtoe, kun kokonaiskysynnästä 5 % katetaan vaihtoehtoisilla polttoaineilla (HEFA ja ATJ), josta HEFA:n osuus on 70%. Laivaliikenteen kokonaiskysynnän vuonna 2030 Euroopassa on arvioitu olevan 60 Mtoe. Meriliikenteelle jää HVO:ta käyttöön 2,5–12,7 Mtoe muilta sektoreilta, vastaten 4–21,2 % koko meriliikenteen kysynnästä EU:ssa vuonna 2030. Toisaalta, jos kysyntä on maksimissaan ja saatavuus minimissään, meriliikenteen polttoaineen tuotantoon ei jää raaka-aineita jäljelle. Kysynnän ja soveltuvan biomassan saatavuuden suhde on esitetty kuvassa 727.

²⁶ Flach et al. (2021). Biofuels annual.

Kuva 7. Biodieselin, ja HEFA:n kysyntä EU:n alueella vuonna 2030 lento- ja tieliikenteessä ilman meriliikennettä.²⁷



Meriliikenteen drop-in polttoaineet HVO ja FAME hyödyntävät raaka-aineenaan öljypohjaisia kasveja ja käytettyjä ruokaöljyjä, joita käytetään tieliikenteen biodieselin ja lentoliikenteen HEFA:n tuotantoon. Huonoimmassa tapauksessa näitä raaka-aineita ei riitä meriliikenteen biopolttoaineiden kysyntään vuonna 2030. Öljypohjaisien kasvien ja ruokaöljyjen lisäksi polttoaineiden valmistukseen voidaan käyttää palmuöljyä, joka on toiseksi suurin raaka-ainelähde tällä hetkellä biodieselin valmistukseen Euroopassa. Kuitenkin palmuöljyn kestävyyskriteerit ovat kyseenalaiset ja sitä tuodaan Eurooppaan mm. Aasiasta.

S2Biom-tutkimuksessa on arvioitu EU:n, länsi-Balkanin, Turkin ja Ukrainan ei-ruoka-peräisten biomassojen potentiaalista huomioiden tiukemmat vastuullisuuskriteerit vuonna 2030. Siinä arvioitiin, että maatalouden sivuvirtoja voisi hyödyntää biopolttoaineiden tuotantoon 186–252 miljoonaa tonnia vuonna 2030 (886–1191 TWh). Alempi arvio perustuu tilanteeseen, jossa maatalouden sivuvirtojen keräämistä rajoitetaan esimerkiksi maaperän ravinteiden varmistamiseksi. Metsätaloudesta on arvioitu saatavan biomassaa 615–728 miljoonaa tonnia vuonna 2030 (2908–3434 TWh), kun tällä hetkellä käyttö on 530 miljoonaa tonnia.²⁸ Kolmas lähde biopolttoaineiden tuotantoon on biopohjaiset jätteet (lignoselluloosa jakeet, paperijäte, puujäte, ruoka- ja puutarhajäte). Näiden kokonaismäärä EU:n alueella 110–150 miljoonaa tonnia (277–415 TWh). Lisäksi Euroopassa on käyttämättömiä viljelyalueita, osin ilmaston, sijainnin sekä maaperän vuoksi tai aiemmin hyödynnetty viljelyala on hylätty ylihyödyntämisen,

²⁷ Prussi et al. (2022). Assessment of the Feedstock Availability for Covering EU Alternative Fuels Demand.

²⁸ IEA. (2020). Advanced Biofuels – Potential for Cost Reduction.

saasteiden tai ilmastonmuutoksen vuoksi. Jos tätä maatalousmaata hyödynnetään biopolttoainekasvien kasvattamiseen, sen potentiaalin on arvioitu olevan 138–242 miljoonaa tonnia (640–1139 TWh) polttoainetta.

Biokaasun tuotannon energiapotentiaaliksi Suomessa on arvioitu 16 TWh²⁹, josta 10 TWh on teknis-taloudellisesti toteutettavissa. Liikenteen ja viestintäministeriön hiilitiekartassa on arvioitu 2,5 TWh biokaasun hyödyntämistä liikenteessä vuonna 2030³⁰. Koko vesiliikenteen energiankulutus vuonna 2020 Suomessa oli noin 1,7 TWh³¹ ja ulkomaanliikenteen Suomen talousvesillä 6,7 TWh. Nesteytetyllä biometaanilla voidaan korvata LNG:n käyttöä laivaliikenteessä. Tällä hetkellä biokaasun tuotanto on kuitenkin vielä pientä ja lopputuotteen saatavuudessa on haasteita. Nesteytetyn biometaanin pullonkaulana voi toimia nesteytysinfra, sillä kaasun nesteytyslaitteistot on suunniteltu suuriin yksiköihin. Biokaasua tuotetaan pienissä yksiköissä ja suurin osa tuotannosta ei ole Suomessa kaasuverkon varrella. Biokaasuun soveltuva biomassaa voidaan hyödyntää myös biometanolin tuotantoon, mutta sen tuotanto on vielä kehitysteella.

Euroopan biokaasuyhdistys on arvioinut biometaanituotannon kasvavan 10,6 TWh vuoteen 2024 mennessä ja 340 TWh vuoteen 2030 mennessä.³² 340 TWh biometaanin vastaisi 20 % Euroopan nykyisestä maakaasutuonnista Venäjältä. Biometaanin kysyntää lisää EU:n pyrkimys irtaantua venäläisestä maakaasusta ja tavoitteet lisätä energiaomavaraisuutta.

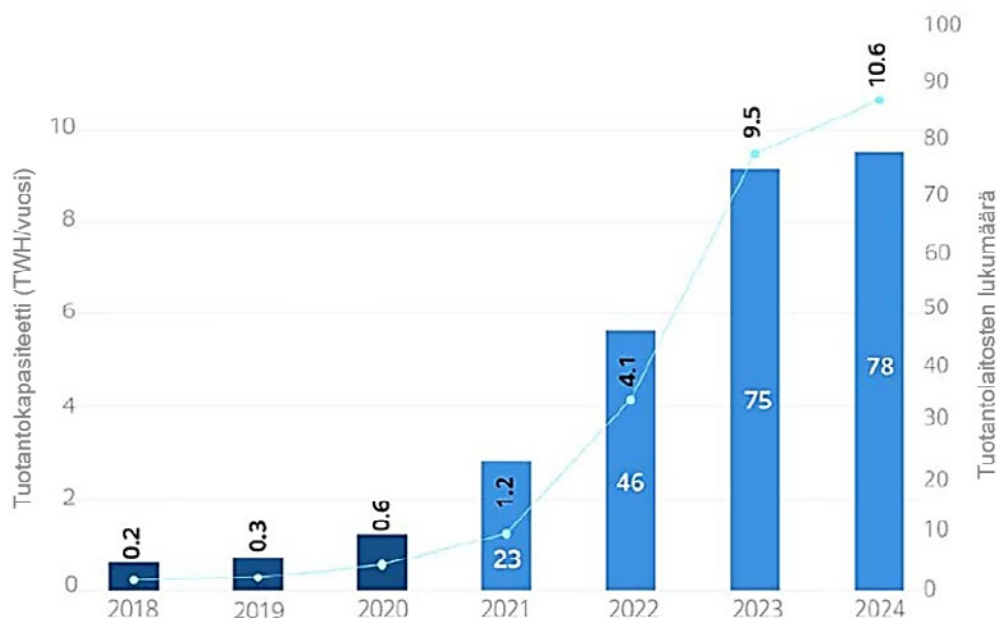
29 TEM. (2020). Biokaasuohjelmaa valmisteleavan työryhmän loppuraportti.

30 LVM. (2021). Fossiilittoman liikenteen tiekartta.

31 Liikennefakta. (2021). Liikenteen kasvihuonekaasupäästöt ja energiankulutus. Verkojulkaisu.

32 EBA. (2022). Breaking Free of the Energy Dependency Trap.

Kuva 8. Biometaanin tuotanto Euroopassa 2018-2024. Muunnos European Biogas Associationin ³³ kuvasta.



Kilpailu samoista polttoaineista mm. meri- ja lentoliikenteessä, erityisesti HVO:sta, vähentää polttoaineiden saatavuutta meriliikennekäyttöön. Lisäksi lisääntyvät vastuullisuuskriteerit rajoittavat elintarvikepohjaisten ensimmäisen sukupolven biomassan käyttöä ja jäteperäisistä ruokaöljyjä ei ole riittävästi. Toisaalta meriliikenteeseen soveltuu myös lignoselluloosapohjaiset biopolttoaineet, kuten FT-diesel ja DME, sillä laatuvaatimukset ovat matalammat kuin tieliikenne- ja lentopolttoaineilla.³⁴ Lignoselluloosapohjainen biomassa, kuten puu, käytetään tällä hetkellä pääasiassa sähkön ja lämmön tuotantoon.³⁷ Energiapuun kysynnän on arvioitu lisääntyvän energiantuotannossa 30–40 % vuoteen 2030 mennessä, kun turve ja hiili poistuvat energiantuotannosta.³⁵ Lisäksi biomassan tuotantoon voi vaikuttaa tulevaisuudessa myös lisääntyvät biodiversiteettikriteerit ja muut kasvuympäristöön vaikuttavat asiat kuten lisääntyvät ilmatoriskit³⁶. Puun kysyntää lisää myös rajoitukset Venäjän tuontiin. Kotimaisen puun kysyntä lisääntyy entisestään ja hintapaine kasvaa. Meriliikenteeseen soveltuvien biopolttoaineiden saatavuuksista on esitetty yhteenveto taulukossa 3.





33 EBA. (2021). EBA Statistical Report 2021.

34 IEA Bioenergy. (2017). Drop-in biofuels for international marine and aviation markets.

35 AFRY. (2021). Metsähakkeen kysynnän kehitys ja riittävyys Suomessa.

36 Panoutsou et al. (2021). Advanced biofuels to decarbonise European transport by 2030: Markets, challenges, and policies that impact their successful market uptake.

Taulukko 3. Biopohjaisten polttoaineiden saatavuus Euroopassa vuonna 2030.

Raaka-aine tai polttoaine	Haasteet	Saatavuus 2030
HVO	Kysyntä lentoliikenteessä ja tieliikenteessä rajoittaa saatavuutta, lisäksi rajoitteet elintarviketehojen kasviöljyjen hyödyntämiseen rajoittavat saatavuutta.	
Biokaasu	Biokaasun kysyntä tuontikaasun korvaajana, ohjautuu muualle kuin meriliikenteeseen	
Metsäbiomassa	Kasvatut vastuullisuuskriteerit ja kysynnän lisääntyminen muilla sektoreilla	
Muut RED II mukaiset kehittyneet polttoaineet	Valmistus vielä vähäistä ja kapasiteetti nousee hitaasti vuoteen 2030 mennessä	

2.4 Polttoaineiden vaatima infrastruktuuri ja soveltuvuus alusten käyttövoimana

Nykyiseen meriliikennepolttoaineen jakeluun ja käyttöön soveltuvat parhaiten sellaisenaan ns. drop-in polttoaineet, joita voidaan hyödyntää ilman muutoksia aluksissa, ja poltto-ominaisuudet ovat samanlaiset kuin fossiilisilla polttoaineilla. Esimerkiksi biodiesel (FAME) voi toimia drop-in polttoaineena diesel käyttöisissä aluksissa.³⁷ Biodiesel vastaa ominaisuuksiltaan fossiilista dieseliä, joten jo olemassa olevaa infrastruktuuria voidaan hyödyntää meriliikenteessä, erityisesti dieselkäyttöisissä aluksissa. Vastavasti myös nesteytetty biometaani vastaa ominaisuuksiltaan LNG:tä, jolloin olemassa oleva infrastruktuuri soveltuu tämänkin tuotteen osalta meriliikennekäyttöön sellaisenaan. HVO:lla voi korvata laajasti käytössä olevaa HFO:ta, sillä sitä voidaan käyttää aluksissa sekoitettuna perinteisiin polttoaineisiin sekä myös sellaisenaan.

³⁷ IEA Bioenergy. (2017). Biofuels for the marine shipping sector.

Yleisesti biopolttoaineiden jakeluinfrastruktuuri riippuu polttoainetyypistä. Drop-in polttoaineet, kuten HVO ja FT-diesel, voivat hyödyntää olemassa olevaa jakeluinfrastruktuuria satamissa. FAME-biodiesel voi hyödyntää jossain määrin olemassa olevaa infrastruktuuria, mutta biodieselin varastointi ei ole yhtä yksinkertaista kuin fossiilisten polttoaineiden. FAME alkaa hajoamaan kuuden kuukauden jälkeen, riippuen säilöntäolosuhteista ja sitä ei voi säilöä materiaalissa, joka sisältää kuparia, messinkiä, pronssia, lyijyä ja tinaa³⁸.

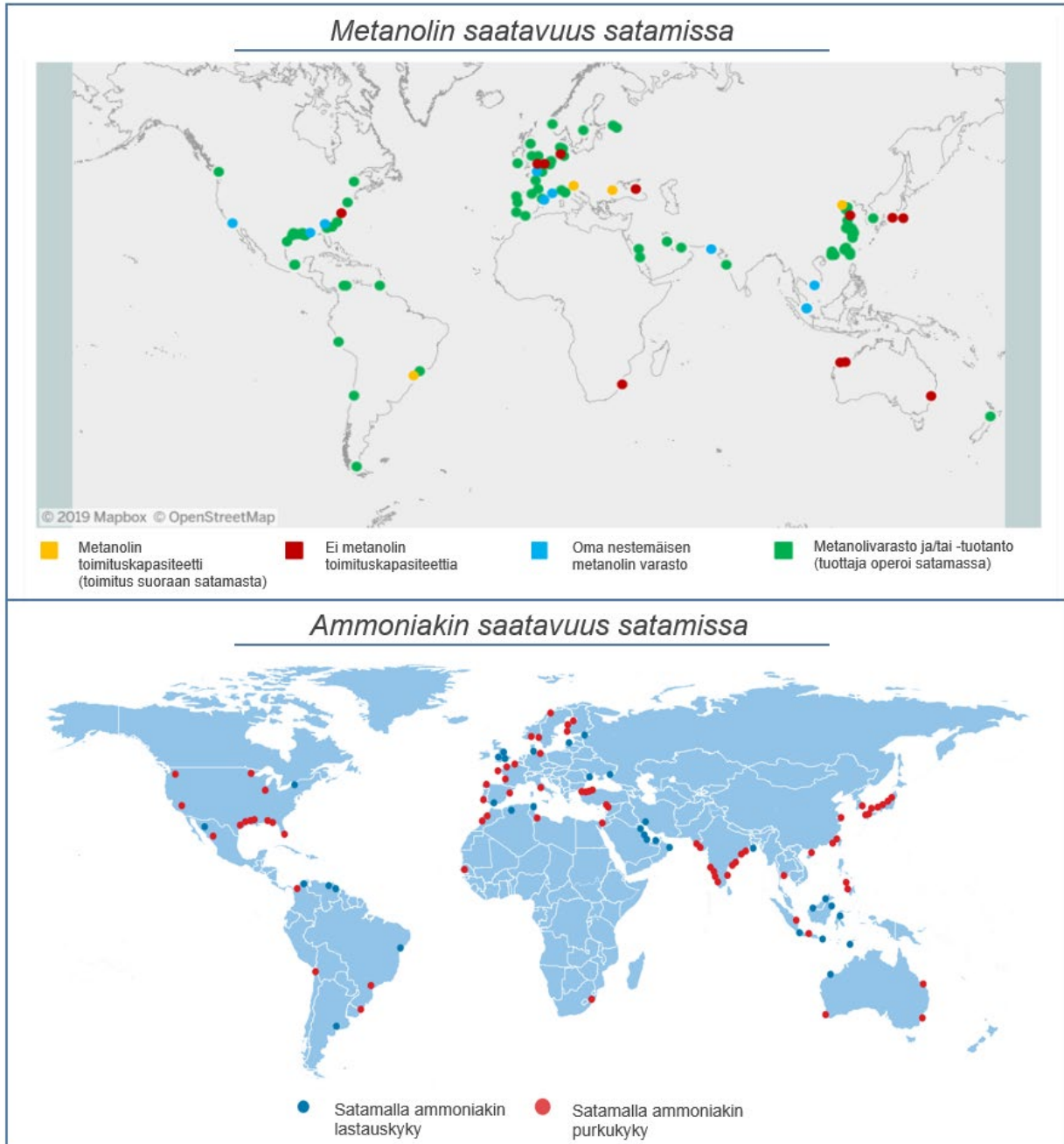
Bio- ja E-metanoli on syövyttävää ja alhaisen viskositeetin omaava neste, joka vaatii nykyiseltä infrastruktuurilta sopeuttamista, jotta polttoainetta voidaan hyödyntää.³⁹ Kemianteollisuudessa metanoli on kuitenkin hyvin tunnettu aine, jolla on olemassa oleva varastointi- ja jakeluinfra palvelemassa kemianteollisuuden tarpeita maailmanlaajuisesti. Vastaavasti myös ammoniakki on kemianteollisuuden tuote, jolla on laajat toimitusketjut olemassa. Molemmissa tapauksissa olemassa olevaa infrastruktuuria skaalamalla sekä osaamisen jakamisella on mahdollista siirtyä meriliikenteessä bio-, e-metanolin ja e-ammoniakin käyttöön. Verrattaessa esimerkiksi synteettiseen vetyyn, joka vaatisi täysin uuden infrastruktuurin ja jakeluketjun luomisen, ovat metanoli ja ammoniakki huomattavasti helpommin hyödynnettävissä polttoaineena.⁴⁰ Ammoniakin osalta on kuitenkin huomioitava aineen vaarallisuus, josta johtuen se vaatii huomattavat turvallisuusjärjestelyt metanoliin verrattaessa. Tämä vaikuttaa merkittävästi turvallisuusnäkökohtiin aluksia suunniteltaessa, ainetta käsiteltäessä ja infrastruktuuria rakennettaessa. Kuvassa 9 on havainnollistettu sekä metanolin että ammoniakin saatuutta satamissa maailmanlaajuisesti.

38 IEA. (2022). Advanced motor fuels.

39 Van der Maas. (2020). Assessment and comparison of alternative marine fuels towards the decarbonization of port of Amsterdam.

40 Elomatic. (2020). Ways to decarbonize shipping.

Kuva 9. Metanolin ja ammoniakkin saatavuus satamissa maailmanlaajuisesti. Kuva muokattu lähteistä: ⁴¹, ⁴².



41 Methanol Institute. (2019). SIEW Roundtable; Methanol as a marine fuel report.

42 IRENA. (2021). A Pathway to Decarbonize the Shipping Sector by 2050.

Laivojen polttoainekäytön näkökulmasta ammoniakki on tarkasteltavista vaihtoehdoista epäkypsin. Teknologia on tutkimus- ja kehitysasteella sekä polttokennokäyttöiseen että polttomoottoreihin perustuvan ammoniakin energiankäytön osalta. Useat yritykset kuten Wärtsilä, MAN Energy solutions, Japan Engine Corporation (J-ENG), IHI, CSIRO and Siemens Energy ovat kuitenkin saaneet positiivisia tuloksia ammoniakin polttoon perustuvien moottoreiden kehitystyössä. Metanolia käyttävät polttomoottorit ovat puolestaan jo kaupallista teknologiaa. Olemassa olevista laivoista on jälkiasenteisesti kyetty tekemään metanolia hyödyntäviä monipolttoainemoottoreita, joissa voidaan käyttää sekä metanolia että dieseliä energianlähteenä. Maailmanlaajuisesti näitä on toteutettu yhdeksässä kaupallisen mittakaavan aluksessa.⁴³ Varastoinnin kannalta metanoli on myös helpommin käsiteltävä tuote verrattuna alhaisen jäähtymistilan vaatimaan LNG:hen ja myrkylliseen ammoniakkiin⁴⁴.

Maailmanlaajuisesti ammoniakkia tuotetaan 180 Mt/a ja metanolia 98 Mt/a⁴⁵ fossiilisiin polttoaineisiin perustuen. Euroopan meriliikenteen polttoaineenkäyttö oli vuonna 2020 noin 44 Mt⁴⁶ (noin 1,8 EJ). Energiasisällöllisesti mitattuna globaalilla ammoniakki-markkina kasvaisi noin 55 % ja metanolimarkkina noin 94 %, jos koko Euroopan meriliikenteen energiantarve korvattaisiin jommallakummalla polttoaineella. Globaali meriliikenteen energiankulutus oli noin 11 EJ vuonna 2018⁴⁷, josta EU:n osuus on arviolta 20 %. Nykyinen ammoniakki ja metanolintuotanto yhdessä kattaisivat noin 50 % koko globaalista meriliikenteen energiantarpeesta. Tästä perspektiivistä katsottuna infrastruktuurin skaalaaminen pitkällä aikavälillä on kuljetuksen, varastoinnin ja jakelun kannalta ratkaistavissa globaalisti, mutta vaatii mittavia investointeja.

Nykyinen metanolin ja ammoniakin tuotanto perustuu lähes täysin fossiilisiin polttoaineisiin. Synteettisten polttoaineiden näkökulmista keskeistä on uusiutuvan sähköenergian tuotannon skaalaaminen ja sähköverkkojen kantokykyyn liittyvät haasteet. Euroopassa tuotetun sähkön määrä vuonna 2019 oli noin 2778 TWh⁴⁸. Mikäli synteettisillä polttoaineilla katettaisiin koko Euroopan meriliikenteen energiantarve, tarvitsisi sähköntuotantoa kasvattaa Euroopassa noin 35 % nykyisestä, pohjautuen ainoastaan uusiutuvan energian tuotantoon. Tämä on valtava haaste kilpailukykyisen polttoaineen tuottamiseksi, kun uusiutuvaa energiaa tarvitaan polttoaineiden tuottamisen lisäksi mm. teollisuuden sähköistymisen tarpeisiin ja nykyisen fossiilisen energiantuotannon korvaamiseksi uusiutuvalla. Tämä kasvava tarve vaihtelevalle uusiutuvan

43 IRENA. (2021). A pathway to decarbonize the shipping sector by 2050.

44 Elomatic. (2020). Ways to decarbonize shipping.

45 IRENA. (2021). A pathway to decarbonize the shipping sector by 2050.

46 FuelsEurope. (2021). Statistical report 2021.

47 IRENA. (2021). A pathway to decarbonize the shipping sector by 2050.

48 Eurostat. (2022). Electricity production, consumption and market overview.

energiantuotannolle aiheuttaa myös haasteita kantaverkkojen kestävyydelle, eikä nykyinen järjestelmä sellaisenaan kykene vastaanottamaan kaikkea tarvittavaa uusiutuvaa energiantuotantoa, vaan sähköjärjestelmät vaativat huomattavia investointeja.

LNG terminaalit soveltuvat hyvin biometaanin ja synteettisen, nesteytetyn metaanin jakeluun, sillä ne toimivat drop-in polttoaineena LNG käyttöisissä aluksissa. Kansallisen jakeluinfrastruktuurin tavoitteena on ollut, että kaikissa Suomen TEN-T ydinverkkoon kuuluvissa satamissa (Hamina-Kotka, Helsinki, Naantali ja Turku) olisi mahdollisuus tankata LNG:tä tai nesteytettyä biometaania (LBG) viimeistään vuonna 2025. LNG terminaaleja Suomessa on Porissa (2016) ja Torniossa (2019) sekä Haminaan syksyllä 2022 valmistuva terminaali, joka on ainoa kaasuverkkoon liitetty terminaali. Myös Turun ja Rauman satamissa on varattuina LNG-terminaalien paikat, mutta niiden rakennussuunnitelmat eivät ole edenneet.⁴⁹ Euroopassa LNG terminaalien kattavuus on esitetty seuraavassa kuvassa 10. Suurin määrä LNG terminaaleja löytyy tällä hetkellä Euroopassa Norjasta.

Kuva 10. LNG-terminaalit Euroopassa.⁵⁰



49 TEM. (2020). Biokaasuohjelmaa valmisteleavan työryhmän loppuraportti.

50 European Environmental Agency. (2021). LNG facilities in the EU.

2.5 Meriliikennepolttoaineiden arvioitu hintataso sekä päästökaupan ja energiaverodirektiivin vaikutukset eri polttoaineiden kilpailukykyyn

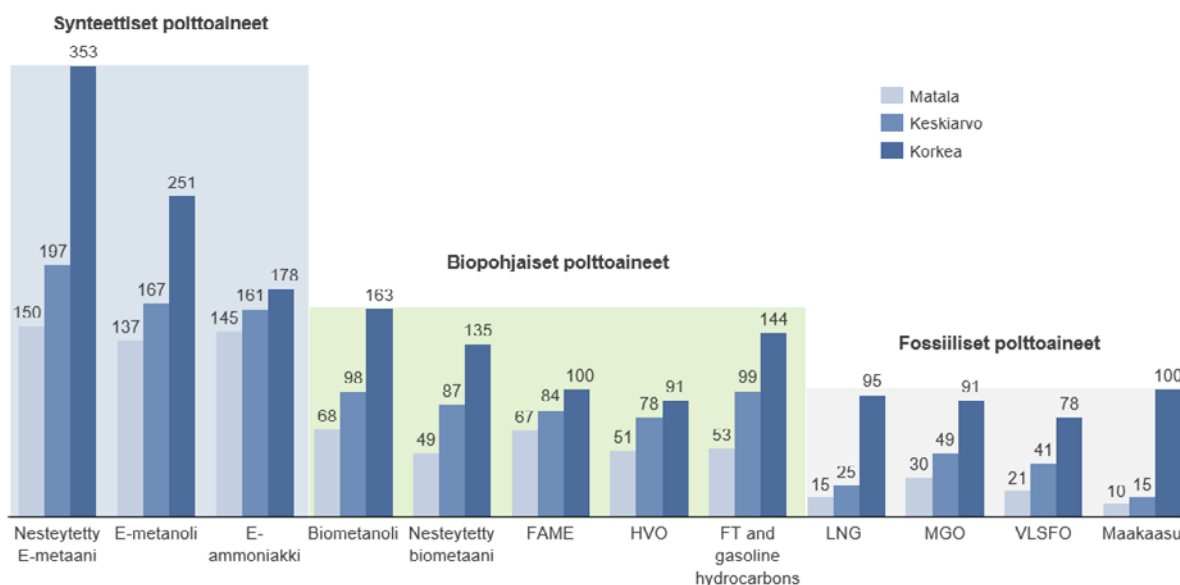
2.5.1 Meriliikennepolttoaineiden arvioitu nykykustannustaso

Vähäpäästöisistä polttoaineista biopohjaiset FAME-diesel ja HVO ovat tällä hetkellä tuotantokustannuksiltaan kilpailukykyisimmät vaihtoehdot fossiilisille polttoaineille. Näiden tuotantokustannukset vaihtelevat 50–100 €/MWh välillä riippuen käytettävästä biomassasta, ja sen hinnasta. Tuotantokustannuksiltaan seuraavaksi edullisimmat tuotteet ovat FT-öljyt, nesteytetty biometaanin ja biometanolin. Näiden tuotantokustannusten arvioitu vaihteluväli on 50–160 €/MWh.⁵¹

Synteettiset polttoaineet (e-ammoniakki, e-metanoli ja nesteytetty e-metaanin) ovat tuotantokustannuksiltaan kalleimmat vaihtoehtoisista polttoaineista, kun vertailu suoritetaan nykyisellä teknologialla ja polttoaineiden hintatasolla. Synteettisen ammoniakkin tuottamisen kustannus vaihtelee 145–180 €/MWh välillä. Synteettisen metanolin tuottaminen on synteettistä ammoniakkaa keskimäärin kalliimpaa, sillä se tarvitsee erillisen hiilidioksidilähteen. Lopputuotteen hinta voi vaihdella hiilidioksidilähteestä ja sähköenergian hinnasta riippuen 135–250 €/MWh välillä.⁵² Synteettisen metanolin tuottaminen ja nesteyttäminen on tarkasteltavista synteettisistä polttoaineista kalleinta tuotetta. Sen tuotantokustannusten on arvioitu vaihtelevan 150–350 €/MWh välillä.

51 IRENA. (2021). A Pathway to Decarbonize the Shipping Sector by 2050.

52 IRENA. (2021). A Pathway to Decarbonize the Shipping Sector by 2050.

Kuva 11. Arvio eri polttoaineiden hintatasosta vuonna 2020, €/MWh.


Fossiilisten polttoaineiden hinta vaihtelee 15–95 €/MWh välillä. MGO:n ja VLSFO:n hintavaihtelu on arvioitu kahden viimevuoden ajalta. Hintataso on pääasiassa ollut selvästi alle 50 €/MWh, mutta nousseet huomattavan korkealle vuoden 2022 keväällä.⁵³ LNG:n osalta keskiarvohinta vuosina 2017–2020 on ollut noin 25 €/MWh, ja alhaisin hintataso 15 €/MWh luokkaa. Myös LNG on kokenut voimakasta fossiilisten polttoaineiden hintatason nousua, ja sen hinta on vuonna 2022 käynyt jopa yli 100 €/MWh:ssa.⁵⁴ Puhtaasti tuotantokustannuksia vertailtaessa biopohjaiset polttoaineet ovat jo nyt kilpailukykyisiä näihin kevään 2022 hintoihin verrattaessa, ja synteettisten polttoaineiden tuotantotapojen kehittyessä on myös mahdollista päästä tähän hintatasoon tulevaisuudessa.

2.5.2 Päästökaupan vaikutus polttoainekustannuksiin

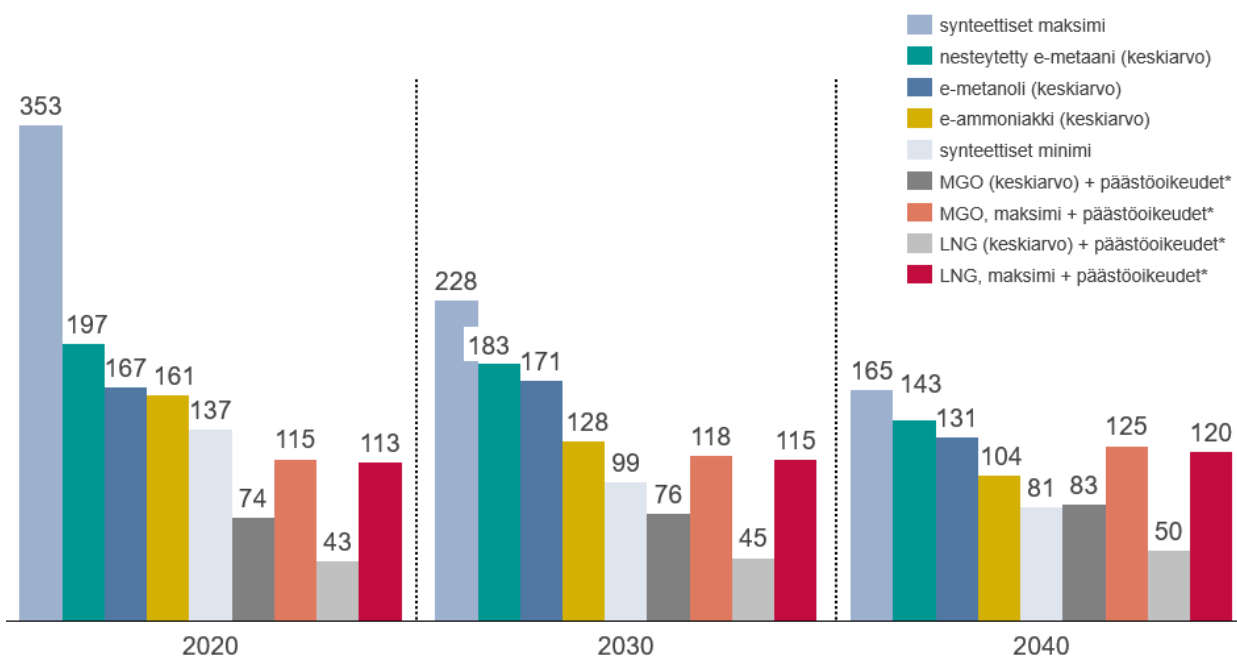
Synteettisen ammoniakkin ja metanolin osalta tuotantokustannustasoa on projisoitu tulevaisuuteen perustuen IRENA:n tuottamiin arvioihin. Tuotantokustannusten on arvioitu vaihtelevan 100–230 €/MWh välillä vuonna 2030 ja 80–165 €/MWh välillä vuonna 2040. Synteettisen, nesteytetyn metaanin on arvioitu olevan hieman metanolin kustannustasoa korkeampi johtuen nesteyttämisen kustannuksista. Kun näitä vertaa fossiilisten polttoaineiden viimeaikaiseen hintatasoon ja päästöoikeuksien hintoihin, niin

⁵³ Ship&Bunker. (2022). Global Average Bunker Price.

⁵⁴ Global LNG Hub. (2022). Weekly review of natural gas and LNG prices.

havaitaan, että synteettiset polttoaineet voivat hyvinkin olla kilpailukykyisiä jo vuonna 2030. Tämä kuitenkin edellyttää, että fossiilisten polttoaineiden hintataso pysyy korkealla, ja että päästöoikeuksien hinta on 100 €/tCO₂ luokkaa. Tämä ei kuitenkaan ole mikään päästöoikeuksien hinnan yläraja, sillä teollisuudenalojen keskuudessa on spekuloitu tulevaisuudessa nähtävän jopa 150 – 200 €/tCO₂ hintatasoja. Synteettisten polttoaineiden tuotantokustannusta ja fossiilisten polttoaineiden hintatasoa on havainnollistettu kuvassa 12.

Kuva 12. Arvio synteettisten polttoaineiden tuotantokustannuksista ja fossiilisten polttoaineiden hintatasoista eri päästö-oikeuksien hinnoilla vuosina 2020, 2030 ja 2040, €/MWh. Huom: Fossiilisten polttoaineiden osalta käytetty historiatietoihin pohjautuvia hintoja, kun taas synteettisten polttoaineiden osalta tuotantokustannustasoa on projisoitu tulevaisuuteen.



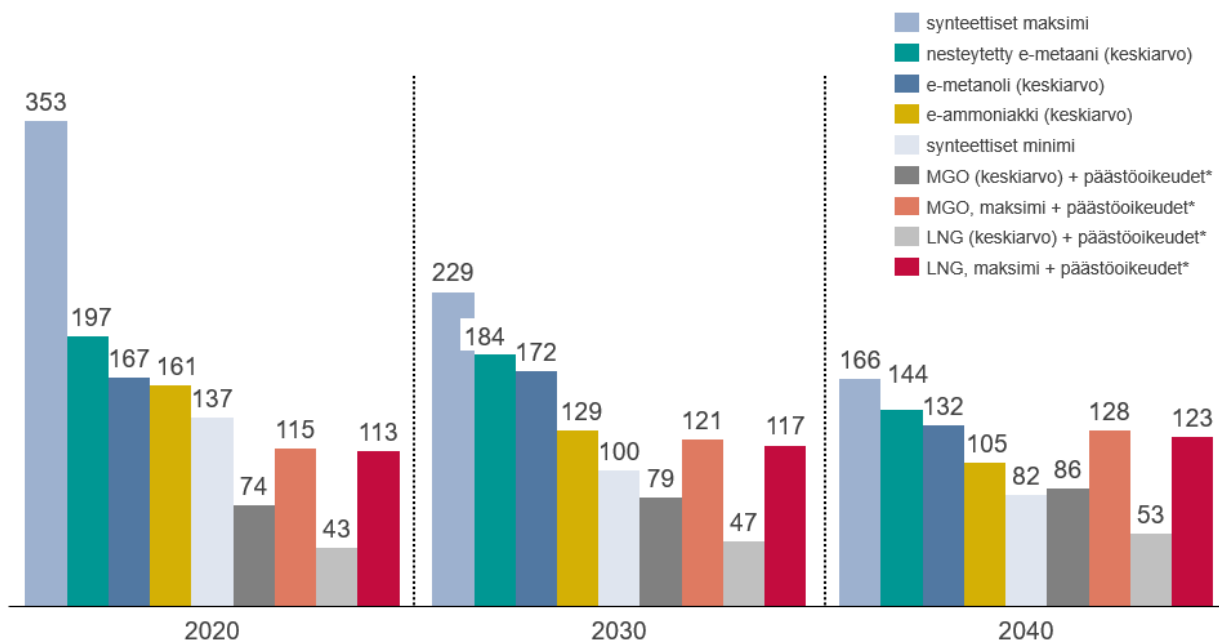
* Päästöoikeuksille käytetyt hinta-arviot; 2020: 90 €/tCO₂, 2030: 100 €/tCO₂, 2040: 125 €/tCO₂

Kokonaisuudessaan synteettisten polttoaineiden lopulliseen hintatasoon vaikuttaa infrastruktuuriin tehtävät investoinnit sekä myös tuotannossa syntyvien sivuvirtojen hyödyntämismahdollisuudet, joita ei ole tuotantokustannus tarkasteluissa huomioitu. Sivuvirtojen osalta synteettisten polttoaineiden tuotannossa syntyy sekä lämpöä että happea, joiden tehokkaalla hyödyntämisellä voi olla mahdollista tuoda lopputuotteen hintaa alaspäin.

2.5.3 Energiaverodirektiivin vaikutus polttoainekustannuksiin

Mikäli energiaverodirektiiviehdotus astuu voimaan yhdessä päästökaupan kanssa, nostaisi tämä synteettisten polttoaineiden kustannustasoa noin 0,5 €/MWh ja fossiilisten polttoaineiden osalta noin 3 €/MWh. LNG:lle verotus olisi MGO:ta kevyempää vuoteen 2033 asti, jota ennen kustannusvaikutus olisi noin 2 €/MWh. Energiaverodirektiivi ei siten voimaan astuessaan vaikuttaisi merkittävästi polttaineden väliisiin kustannuseroihin. Energiaveron vaikutus synteettisten polttoaineiden kustannustasoihin ja fossiilisten polttoaineiden hintatasoihin on esitetty kuvassa 13.

Kuva 13. Arvio synteettisten polttoaineiden tuotantokustannuksista ja fossiilisten polttoaineiden hintatasoista huomioiden energiaverodirektiivi sekä päästöoikeuksien eri hintataso vuosina 2020, 2030 ja 2040, €/MWh. Huom: Fossiilisten polttoaineiden osalta käytetty historiatietoihin pohjautuvia hintoja, kun taas synteettisten polttoaineiden osalta tuotantokustannustasoa on projisoitu tulevaisuuteen.



* Päästöoikeuksille käytetyt hinta-arviot; 2020: 90 €/tCO₂, 2030: 100 €/tCO₂, 2040: 125 €/tCO₂

2.6 Vety ja vetyjalosteiden ohjautuminen eri sektoreihin

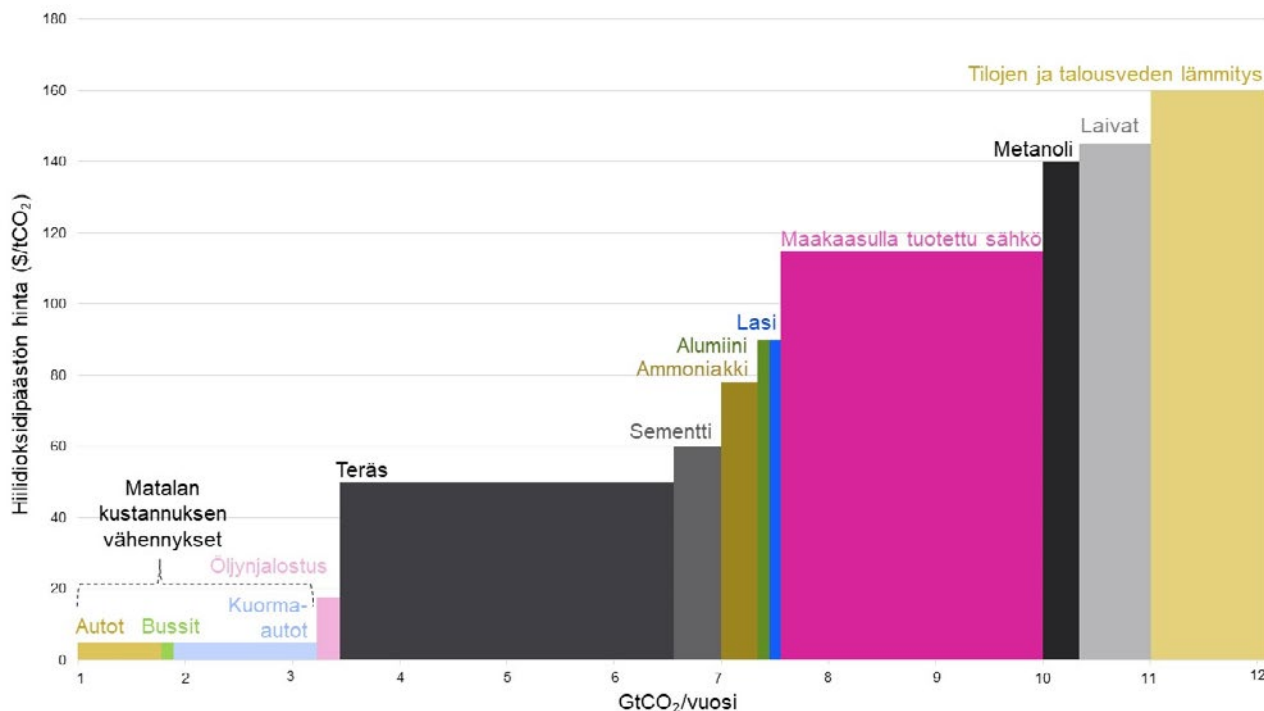
Polttoaineiden tuottaminen kestävästi vaatii joko biomassan hyödyntämistä tai uusiutuvalla energialla tuotetun vedyn käyttämistä tai jatkojalostamista polttoaineiksi. EU:n energiatransition on tunnistettu vaativan vedyn käyttöä laajalla mittakaavalla koskien sekä liikennesektoria, teollisuutta, sähköntuotantoa, energijärjestelmien joustokyvyn lisäämistä että rakennusten lämmittämistä, jotta hiilineutraaliustavoitteet voidaan saavuttaa. Ilman laajaa vetypohjaisten tuotteiden käyttöönottoa EU:n ei uskota saavuttavan hiilineutraaliutta⁵⁵. Sektoreittain tapahtuvan vety- ja vetyjohdannaisten käyttöönotto tapahtuu kuitenkin eri tahtia riippuen teknologioiden valmiudesta ja sektorikohtaisesta maksukyvyistä, joka voi vaihdella huomattavastikin sektoreiden välillä.

Bloombergin arvioiden⁵⁶ mukaan kustannustehokkaimmat päästövähennykset vedyllä tai vetypohjaisilla synteettisillä polttoaineilla saavutetaan tieliikenteessä, öljynjalostuksessa ja terästeollisuudessa. Meriliikenne on puolestaan sektoreittain tarkasteltuna potentiaalin heikoimmassa päästä, kun arvioidaan minne vety kannattaa ohjata, jotta se olisi tehokkaimmin käytössä. Meriliikennettä epätehokkaampaa vedyn käyttö on ainostaan tilojen sekä käyttöveden lämmittämisessä. Metanolia valmistavan teollisuuden maksukyky vety- ja vetyjohdannaista on samaa suuruusluokkaa meriteollisuuden kanssa. Tieliikenteen, öljynjalostuksen ja terästeollisuuden lisäksi sementtiteollisuus sekä ammoniakkia, alumiinia ja lasia valmistavat teollisuudenalat ja kaasuun pohjautuvan sähköntuotannon on arvioitu saavuttavan meriteollisuutta tehokkaammin päästövähennyksiä vetyyn pohjautuvista polttoaineista. Näillä tekijöillä on suuri merkitys, kun arvioidaan eri polttoaineiden saatavuutta ja ohjautumista meriteollisuudelle. Sektorikohtaista kustannustehokkuutta vetyyn pohjautuvissa päästövähennyskeinoissa on havainnollistettu kuvassa 14.

55 Hydrogen Roadmap Europe. (2018). A sustainable pathway for the European energy transition

56 Bloomberg NEF. (2020). Hydrogen Economy Outlook - Key Messages.

Kuva 14. Sektorikohtainen marginaalikustannus vetyyn perustuville päästövähennykskeinoille. Muunnos Bloomberg NEF:in⁵⁷ kuvasta.



2.7 Meriliikennealan keskeisimmät julkaisut tulevaisuuden polttoaineista

IRENA:n tulevaisuuden meriliikenteen polttoaineskenaario perustuu e-ammoniikkiin, LNG:hen, e-metanoliin, biopolttoaineisiin, vetyyn sekä pienissä määrin fossiilisiin polttoaineisiin ja sähkönkäyttöön. Ammoniakin on arvioitu olevan merkittävin käyttövoima ja LNG:llä toiseksi suurin markkinaosuus vuoteen 2050 mennessä 1,5°C:een skenaariotarkastelussa. Ammoniakin osalta etuna metanoliin verrattuna on edullisempi tuotantokustannus, vaikka metanoli vaatii huomattavasti pienemmät investointikustannukset aluksen polttomoottoriratkaisuissa. Metanolin heikkoutena on sen tuotannossa tarvittava uusiutuva CO₂-lähde ja sen vaatima investointi. Mikäli hiilidioksidin talteenotossa tapahtuu merkittävää kustannuskehitystä, voi tämä ajaa skenaariossa ammoniakin ohi. LNG:n merkitys vuoden 2050 markkinaosuudesta tunnistettiin riippuvan

⁵⁷ Bloomberg NEF. (2020). Hydrogen Economy Outlook - Key Messages.

vahvasti poliittisten toimenpiteiden implementointien nopeudesta. Joissakin skenaarioissa sen osuus vuonna 2050 voi olla hyvinkin vähäistä.⁵⁸

DNV GL on luonut useita eri energiahintoihin ja ilmastotavoitteisiin perustuvia skenaarioita ennustaakseen tulevaisuuden mahdollisia polttoaineratkaisuja merenkulkualalla. Yleisesti E-ammoniakki, sininen ammoniakki ja biometanoli esiintyvät useissa tulevaisuuden skenaarioissa, ja niiden on korostettu olevan pitkällä aikavälillä lupaavimmat hiilineutraalit polttoaineena. Skenaariot ovat olleet kuitenkin erittäin herkkiä ja riippuvaisia oletetuista energian hinnoista, polttoaineiden saatavuudesta ja tulevista poliittisista toimenpiteistä. Näihin liittyvien epävarmuuksien on tunnistettu olevan merkittävä riski uusille alusratkaisuille. Polttoainejoustavuuden suunnittelua pidetään parhaimpana keinona helpottaa vihreää siirtymää ja välttää arvonsa kadottavat alusinvestoinnit. Näin ollen LNG:hen pohjautuvaa monipolttomootoria pidetään vakaimpana valintana matkalla kohti vähähiilistä merenkulkua. Kuitenkin LNG:n rooli on hyvin vähäinen tai olematon kunnianhimoisimmissa päästötavoiteskenaarioissa, joissa hiilineutraalius saavutettaisiin jo 2040 mennessä. Sääntelyn kiristymistahdista riippuen nesteytetyn biometaanin, nesteytetty E-metaani (vastaava kuin LNG), biopohjaisten sekä myös synteettisten dieselpolttoaineiden käyttöosuus sekoituspolttoaineena nykyisessä laivastossa lisääntyy, kun taas biometanolia, sinistä ammoniakkia tai e-ammoniakkia käytetään enemmän uudisrakenteisissa ja joissakin jälkiasenteisissa aluksissa. Selkeää voittavaa polttoainetta ei ole kuitenkaan tunnistettu ja suurimmassa osassa tulevaisuuden skenaarioita on ainakin kolmella tai neljällä eri polttoaineella jokin markkinaosuus.⁵⁹

Svensk Sjöfartin⁶⁰ ja Sjöfartsverketin⁶¹ 2021 ja 2022 suunnitelmien ja raporttien mukaan Ruotsissa lähitulevaisuuden painopiste meriliikenteen polttoaineissa päästöjen vähentämiseksi ovat lähitulevaisuuden ratkaisuna LNG, nesteytetty biometaanin ja HVO. Tulevaisuuden synteettisistä vaihtoehdoista esille näyttäisi nousevan e-metanoli. Suunnitteilla olevien jäänmurtajien alus-design tulee perustumaan siihen, että näitä neljää polttoainevaihtoehtoa voitaisiin käyttää niissä⁶².

58 IRENA. (2021). A Pathway to Decarbonize the Shipping Sector by 2050.

59 DNV GL. (2020). Maritime forecast to 2050, Energy transition outlook 2020.

60 Svensk Sjöfart. (2019). Färdplan för fossilfri konkurrenskraft: Sjöfartsnäringen

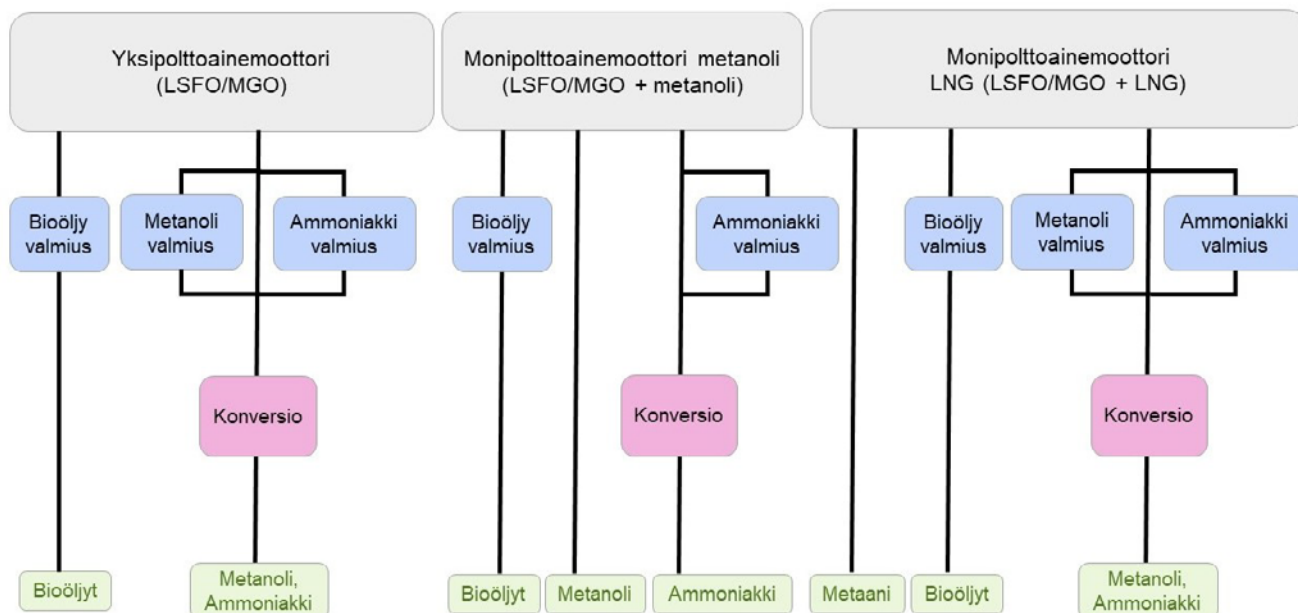
61 Sjöfartsverket. (2021). Fossilfri flotta.

62 Sjöfartsverket. (2022). Designen klar för Sveriges nya isbrytare.

2.8 Polttoainejoustavuus ja polttoaineiden tilantarve meriliikenteessä

Polttoainejoustavuus on keskeistä, mikäli halutaan säilyttää kattava mahdollisuus käyttää monia eri vaihtoehtoja alusten tulevaisuuden käyttövoimana. Kuvassa 15 on havainnollistettu eri mahdollisuuksia polttoaineen joustavuuden lisäämiseksi tulevaisuuden uusille alusinvestoinneille. Monipolttoainemoottoreita on tällä hetkellä mahdollista rakentaa MGO/LSFO ja metanolikäyttöiseksi tai MGO/LSFO ja LNG käyttöiseksi. Ensiksi mainitussa on mahdollista suunnitella konversiovaraus ammoniakkikäytölle, jolloin lopulta olisi elinkaarenaikaisina käyttövaihtoehtoina LSFO/MGO, bio-öljyt, metanoli ja ammoniakki. Vastaavasti LNG monipolttoainemoottorille on mahdollista suunnitella varaus metanoli tai ammoniakkikäyttöön. Yksipolttoainemoottoreissa on mahdollista jättää MGO:n/LSFO:n konversiovaraus metanoli tai ammoniakkikäyttöön. Konversiot ja tulevaisuuden varaukset useille polttoaineille aiheuttavat kuitenkin huomattavia lisäkustannuksia, eikä kerrallaan voi olla käytettävissä kuin enintään kahta eri polttoainetyyppiä.

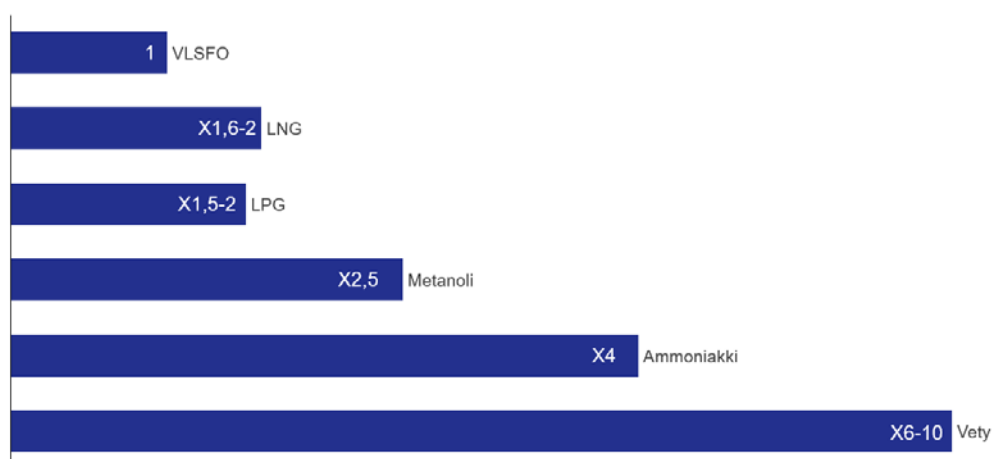
Kuva 15. Polttoainejoustavuuden toteutusmahdollisuudet uudisaluksissa. ⁶³



63 Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping. (2021). Position Paper, Fuel Option Scenarios.

Polttoaineiden energiatiheys vaihtelee polttoainetyypeittäin. Heikomman energiatihedden omaavat polttoaineet vaativat enemmän tilaa aiheuttaen lisäkustannuksia suhteessa paremman energiatihedden omaaviin aineisiin. Kuvassa 16 on esitetty vaihtoehtoisten polttoaineiden polttoainetankin tilantarve suhteessa vähärikkiseen polttoöljyyn. Puhdas vety tarvitsisi eniten tilaa, jopa 6-10 kertaisen tilan verrattuna polttoöljyyn. Ammoniakki on tarkasteltavista vaihtoehdoista toiseksi heikon tarviton nelinkertaisen tilavuuden. LNG tarvitsee aluksella noin kaksinkertaisen ja metanoli noin kaksi ja puolikertaisen tilan polttoöljyyn verrattuna. Suuresta tilantarpeesta johtuen valtameriliikenteen kiinnostus puhdasta vetyä kohti on heikkoa, vaikka lyhyemmän välimatkan aluksiin se voikin sopia. Alusperspektiivistä tarkasteltuna LNG ja metanoli ovat houkuttelevammat vaihtoehdot ammoniakkiin nähden.

Kuva 16. Eri polttoaineiden tilantarve polttoainetankissa suhteessa vähärikkiseen polttoöljyyn.⁶⁴



⁶⁴ DNV. (2022). Alternative ship fuels – Status and Outlook.

3 Fuel EU Maritime -ehdotuksen kannalta olennaisimmat tulevaisuuden vaihtoehdot polttoaineet

Selkeää yksittäistä, voittavaa tulevaisuuden meriliikenteen polttoainetta ei ole tunnistettu. Eri polttoaineisiin liittyviä etuja ja haasteita on havainnollistettu taulukossa 4 liikennevalomallilla, huomioiden nykyisen infrastruktuurin hyödynnettävyys, aluskohtaiset kustannukset, polttoainevalmistuksen kustannukset nyt ja tulevaisuudessa, polttoaineen saatavuus, sen varastointi ja käsittely sekä FuelEU Maritimen vaatimusten täyttökkyisyys.

Taulukko 4. Meriliikenteen polttoainevaihtoehtoihin liittyvät edut ja haasteet havainnollistettuna.

		Nykyisen infrastruktuurin hyödynnettävyys polttoaineen jakelussa	Aluskohtainen investointikustannus*	Polttoaineen valmistamisen kustannukset lähitulevaisuudessa	Polttoaineen valmistamisen kustannukset tulevaisuudessa	Polttoaineen saatavuus	Varastointi ja käsittely	FuelEU Maritimen kokonaisvaatimusten täyttökkyisyys
Fossiiliset	MGO	Green	Nykyisin Itämerellä valtaosin käytössä olevat polttoaineet	Green	Green	Green	Green	Orange
	VLSFO	Green		Green	Green	Green	Green	Orange
	LNG	Green	Yellow	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
Bio-pohjaiset	Nesteytetty biokaasu	Green	Yellow	Yellow	Green	Orange	Yellow	Green
	Biometanoli	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Orange	Yellow	Green
	FAME	Green	Yellow	Yellow	Green	Orange	Green	Green
	HVO	Green	Yellow	Yellow	Green	Orange	Green	Green
	FT diesel	Green	Yellow	Yellow	Green	Orange	Green	Green
Synteettiset	E-metanoli	Yellow	Yellow	Orange	Yellow	Green	Yellow	Green
	E-ammoniakki	Yellow	Orange	Orange	Yellow	Green	Orange	Green
	Nesteytetty E-metaani	Green	Yellow	Orange	Yellow	Green	Yellow	Green

* 100 % polttoaineen käyttömahdollisuus

Fossiilisten polttoaineiden osalta FuelEU Maritimen tiukimpia vaatimuksia ei saavuteta, ja vaihtoehtoisia ratkaisuja tulisi löytää nykyisin pääsääntöisesti käytettäville MGO:lle ja VLSFO:lle. LNG:n käyttöä lisäämällä FuelEU Maritimen vaatimuksia voidaan täyttää lähitulevaisuudessa, riippuen kuitenkin lopulliseen julkaisuun sovellettavissa olevista päästökertoimista ja niiden määrittelyn kriteereistä.

Biopolttoaineet ovat synteettisiä polttoaineita kilpailukykyisempiä, ja niillä on myös fossiilisia polttoaineita selvästi alhaisempi KHK-intensiteetti. Biopolttoaineiden haasteena on kuitenkin sen rajallinen saatavuus sekä mahdollinen ohjautuminen muualle liikenteeseen ja teollisuuteen, jolloin ne eivät riitä yksinään ratkaisemaan meriliikenteen kestävyysaastetta.

Synteettisten polttoaineiden osalta haasteena ovat erityisesti polttoaineiden valmistamisen korkeat kustannukset sekä osittain vaillinaisen infrastruktuuri. Synteettisen ammoniakkin osalta näiden lisäksi vaikeutena ovat sekä myrkyllisyys, josta johtuen aineen käsittely vaatii erityisiä turvallisuustoimia, että aluskohtaiset vaatimukset modifioinneille, jotka ovat vielä pilotointiasteella.

Tulevaisuuden polttoainevalintoja tehtäessä Suomessa on kuitenkin tärkeätä huomioida se, että muusta maailmasta täysin eriyvää ratkaisua ei voida tehdä, vaikka jonkin tietyn polttoaineen valmistaminen voisikin osoittautua Suomen kannalta kiinnostavimmaksi vaihtoehdoksi. Alusten tarvitsemaa polttoainetta tulee olla tankattavissa maailmanlaajuisesti, jotta jälleenmyyntiarvo voidaan säilyttää. Tästä johtuen globaalien varustamoiden ja satamien tekemiä polttoaineratkaisuja on syytä seurata, ja mahdollistaa polttoainevalinnoilla mahdollisimman globaalit markkinat laivan tulevaisuuden käytölle. Globaalien markkinoiden lisäksi tulee seurata myös Itämeren polttoaineratkaisuja, sillä jääolosuhteista johtuen ratkaisut voivat painottua globaalista perspektiivistä hieman eriyvästi. On myös huomattava, että Itämeren markkinoita ohjaavat myös julkiset jäämurtajavalinnat, jotka osaltaan voivat polttoainevalinnoillaan vaikuttaa markkinoiden muodostumiseen näiden polttoaineiden suuntaan.

Jotta sekä tulevaisuuden kestävyysaasteeseen voidaan vastata että samalla varmistaa, ettei meriliikenteen kustannustaso lähde liian jyrkkään nousuun, nähdään parhaimpana vaihtoehtona LNG:n käytön kautta siirtyminen enenevässä määrin kohti synteettisten polttoaineiden käyttöä pitkien välimatkojen aluksissa. Isossa kuvassa meriliikenteen kestävyysongelmat ratkaistaisiin siis synteettisillä polttoaineilla. Biopolttoaineita tulisi kuitenkin hyödyntää sen riittävyyden mukaan MGO:n ja VLSFO:n korvaajana sekä mahdollisuuksien mukaan myös uusissa aluksissa nesteytetyn biometaanin ja biometanolin muodossa, moottorivalinnasta riippuen. Tällöin Suomelle tärkeillä biopolttoaineilla olisi rooli myös meriliikenteen polttoaineena, vaikka koko meriliikenteen kestävyysongelmaa niillä ei saatavuuden takia voidakaan ratkaista. LNG:n käyttö puolestaan mahdollistaisi asteittaisen siirtymän vaihtoehtoisiin polttoaineisiin olemassa

olevaa infrastruktuuria hyödyntäen, jolloin kustannustaso ei nousisi liian jyrkästi, ja samalla myös aluksen jälleenmyyntiarvon säilyvyys voitaisiin varmistaa polttoaineen globaalin tankkausmahdollisuuden näkökulmasta. Vety- ja sähkökäyttöisiä vaihtoehtoja ei ole tässä työssä tarkasteltu, sillä niiden on todettu soveltuvan parhaiten pieniin aluksiin sekä aluksiin, jotka kulkevat lyhyitä välimatkoja.

LNG:n rooli väliratkaisuna on kuitenkin hyvin riippuvainen poliittisista päätöksistä ja päästökertoimien määrittelyn kriteereistä. ICCT:n julkaisun⁶⁵ perusteella LNG:n käytöpolkujen keskiarvon perusteella LNG:llä voitaisiin vähentää meriliikenteen päästöjä, jolloin sillä voisi olla rooli väliratkaisuna siirryttäessä kohti synteettisiä polttoaineita. Tiukemmin tulkittuna FuelEU Maritimen vaatimuksia on kuitenkin mahdollista, että LNG ei sovellu väliratkaisuksi, jolloin siirtymä muihin vaihtoehtoihin olisi nopeampaa. Tässä työssä LNG:n päästöt on arvioitu siten, että ne ovat linjassa ICCT:n julkaisun kanssa, ja myös sovellettavissa FuelEU Maritimen KHK-intensiteetilaskentaan.

Ajatusmalliin, jossa tulevaisuuden kestävyysongelmat meriliikenteessä ratkaistaan synteettisillä polttoaineilla, on rakennettu kolme erilaista pääskenaariota, joiden vaikutuksia Suomen meriliikenteelle analysoidaan tarkemmin luvussa 5. Skenaariosta riippuen isokuva rakentuu joko LNG:n käytön kautta siirtymällä laaja-alaisesti 1) synteettisen, nesteytetyn metaanin käyttöön, 2) synteettisen metanolin käyttöön tai 3) synteettisen ammoniakkin käyttöön. Kaikissa skenaarioissa biopohjaisilla polttoaineilla on jokin markkinaosuus, mutta tarkastelun yksinkertaistamiseksi sen vaikutuksen on arvioitu olevan vähäinen. Skenaariossa on oletuksena, että uusin alusratkaisuihin on mahdollista toteuttaa riittävä polttoainejoustavuus, siten, että esimerkiksi LNG/MGO monipolttoainemoottori voidaan myöhemmin muuntaa esimerkiksi metanolikäyttöiseksi.

Synteettisissä polttoaineissa metanolin ja metaanin tuottaminen vaativat hiilidioksidin talteenottoa. Näiden skenaarioiden toteutumisen tausta-ajurina on yleinen hiilitalouden skenaario, jossa hiilidioksiditeknologian talteenotto ja pitkäaikainen varastointi yleistyy ja kehittyi muiden sektoreiden ajamana. Skenaariotarkastelujen oletuksena on, että hiilidioksidia on riittävästi saatavilla, mutta pistemäisten fossiilisten ja biogeenisten hiilidioksidilähteiden lisäksi voidaan joutua turvautumaan suoraan ilmasta talteen ottavaan teknologiaan, joka on vielä kallista.

65 Lowell et al. (2013). Assessment of the fuel cycle impact of liquefied natural gas as used in international shipping.

Synteettisen ammoniakkin skenaarion osalta polttoteknologian oletetaan saavuttavan riittävän kypsyyden lähitulevaisuudessa, aineen käsittelyyn liittyvät haasteet ratkaistaan ja sen käyttämisestä polttoaineena tulee yleisesti hyväksyttyä meriteollisuuden toimijoiden keskuudessa.

Skenaariotarkastelun pääperiaate on havainnollistettu kuvassa 17.

Kuva 17. Skenaariotarkastelun pääpolttoainevaihtoehdot.



Tulevaisuuden polttoaineratkaisut näyttävät rakentuvan sekoitukseen näistä kolmesta synteettisestä polttoaineesta, jossa jollakin yksittäisellä polttoaineella on selvästi suurin markkinaosuus markkinoiden kehityksestä riippuen. LNG:n markkinaa välipolttoaineena voisi pienentää ns. sinisen ammoniakkin, metanolin tai metaanin käyttö, joka perustuu fossiilisen maakaasun käyttöön yhdistettynä hiilidioksidin talteenottoon ja pysyvään varastointiin. Tätä skenaariota pidetään kuitenkin hyvin epätodennäköisenä, sillä Ukrainan sodan takia maakaasun käyttöä pyritään vähentämään Euroopan laajuisesti.

Synteettisiin polttoaineisiin pohjautuva skenaario nähdään todennäköisimpänä vaihtoehtona, mutta tämä pelikenttä voi muuttua vielä täysin, mikäli jokin nyt taka-alalla olevista teknologioista ottaa merkittävän kehitysharppauksen ja mullistaa meriliikenteen. Tällaisia ratkaisuja voisivat olla mm. laivoissa tapahtuva hiilidioksidin talteenotto ja va-

rastointi, ydinkäyttöiset laivat, leväpohjaiset polttoaineet, aluskohtaiset tuuli/aurinkovoimalat tai yllättävä regulaation muutos. Esimerkiksi laivojen hiilidioksidin talteenoton nopean kaupallistumisen myötä synteettisillä tai biopohjaisilla vaihtoehdoilla ei olisi juurikaan roolia tulevaisuudessa, vaan fossiilisten polttoaineiden käyttöä jatkettaisiin, ja polton yhteydessä syntyvä hiilidioksidi otettaisiin talteen ja kuljetettaisiin pitkäaikaiseen varastoon. Vastaavasti leväpohjaisten polttoaineiden nopea kehittyminen ratkaisisi biopohjaisten polttoaineiden raaka-aineisiin liittyvän riittävyysaasteen, ja voisi nostaa biotuotteet dominoivaksi polttoaineeksi. Näistä syistä nopeat siirtymät yksittäisen uuden polttoaineen varaan voi heikentää meriliikenteen toimijoiden kilpailukykyä merkittävästi.

4 Polttoainemarkkinoiden kehityksen vaikutukset kansallisesti

4.1 Analyysi olennaisista FuelEU Maritime -ehdotuksen täyttävien vaihtoehtoisten polttoaineiden käytöstä johtuvista lisäkustannuksista Suomeen suuntautuvalle meriliikenteelle

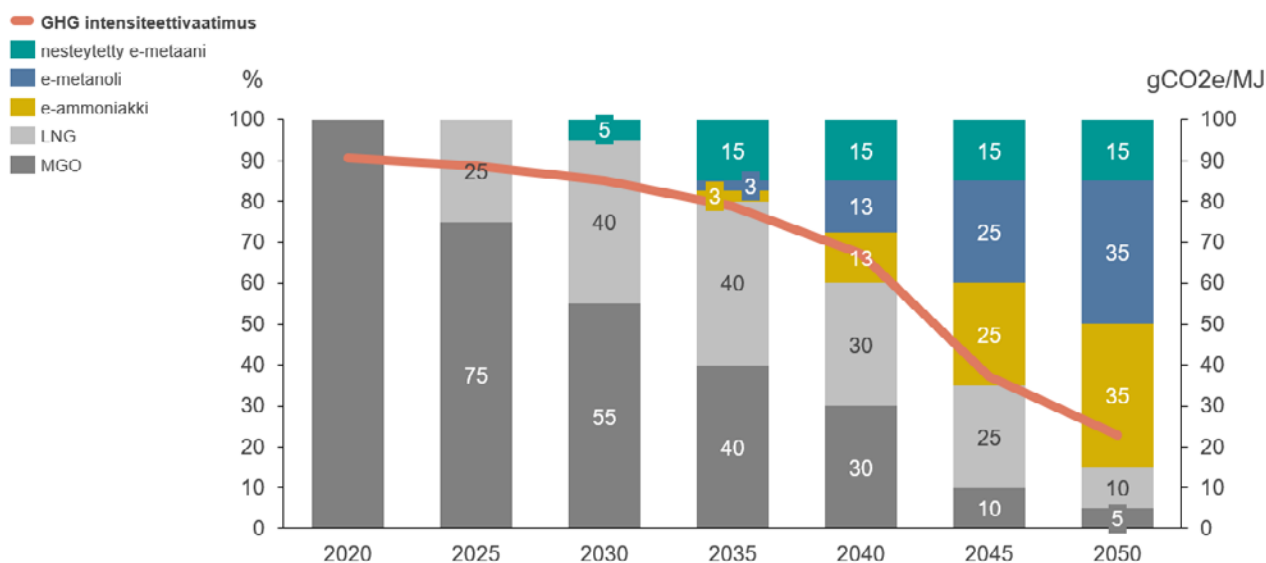
4.1.1 Skenaarioiden taustoitus

Luvussa 4 skenaariotarkasteluun valittiin kolme todennäköisintä kehityspolkua, jossa LNG:n kautta siirrytään synteettisten polttoaineiden käyttöön siten, että 1) nesteytettyllä e-metaanilla (metaanipolku), 2) e-metanolilla (metanolipolku) tai 3) e-ammoniakilla (ammoniakkipolku) on merkittävä markkinaosuus. LNG:n markkinaosuus on arvioitu kasvavan vuoteen 2030 asti, jonka jälkeen synteettisten polttoaineiden markkinaosuuden tulee kasvaa, jotta saavutetaan vaadittavat KHK-intensiteettivaatimukset. MGO:n osuuden on arvioitu pienenevän tasaisesti siten, että vuonna 2050 sen markkinaosuus olisi enää 5 %. Kaikissa skenaarioissa synteettisten polttoaineiden osuus meriliikenteessä on noin 85 % vuonna, jolloin KHK-intensiteetin tulee olla pudonnut 75 % nykyisestä. Tarkastelun yksinkertaistamiseksi biopolttoaineiden osuus sekä myös satamissa tapahtuvan maasähkön käyttö on jätetty skenaarioissa huomiotta. Kustannusvaikutustarkastelussa on käytetty fossiilisille polttoaineille historiatietoihin pohjautuvia keskimääräisiä hintatasoja sekä korkeita hintatasoja. Synteettisten polttoaineiden osalta on käytetty tuotantokustannusennustetta. Nämä hintatasot on havainnollistettu luvussa 2.5, kuvissa 11 ja 12. Päästöoikeuksien hinnan on oletettu olevan 90 €/tCO₂, joka kasvaen tasaisesti vuoteen 2040 asti saavuttaa arvon 125 €/tCO₂. Päästökaupan piiriin on oletettu kuuluvan 45 % meriliikenteen polttoaineista vuonna 2025 ja 100 % vuodesta 2030 eteenpäin.

4.1.2 Skenaario 1, metaanipolku

Metaanipolun eri polttoaineiden markkinaosuudet FuelEU Maritimen vaatimusten täyttämisen näkökulmasta on esitetty kuvassa 18. Nesteytetyn metaanin markkinaosuus on määritetty siten, että se saavuttaa vuoteen 2050 mennessä niin suuren markkinaosuuden kuin on mahdollista. Vielä päivityksessä olevan EU-Fuel Maritimen keskimääräisen laskentaperiaatteen mukaan se voi maksimissaan saavuttaa 15 % osuuden johtuen sen kasviuonekaasupäästöistä. Markkina osuus voisi kuitenkin kasvaa 20 % mikäli metaanivuotojen (engl. methane slip) tulkittaisiin olevan erittäin vähäiset. Muu synteettisten polttoaineiden osuus on jaettu puoliksi e-metanolin ja e-ammoniakin kesken, jolloin niillä olisi 35 % markkinaosuudet vuonna 2050.

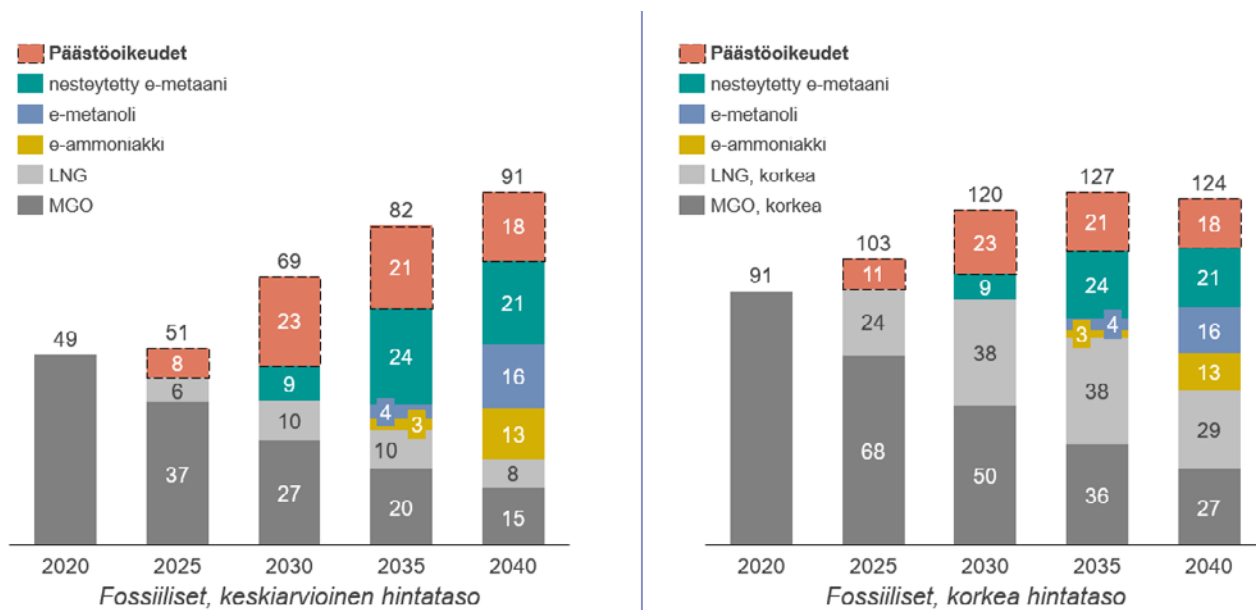
Kuva 18. Meriliikenteen polttoaineiden markkinaosuudet metaanipolussa sekä KHK intensiteettivaatimus.



Metaanipolun vaikutukset polttoaineiden kokonaishintatasoon niiden markkinaosuuksilla painotettuna on arvioitu kuvaajassa 19. Keskiarvioisesti LNG on ollut MGO:ta edullisempaa, jolloin sen käyttäminen pienentää alusten käyttökustannuksia. Päästökaupan vaikutus kuitenkin nostaisi hintatason nykyiselle vuonna 2025, jonka jälkeen polttoaineen käytön kustannustaso nousee noin 40 % vuonna 2030 mikäli meriliikenne on kokonaisuudessaan päästökaupan alaisena. Vuoteen 2040 mennessä polttoaineiden hintataso nousee noin 85 % nykyisestä johtuen synteettisten polttoaineiden valmistamisen kustannuksista sekä käytössä olevien fossiilisten polttoaineiden päästöoikeuksista. Päästöoikeuksien osuus kokonaishintatasosta olisi tällöin noin 20 %. Mikäli tilannetta verrataan fossiilisten

polttoaineiden tämän hetken korkeaan hintatasoon, kasvaa polttoaineiden kustannustaso noin 30 % vuoteen 2030 mennessä ja 35 % vuoteen 2040 mennessä.

Kuva 19. Metaanipolun ja päästökaupan vaikutukset polttoaineiden hintatasoon: polttoaineiden markkinaosuuksilla painotettu keskiarvohinta, €/MWh.



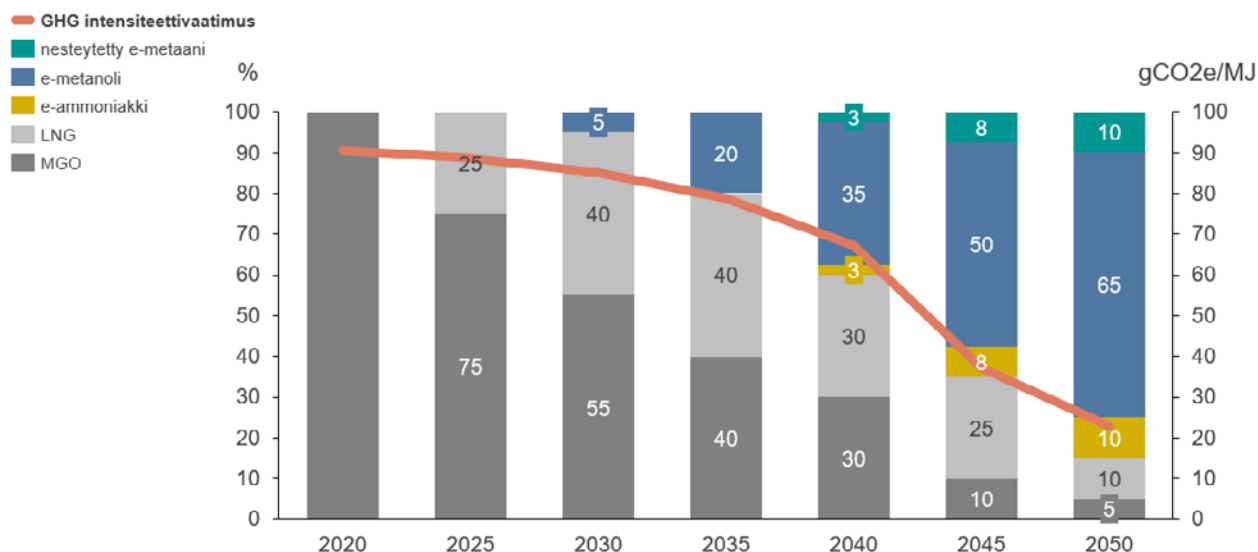
Nesteytetyn metaanin valmistamisen on arvioitu olevan hieman kalliimpaa kuin metanolin ja ammoniakkin, mutta Suomessa tätä polkua tukee osin jo valmiina oleva LNG:n infrastruktuuri, joka soveltuu suoraan sellaisenaan myös nesteytetyn e-metaanin käyttöön. LNG:n käytöstä laivoissa on paljon tietoa ja kokemusta. Metanolin ja ammoniakkin vaatimaan infrastruktuuriin tulisi investoida vasta vuoden 2030 jälkeen, kun näiden polttoaineiden kysyntä kasvaa. Tällöin myös ammoniakkin käsittelyyn liittyvät ratkaisut sekä polttoaineinfrastruktuurin sopeuttaminen metanolille olisivat jo nykyistä huomattavasti pidemmälle vietyjä. Metaanipolun vaatiman hiilidioksidin talteenoton kannalta Suomessa on myös hyvät edellytykset biopohjaisten päästöjen hyödyntämiselle vahvan metsäteollisuudenalan johdosta.

4.1.3 Skenaario 2, metanolipolku

Metanolipolun eri polttoaineiden markkinaosuudet FuelEU Maritimen vaatimusten täyttämisen näkökulmasta on esitetty kuvassa 20. Metanolin markkinaosuus on määritetty siten, että sillä olisi selvästi suurin markkinaosuus (65 %) vuonna 2050. Muiden synteettisten polttoaineiden osuus on arvioitu olevan noin 20 % jakautuen

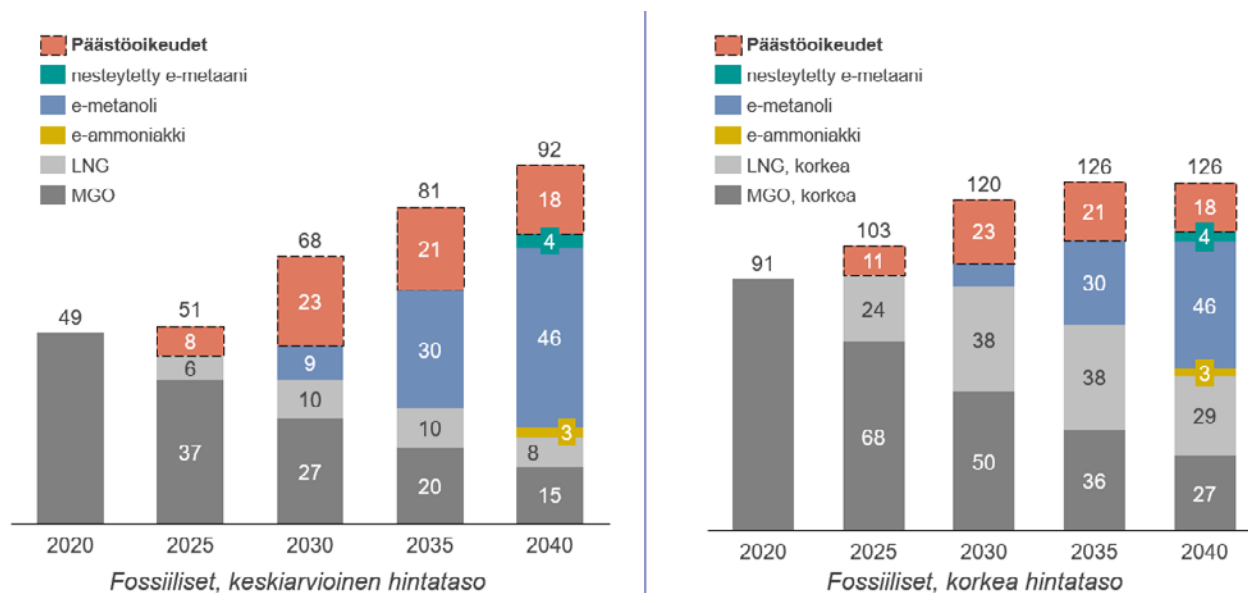
puoliksi nesteytetyn e-metaanin ja e-ammoniakin kesken, jolloin molemmilla olisi 10 % markkinaosuus vuonna 2050.

Kuva 20. Meriliikenteen polttoaineiden markkinaosuudet metanolipolussa sekä KHK intensiteettivaatimus.



Metaanipolun vaikutukset polttoaineiden kokonaishintatasoon niiden markkinaosuuksilla painotettuna on arvioitu kuvaajassa 21. Tässäkin skenaariossa keskiarvoisesti edullinen LNG:n käyttö pienentää alusten käyttökustannuksia, mutta päästökaupan vaikutus kuitenkin nostaisi hintatason nykyiselle vuonna 2025, jonka jälkeen polttoaineiden kustannustaso nousee noin 40 % vuonna 2030 eli saman verran kuin metaanipolussa. Kokonaisuudessaan hintataso on samaa luokkaa kuin metaanipolussa. E-metanolin valmistamisen on arvioitu olevan hieman edullisempaa kuin nesteytetyn e-metaanin, mutta polkujen sama hintataso johtuu siitä, että metaanipolussa ammoniakilla on metanolipolkua isompi markkinaosuus, ja tämän oli arvioitu olevan synteettisistä polttoaineista edullisinta valmistaa. Vastaavasti tässäkin polussa kustannustaso nousee noin 30 % vuoteen 2030 mennessä ja noin 40 % vuoteen 2040 mennessä mikäli nykyinen, fossiilisten polttoaineiden korkea hintataso ei lähde laskuun.

Kuva 21. Metanolipolun ja päästökaupan vaikutukset polttoaineiden hintatasoon: polttoaineiden markkinaosuuksilla painotettu keskiarvohinta, €/MWh.

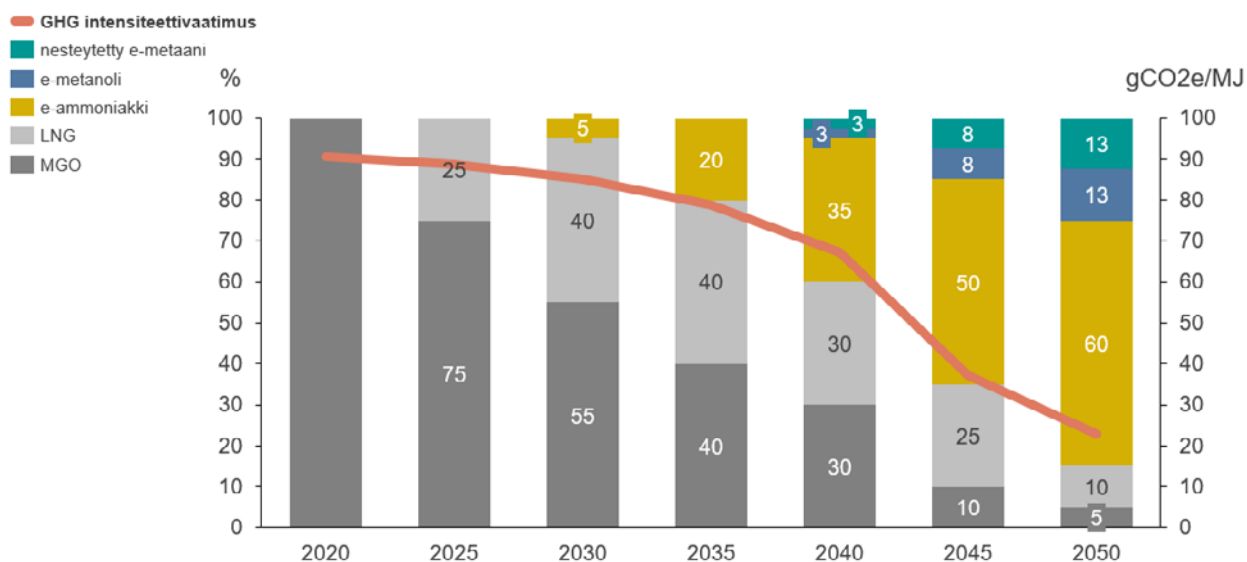


Metanolipolku vaatii kuitenkin nopeaa metanoli-infrastruktuurin rakentamista sekä nykyisen polttoaine infrastruktuurin sopeuttamista metanolikäyttöön, sillä synteettisen metanolin markkinaosuus olisi jo 5 % vuonna 2030. Tämä tulisi nostamaan kokonaisuudessaan lähitulevaisuuden hintatasoa metaanipolkua korkeammaksi. Toisaalta metanolin vaatiman infrastruktuurin rakentamisen on kuitenkin arvioitu olevan edullisempaa kuin LNG:lle ja ammoniakille. Hiilidioksidin talteenoton kannalta myös metanolipolulle on hyvät edellytykset biopohjaisten päästöjen hyödyntämiselle Suomessa.

4.1.4 Skenaario 3, ammoniakkipolku

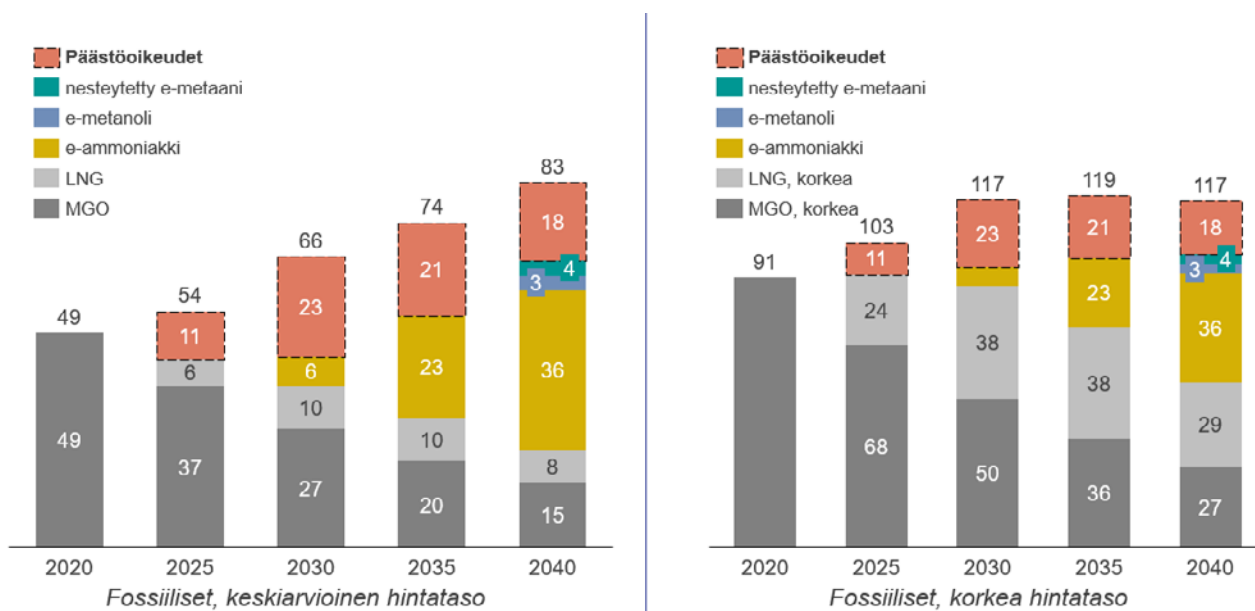
Ammoniakkipolun eri polttoaineiden markkinaosuudet FuelEU Maritimen vaatimusten täyttämisen näkökulmasta on esitetty kuvassa 22. Ammoniakin markkinaosuus on arvioitu saavuttavan maksimissaan 60 % osuuden, sillä sitä ei ole arvioitu voitavan käyttää matkustajalaivaliikenteessä sen vaarallisuudesta johtuen. Muiden synteettisten polttoaineiden osuus on arvioitu olevan vastaavasti noin 25 % jakautuen puoliksi nesteytetyn e-metaanin ja e-metanolin kesken, jolloin molemmilla olisi 12,5 % markkinaosuus vuonna 2050.

Kuva 22. Meriliikenteen polttoaineiden markkinaosuudet ammoniakkipolussa sekä KHK intensiteettivaatimus.



Ammoniakkipolun vaikutukset polttoaineiden kokonaishintatasoon niiden markkinaosuuksilla painotettuna on arvioitu kuvaajassa 23. Vastaavasti tässä skenaariossa hintataso käyttäytyy kuten muissakin skenaarioissa vuoteen 2025 asti, jonka jälkeen hintataso nousee noin 35 % vuoteen 2030 mennessä. Vuoteen 2040 mennessä polttoaineiden hintatason on arvioitu nousevan noin 70 %. Polttoaineiden tuotannon kannalta ammoniakkipolku on siis hintatasoltaan metaani- ja metanolipolkua alhaisempi. Fossiilisten polttoaineiden korkeaan hintatasoon verrattuna kustannustaso nousisi ainoastaan 30 % vuoteen 2030 mennessä, ja säilyisi samalla tasolla vuoteen 2040 asti.

Kuva 23. Ammoniakkipolun ja päästökaupan vaikutukset polttoaineiden hintatasoon: polttoaineiden markkinaosuuksilla painotettu keskiarvohinta, €/MWh.



Ammoniakkipolku vaatii myös, kuten metanolipolku nopeaa infrastruktuurin rakentamista, jotta vuoden 2030 e-ammoniakin markkinaosuus voidaan saavuttaa. Metanoliin verrattuna tämä vaatii kuitenkin täysin uutta infrastruktuuria, sillä olemassa olevaa polttoaineinfrastruktuuria ei voida sopeuttaa ammoniakin käyttöön. Ammoniikki vaatii myös uutta alus designia, varastointiratkaisuja ja jakelun uudelleen järjestämistä. Se vaatii myös polttoaineena enemmän tilaa kuin metanoli ja nesteytetty metaani. Lisäksi henkilöstö tulee kouluttaa koko arvoketjussa aivan uudella tavalla käsittelemään ammoniakkia. Tämä nostaa ammoniakkipolun kokonaiskustannustasoa, ja sen todelliset vaikutukset kustannustasoon eivät ole vielä selvillä. Metaani- ja metanolipolkuun verrattuna polttoaineen tuottaminen on kuitenkin vapaammin toteutettavissa, sillä se ei vaadi hiilidioksidilähdettä ollenkaan.

4.1.5 Skenaarioiden yhteenveto ja johtopäätökset

Yleisesti katsottuna Suomessa on hyvät edellytykset synteettisten polttoaineiden valmistamiseksi. Tarvittavaa uusiutuvaa sähköenergiaa on mahdollista skaalata nopeasti kehittämällä lisää tuulivoimaa, Suomen kantaverkko on hyvässä kunnossa, ja sitä kehitetään jatkuvasti vastaanottamaan lisää uusiutuvaa energiaa, sekä lisäksi myös vahvan metsäteollisuuden johdosta biogeenisiä hiilidioksidilähteitä on saatavilla synteettisen metaanin ja metanolin tuottamista varten.

Polttoaineiden tuotannon kannalta ammoniakkipolun on arvioitu aiheuttavan vähiten kustannusten nousupainetta. Ammoniakin infrastruktuuriin ja aluskohtaiseen designeeen liittyvät kustannukset ovat kuitenkin vielä selvittämättä, ja voivat osaltaan nostaa lopullista polttoaineen hintaa muiden skenaarioiden ylitse. Näiden aiheuttamien lisäkustannuksen osalta nousuvaraa muihin polttoaineisiin nähden on kuitenkin yli 10 %.

Nesteytetyn e-metaanin tuottaminen ja sen käsittely on metanolia kalliimpaa. Lisäksi synteettisellä metaanilla on rajallinen käytettävyys markkinoilla johtuen sen vahvasta kasvihuonevaikutuksesta ilmaan päätyessään. Metaanipolkua kuitenkin puoltaa jo valmis LNG infrastruktuuri, jota voidaan sellaisenaan hyödyntää. Rinnalle on kuitenkin joka tapauksessa rakennettava myös muuta polttoaineinfrastruktuuria, jotta FuelEU Maritimen päästötavoitteet saavutettaisiin.

Metanolipolkua puoltaa se, että sen tuottaminen on kustannustasoltaan sekä myös tilan tarve vaatimuksiltaan nesteytetyn e-metaanin ja ammoniakin välissä, kuitenkin niin että uuden infrastruktuurin rakentaminen on molempia polttoaineita edullisempaa. Valmista infrastruktuuria metanolin käyttöön ei kuitenkaan ole.

Skenaariotarkastelun pääideana on tuoda esille eri vaihtoehtojen hyviä ja huonoja puolia. Todellisuudessa lopullinen toteuma tulee todennäköisimmin olemaan jonkinlainen yhdistelmä näistä tarkasteluissa. Kaikissa tapauksissa Suomen laivaliikenteen kustannustaso kuitenkin nousee nykyisestään erityisesti päästökaupan vaikutuksesta. Puhtaasti polttoaineiden hintatasoa vertaillaessa kustannustason nousu on maltillisempaa, sillä LNG:n käytön vaikutuksesta hintatason nopeaa nousua voidaan hidastaa, ja samalla hyötyä synteettisten polttoaineiden tuotantoteknologioiden kehittymisestä, jolloin niiden valmistaminen on tulevaisuudessa edullisempaa. Ilman päästökauppaa ei kuitenkaan olisi insentiiviä siirtymään polttoaineisiin riittävän nopeasti.

Kokonaiskuvassa päästökaupan vaikutuksesta polttoaineiden käyttökustannukset kasvavat arviolta 35–40 % vuoteen 2030 mennessä ja 70–90 % vuoteen 2040 mennessä skenaariosta riippuen, kun synteettisten polttoaineiden osalta huomioidaan ainoastaan polttoaineen tuotantokustannukset ja fossiilisten polttoaineiden osalta käytetään niiden keskimääräistä hintatasoa. Meriliikenteessä polttoainekustannukset muodostavat noin 50–60 % alusten operatiivisista kustannuksista⁶⁶, jolloin kuljetushintojen voidaan arvioida kasvavan noin 20 % vuoteen 2030 mennessä ja 45 % vuoteen 2040 mennessä. Mikäli kuljetushintojen kasvu suhteutetaan korkean hintatason fossiilisiin polttoaineisiin, voidaan kuljetushintojen arvioida vastaavasti

66 Stratiotis. (2018). Fuel Costs in Ocean Shipping.

kasvavan 17 % vuoteen 2030 mennessä ja 20 % vuoteen 2040 mennessä. Kustannusvaikutukset kohdistuvat voimakkaammin raskaisiin konttialuksiin ja nopeisiin Ro-Ro aluksiin, joissa polttoaineen kulutus on kovempaa suhteessa muihin alustyyppeihin.

Euroopan parlamentin tutkimuspalvelun mukaan FuelEU Maritime toisi satamille 5,7 miljardin euron ylimääräisen kustannuksen polttoaineensyötön infrastruktuurin rakentamiseksi EU:n tasolla.⁶⁷

4.2 Analyysi FuelEU Maritimen ja päästökaupan vaikutuksista Suomeen ja suomalaisiin toimijoihin

Hankkeen yhteydessä haastateltiin hyvin monesta näkökulmasta ja monipuolisesti erilaisia suomalaisia ja kansainvälisiä asiantuntijoita, yrityksiä, edunvalvontajärjestöjä ja viranomaisia yhteensä 15 kpl. Haastatteluiden tuloksena toimijat arvioivat FuelEU Maritimen yleisiä vaikutuksia Suomeen seuraavasti:

4.2.1 Talviolosuhteet tulisi huomioida paremmin muutoksissa

Talviolosuhteiden nähtiin nostavan FuelEU Maritimen ja päästökaupan kustannusvaikutuksia sekä satamien jäätyminen vuoksi talvisin sekä jäävahvisteisten alusten korkeamman polttoainekulutuksen vuoksi.

4.2.2 FuelEU Maritimen ja päästökaupan vaikutukset kohdentuvat EU:n alueelle ja Suomeen

Vaikka meriliikenne toimiikin globaalissa markkinassa, FuelEU Maritimen ja päästökaupan vaikutukset ovat kuitenkin EU:n sisäisiä, siksi nähtiin tärkeänä, että EU ja Suomi eivät kannu kestävydestä vastuuta ja kustannuksia globaalissa markkinassa yksinään, ja että suomalainen meriliikenteen kilpailukyky säilyy.

⁶⁷ Euroopan parlamentin tutkimuspalvelu (2022). Sustainable maritime fuels - 'Fit for 55' package: The FuelEU Maritime proposal.

Toisaalta tuotiin esille positiivisena asiana, että suomalainen meriliikenne on pääosin ns. feeder-liikennettä ja sen vuoksi kaikkia polttoainevaihtoehtoja ei välttämättä tulevaisuudessa ole tarpeen tarjota tai tankatakaan kaikissa satamissa.

4.2.3 Alalla tarvitaan uudenlaista ajattelua koko arvoketjun ja meriliikenteen toiminnan tehostamisen näkökulmasta

FuelEU ja päästökauppa mahdollistavat ja työntävät myös meriliikennettä tehostamaan toimintaansa, esim. logistiikkaa tulee järkeistää ja uudistaa niin että vältetään yhdensuuntaiset kuljetukset ja tyhjinä kulkevat alukset. Tällöin tulisi katsoa koko logistiikan arvoketjua kokonaisuutena, eikä pelkästään alusten näkökulmasta. Myös loppuasiakkaat pitäisi ottaa mukaan keskusteluun; kehittäminen tulisi tapahtua koko arvoketjun näkökulmasta.

4.3 Analyysi suomalaisten varustamoiden varautumisesta muutoksiin alusinvestointien kautta sekä vaikutus varustamoiden väliseen kilpailuun

Suomalaisen meriliikenteen varautuminen tuleviin muutoksiin nähdään alalla hyvänä, sillä Suomessa hallitustavoitteet EU:n Green Dealin suhteen ovat olleet selkeät ja IMO:n tulevat tavoitteet on jo huomioitu. Meriklusteri sekä LVM pitävät sidosryhmiään aktiivisesti informoituna ja sidosryhmiä tavataan säännöllisesti. Yleisesti ottaen FuelEU Maritime nähtiin positiivisena asiana, sillä se mahdollistaa suomalaisen meriliikenteen profiloimisen ja brändäämisen vihreäksi edelläkävijäksi. Toki toimijoiden näkökulmat ja mielipiteet peilaavat sitä, millainen rooli kyseisellä toimijalla on meriteollisuudessa – teknologian kehittäjä voi nähdä paremmin muutokset liiketoiminnan mahdollistajana, kun taas ne, joihin kustannukset osuvat raskaimmin, esim. rahdin tilaaja, satamat tai operaattorit, voivat olla huolissaan siitä, miten selviytyvät velvoitteista.

Meriliikenteen tulevaisuuden polttoaineiden saatavuus peilautuu alan maksukykyyn, ja esim. biopolttoaineiden saatavuus on haastavaa, sillä monella muulla teollisuuden toimialalla on parempi maksukyky kuin meriliikenteellä. Polttoaineen valmistajat nähtiin keskeisessä roolissa polttoainevaihtoehtojen skaalaamisella, ja siksi heille

tulisi luoda edellytyksiä esim. luvitusten helpottamisen ja kysynnän varmistamisen kautta. Suomessa on tehty pitkäjänteistä työtä kestävyuden, ympäristövaatimusten ja strategisten palveluvaatimusten eteen, joten valmius muutoksiin on hyvällä tasolla.

4.3.1 Energiatehokkailla ja maksukykyisimmillä yrityksillä on parhaat edellytykset selviytyä velvoitteista

Alalla on näkemys, että päästökaupasta selviävät maksukykyiset ja markkinoiden energiatehokkaimmat parhaiten. Pärjääminen riippuu paljon varustamoiden valmistautumisesta ja mahdollisuudesta varautua muutoksiin, maailmalla ja Suomessakin on esimerkkejä yrityksistä, jotka ovat ostaneet erilaisia pieniä startupeja ja panostaneet paljon eri polttoaineisiin. Pienillä toimijoilla voi kuitenkin olla vähän resursseja velvoitteista selviytymiseen, ja siksi sekä konsolidaatiot tai jopa konkurssit voivat olla alalla mahdollisia. Muutostilanteessa vahva tase on luonnollisesti etu.

Haastatteluiden pohjalta sekä tämän projektin yhteenvedona voidaan todeta, että yhtä voittavaa polttoainetta ei tule olemaan, vaan tullaan tarvitsemaan erilaisia ratkaisuita eri alustypeille, eri sukupolven aluksille ja matkoille. Meriliikenteen toimijoilla yhtenä isona kysymyksenä on se, mihin alusteknologioihin tulisi investoida ja miten varmistaa alusten jälleenmyyntiarvo myös tulevaisuudessa ja mitä nykyisille aluksille tulee käymään. Yksi vahva markkinoiden näkemys on, että kestävyuden kehitys tulee lyhentämään alusten elinkaarta. Moni haastateltava koki, että teknologia on vielä hyvin kypsymätöntä, ja välimatkan kurominen on haastavaa. Koska ennakointi on vaikeaa ja kustannusten pelätään nousevan liian nopeasti, voi olla, että osa toimijoista voisi olla valmis maksamaan rangaistuksen perinteisistä polttoaineista. Riippumatta siitä, kuinka korkeat kustannukset tulevat olemaan, meriliikenteen toimijat olivat sitä mieltä, että loppuasiakkaat ja rahtaajat tulevat maksamaan loppulaskun.

4.3.2 Alusteknologiainvestointeihin liittyvä epävarmuus on globaali

Monilla suomalaisen meriliikenteen toimijoilla on huoli siitä, mitä nykyisille aluksille tapahtuu, jos ne eivät pääse vaadittuihin päästöihin ja miten nämä alukset säilyttävät jälleenmyyntiarvonsa. Tämän vuoksi he ovat haluttomia tekemään alusinvestointeja, koska he pelkäävät alusten elinkaaren lyhenemistä ja jälleenmyyntiarvon heikkenemistä tilanteessa, jossa voittavat polttoaineet eivät ole selvillä eikä kysyntää markkinoilla ole varmistettu. Alusteknologian valmistajat rakentavat tarjoamaa, jonka

avulla alusten teknologiaa voidaan päivittää tarvittaessa vauhdissa, mutta silti heillä on epävarmuus siitä, mikä päivityksen hinta tulee olemaan.

4.3.3 Asiakasvaatimukset ja saatavilla oleva rahoitus ovat työntävä voima vihreille investoinneille

On muistettava, että markkinaa eteenpäin työntävä voima ei ole ainoastaan regulaatio mutta myös vahvasti asiakasvaatimukset sekä rahoitus. Yhä useampi meriliikenteen asiakas vaatii kestäviä ratkaisuita, ja kilpailuetu voi olla kokonaan kestävä logistiikkaketju, johon toimittajan täytyy pystyä tuottamaan kestäviä ratkaisuita. Näiden vaatimusten takana on puolestaan myös pankit ja rahoituslaitokset, jotka ovat alkaneet vaatia lainan saamisen tai matalamman koron tarjoamisen edellytykseksi kestäviä ratkaisuita (esim. Poseidon Principles).

4.4 Arvio vaatimusten mahdollisesti aikaansaamista uusista liiketoimintamahdollisuuksista suomalaisille toimijoille

FuelEU Maritime ja päästökauppa luovat uusia mahdollisuuksia ja uusia markkinoita EU:n sisällä. Kaikista haasteista huolimatta alalla on vahva näkemys siitä, että ne vaatimukset vievät alaa eteenpäin ja tuottavat uusia liiketoimintamahdollisuuksia suomalaiselle meriliikenteelle. Kuten aiemmin todettiin, suomalaisella meriliikenteellä on hyvä mahdollisuus profiloitua alan vihreäksi edelläkävijäksi brändinäkökulmasta.

Uudet säädökset antavat suomalaiselle meriliikenteelle ja toimijoille mahdollisuuksia uuden teknologian ja tekniikan kehittämiseen, uusia ratkaisuita kiertotalouteen, vihreään teknologiaan ja uusiin innovaatioihin koko arvoketjun näkökulmasta.

Vaikka FuelEU Maritime ja päästökauppa kohdentuvatkin päästöintensiteettiin ja sitä kautta polttoaineisiin, ne luovat samalla insentiivin myös energiankäytön tehostamiseen sekä muiden energiamuotojen kehittämiseen ja käyttöönottoon (esim. tuuli ja aurinko). Laivasuunnittelutoimistoille tulee uutta työtä alusten suunnitteluun, koska suunnittelutyö tehdään aluskohtaisesti. Polttoainevalmistajilla on avautumassa uudet markkinat, esim. bio- ja sähköisten polttoaineiden kautta. Säädös ja päästökauppa luovat insentiiviin ajaa aluksia energiatehokkaammin ja luoda uusia

ratkaisuita digitalisaation ja automatisaation kautta. Myös infran kehittäminen luo uusia mahdollisuuksia erilaisille toimijoille.

Jotta ala kuitenkin pääsee kehittymään ja kehittämään uutta liiketoimintaa, tarvitaan kuitenkin uudenlaista osaamista ja osaamisen törmäyttämistä monipuolisesti esim. uusien teknologioiden, infran, liiketoiminnan, turvallisuuden ja palveluiden kehittämiseen. Markkinan kehittäminen ei voi tapahtua yksittäisen toimijan taholta, vaan meriliikenteen uudistaminen ja muutos on niin valtava kokonaisuus, että siinä tarvitaan niin Suomen kuin globaalinkin markkinan näkökulmasta kumppanuuksia, verkostoja, ekosysteemeitä sekä yhteistyötä ja yhteiskehittämistä.

5 Yhteenveto ja johtopäätökset

FuelEU Maritimen KHK-intensiteettivaatimusten täyttäminen edellyttää uusien synteettisten polttoaineiden, kuten e-ammoniakin ja e-metanolin, merkittävää käyttöä. Nykyisin käytettäviä fossiilisia polttoaineita tulee korvata pienissä määrin vaihtoehtoisilla ratkaisuilla jo vuoteen 2025 mennessä. LNG:llä voisi korvata muita fossiilisia polttoaineita pääosin vuoteen 2030 asti, jonka jälkeen synteettisten polttoaineiden tai biopolttoaineiden osuutta on kasvatettava. LNG:n laskennallisen KHK-intensiteetin määrittämiseen liittyy vielä epävarmuuksia, millä on merkitystä LNG:n mahdollisuuksiin saavuttaa päästövähennyksiä.

Yleisesti merenkulkualalla ei ole tunnistettu selkeää voittavaa tulevaisuuden polttoainetta, ja siksi polttoainejoustavuuteen panostetaan. Synteettisistä polttoaineista erityisesti e-ammoniakin ja e-metanolin on arvioitu saavan merkittävän osuuden meriliikenteestä vuoteen 2050 mennessä isoissa, pitkien välimatkojen aluksissa. Tällä hetkellä biopolttoaineet ovat edullisempia kuin synteettiset, ja osa biopohjaisista polttoaineista soveltuu jo sellaisenaan nykyisin käytössä oleviin moottoreihin. Haasteena ympäristön kannalta kestävästi tuotetuissa biopolttoaineissa on kuitenkin niiden saatavuuden rajallisuus sekä ohjautuminen myös muualle liikenteeseen ja eri teollisuudenaloille. Tästä syystä tulevaisuuden ratkaisuiden on arvioitu pohjautuvan pääosin synteettisiin polttoaineisiin kuten e-metanoliin, e-ammoniakiin ja nesteytettyyn e-metaaniin, vaikka biopolttoaineilla onkin roolinsa myös tulevaisuudessa. Lyhyttä välimatkaa kulkevat tai pienikokoiset alukset käyttävät todennäköisemmin kuitenkin vetyä tai sähköä käyttövoimanaan.

Lopulliset tulevaisuuden polttoaineet ja niiden markkinaosuudet isoissa, pitkien välimatkojen aluksissa on eri ekosysteemien välisen taistelun tulos, johon muilla teollisuudenaloilla tapahtuvilla päätöksillä ja kehityssuunnilla on merkittävä vaikutus. Meriteollisuudessa valmistaudutaankin joustavuuteen, jotta useita eri polttoainevaihtoehtoja voitaisiin hyödyntää ja suurien satamien polttoainetarjonta olisi riittävän monipuolinen. Synteettisistä polttoaineista e-metanoli ja nesteytetty e-metaani vaativat hiilidioksidin talteenottoa, jonka kehittämisessä on avainasemassa yleinen hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin kehittyminen teollisuuden käytössä. Ilman tätä kehityssuuntaa ei meriliikenteen nähdä saavuttavan merkittäviä määriä hiilipohjaisia synteettisiä polttoaineita. Toisaalta myös jonkin nyt taka-alalla olevan teknologian kehittyminen voi vielä muuttaa tulevaisuuden pelikenttää, kuten esimerkiksi leväpohjaiset biopolttoaineet tai ydinkäyttöiset alukset.

Infrastruktuurin näkökulmasta ammoniakin ja metanolin käyttöä tukee se, että niillä on jo olemassa olevat toimitus- ja jakeluketjut palvelemissa teollisuuden tarpeita, vaikka niiden tuotanto perustuukin tällä hetkellä suurelta osin fossiilisiin polttoaineisiin.

Metanolin osalta olemassa olevaa polttoaineinfrastruktuuria voidaan sopeuttaa metanolin käyttöön, sen käsittely on yksinkertaisempaa verrattuna esimerkiksi alhaisen jäähtymistilan vaativaan LNG:hen tai myrkylliseen ammoniakiin, ja sen käyttämisestä laivapolttoaineena on kaupallisen mittakaavan kokemuksia. Ammoniakki on tarkastelluista polttoaineista myrkyllisin, sen käsittely vaatii erityisiä turvatoimia ja sen käyttäminen polttoaineena on vielä pilotointiasteella. Kuitenkin ammoniakki on polttoaineista ainoa, jonka tuottamiseen synteettisesti ei vaadita erillistä hiilidioksidin talteenottojärjestelmää, ja on riippumattomampi muiden teollisuudenalojen kehityssuunnista. Ammoniakkia ei kuitenkaan nähdä voitavan käyttää matkustajaliikenteessä. LNG:lle, ja siten myös nesteytetylle e-metaanille puolestaan on olemassa olevaa infrastruktuuria maailmanlaajuisesti, sen kehitykseen on myös Suomessa panostettu, ja osa Suomessakin liikennöivistä aluksista jo käyttävät LNG:tä polttoaineenaan.

Suomen tulevaisuuden kannalta ei voida tehdä muusta maailmasta ja globaaleista toimijoista merkittävästi eriävää ratkaisua alusten polttoainevalinnoissa, jotta alusten käytettävyys ja jälleenmyyntiarvo säilyisi. Tästä syystä työssä luotiin kustannustarkastelua varten kolme skenaarioita, joissa 1) nesteytetyllä e-metaanilla 2) e-metanolilla ja 3) e-ammoniakilla olisi merkittävä markkinaosuus vuonna 2050 siten, että Fuel EU Maritimen vaatimukset saavutettaisiin vuodesta 2025 eteenpäin. LNG:llä arvioitiin olevan merkittävä rooli väliratkaisuna (lopullisen EU Fuel Maritimen niin salliessa) kaikissa skenaarioissa, sillä se mahdollistaisi loivemman kustannustason nousun edullisesta hinnasta ja Suomessa jo olemassa olevasta infrastruktuurin hyödyntämismahdollisuudesta johtuen. Ammoniakin osalta sen käyttöä skenaariotarkastelussa on rajoitettu siten, ettei sitä käytettäisi matkustaja-aluksissa.

E-ammoniakin tuottamisen on arvioitu olevan synteettisistä vaihtoehdoista edullisinta, jolloin skenaariossa 3 on mahdollista päästä pienimpään kustannustason nousuun. Infrastruktuuriin ja alusten moottoriratkaisuihin liittyvät kustannukset ovat kuitenkin vielä epäselvät, ja niiden on arvioitu olevan metanolia ja LNG:tä korkeammat. E-metanolin tuottaminen on nesteytettyä e-metaania hieman edullisempaa, mutta molempien skenaarioiden kustannustason nousu on samaa suuruusluokkaa johtuen e-metaanin rajallisesta mahdollisuudesta täyttää vuoden 2050 KHK-intensiteettivaatimus.

Synteettisiä polttoaineita arvioidaan voitavan tuottaa fossiilisiin polttoaineisiin nähden kilpailukykyisesti osin jo vuonna 2030, mikäli fossiilisten polttoaineiden nykyhetken korkeat hintatasot säilyvät ja päästöoikeuksien hinta on 100 €/tCO₂ suuruusluokkaa. Kokonaisuudessaan synteettisten polttoaineiden keskimäärisiin tuotantokustannusarvioihin perustuen ja päästöoikeuksien hinnat huomioiden polttoaineiden kustannustason on arvioitu nousevan 35–40 % vuoteen 2030

mennessä ja 70–90 % vuoteen 2040 mennessä skenaariosta riippuen, kun oletuksena käytetään fossiilisten polttoaineiden keskimääräistä hintatasoa. Mikäli kustannustason nousua verrataan nykyhetken (kevät 2022) korkeisiin polttoainehintoihin, on tähän suhteutettuna polttoaineiden kustannustason nousu arviolta 30 % vuoteen 2030 mennessä ja 30–40 % vuoteen 2040 mennessä.

Tarkasteluissa on kuitenkin huomioitava, että aluksessa käytettävään polttoaineen kustannukseen vaikuttaa myös infrastruktuuriin tarvittavat kustannukset, joita ei tässä työssä ole tarkasteltu laskennallisesti. Lopullinen polttoaineen hinta määräytyy kysynnän ja tarjonnan mukaan, eikä tässä työssä ole tuotettu arvioita markkinahinnoista, vaan keskitytty kustannustasojen vertailuihin, mikä on eri asia kuin lopullinen polttoaineen hinta. Lisäksi aluskohtaisesti eri polttoainevalinnoilla on vaikutusta myös sen käytettävissä olevaan tilaan. Ammoniakki vaatii nelinkertaisen tilan, LNG kaksinkertaisen ja metanoli kaksi ja puolikertaisen tilan tyyppilliseen fossiiliseen polttoaineeseen verrattuna. Nämä tekijät vaikuttavat alusinvestointien ja polttoaineen hinnan lisäksi lopullisiin kuljetushintoihin.

Tulevaisuuden polttoaineisiin liittyvien epävarmuuksien johdosta monilla suomalaisen meriliikenteen toimijoilla on huolia sekä siitä, mitä nykyisille aluksille tapahtuu, jos ne eivät pääse vaadittuihin päästötavoitteisiin, että siitä miten alusten jälleenmyyntiarvo voidaan varmistaa. Osa toimijoista on valmiita maksamaan rangaistuksia perinteisten polttoaineiden käytöstä, koska kehityksen ennakointi nähdään vaikeana ja kustannusten pelätään nousevan liian nopeasti. Kaikista haasteista huolimatta alalla on vahva näkemys siitä, että FuelEU Maritimen vaatimukset vievät alaa eteenpäin ja tuottavat uusia liiketoimintamahdollisuuksia suomalaiselle meriliikenteelle. Muutostilanteessa ne varustamot ja toimijat, joilla on vahva tase ovat kuitenkin etulyöntiasemassa valmistautuessaan tulevaisuuteen. Lisäksi energiatehokkaat alukset saavat polttoaineiden hintatason noususta kilpailuetua. Pienet toimijat voivat kuitenkin ajautua jopa konkurssiin.

FuelEU Maritime ja päästökauppa nähtiin työssä tehtyjen haastatteluiden pohjalta yleisesti ottaen positiivisena asiana alalle. Haasteista ja epävarmuuksista huolimatta uudet säädökset uudistavat EU:n markkinoita sekä tuovat uusia liiketoimintamahdollisuuksia. Suomalaisella meriliikenteellä on mahdollisuus erottautua markkinoista ja luoda kilpailuetua alan vihreänä edelläkävijänä ja uudistajana. Toki haastateltavan rooli vaikuttaa siihen, kuinka positiivisena muutos nähdään; uuden teknologian kehittäjille muutokset ovat valtava mahdollisuus, kun taas niille, jotka kantavat isoimman osan kustannuksista, kuten rahdin tilaaja, operaattorit tai satamat, voivat olla huolissaan kustannusten suuruudesta ja velvoitteista selviytymisestä.

Erilaisia uusia liiketoimintamahdollisuuksia avautuu koko meriliikenteen arvoketjulle uusien teknologioiden kehittämisen, kiertotalouden sekä innovaatioiden avulla. Päästökauppa ei pelkästään vaikuta tulevaisuuden polttoainevalintoihin, vaan se luo myös uusia mahdollisuuksia energiankäytön tehostamiseen sekä muiden energiamuotojen käyttämiseen. Niin laivasuunnittelijat, polttoainevalmistajat, infran kehittäjät kuin digitaalisten ja automatisoitujen ratkaisuiden kehittäjätkin voivat innovoida sekä kehittää ihan uudenlaisia ratkaisuita alusten suunnitteluun, infran rakentamiseen sekä energiatehokkuuteen. Logistiikassa puolestaan joudutaan miettimään kuljetuksien tehostamista ja järjeistämistä koko kuljettamisen arvoketjun näkökulmasta, missä voidaan välttää tyhjänä kulkevia aluksia tai suunnitella alusten lastaamista ja purkamista paremmin, niin ettei alusten tarvitse turhaan odotella satamissa. Voikin olla, että tulevaisuudessa koko logistiikkaketju integroituu niin maakuljetuksineen kuin merikuljetuksineen, missä kokonaan kestävä logistiikkaketju voi tuottaa merkittävän kilpailuedun. Koska muutos on valtava koko toimialalle, muutosta ei voi tehdä yksittäisen toimijan tai arvoverkon roolin kautta – muutoksen läpivienti ja uusien liiketoimintamahdollisuuksien rakentaminen vaatii niin suomalaista, eurooppalaista kuin globaaliakin yhteistyötä ja yhteiskehittämistä, ekosysteemeitä, kumppanuuksia sekä verkostojen hyödyntämistä.

Lopuksi on pidettävä myös mielessä, että sääntelyn lisäksi myös asiakkaat ja rahoituslaitokset vievät markkinoita eteenpäin. Pankit ja rahoituslaitokset ovat alkaneet vaatia kestäviä ratkaisuita lainan saamisen tai matalamman koron tarjoamisen edellytyksenä. Tulevaisuudessa toimijoiden on myös pystyttävä osoittamaan, että rahoituksen kannalta kestävyysvaatimukset on hoidettu rahoituksen edellyttämällä tavalla.

Asiantuntijahaastattelut

Anita Mäkinen. Johtava asiantuntija, Trafikom. Haastateltu 9.5.2022.

Anita Silanterä. Johtava asiantuntija, Työ- ja elinkeinoministeriö. Haastateltu 2.5.2022.

Elina Andersson. Toimitusjohtaja, Meriteollisuus ry. Haastateltu 14.4.2022.

Emmi Nykänen. Erityisasiantuntija, Työ- ja elinkeinoministeriö. Haastateltu 2.5.2022.

Heikki Korpi. Johtava asiantuntija, Wärtsilä. Haastateltu 4.5.2022.

Jacob Granqvist. Johtaja, meriliikenne, Gasum. Haastateltu 27.4.2022.

Jarkko Toivola. Merenkulun johtava asiantuntija, Väylävirasto. Haastateltu 9.5.2022.

Jessica Saari. Sales Director, Projects, Meriaura. Haastateltu 26.4.2022.

Jukka Kuuskoski. Chief Sales Officer, Norsepower. Haastateltu 28.4.2022.

Jussi Mälkiä. Hallituksen puheenjohtaja, Meriaura. Haastateltu 26.4.2022.

Kaj Portin. General Manager, Sustainable Fuels & Decarbonisation, Wärtsilä. Haastateltu 4.5.2022.

Kirsti Tarnanen-Sariola. Apulaisjohtaja, Satamaliitto. Haastateltu 22.4.2022.

Markku Mylly. Entinen EMSA:n pääjohtaja. Haastateltu 2.5.2022.

Mikki Koskinen. Managing Director, ESL shipping. Haastateltu 2.5.2022.

Pekka Kouhia. Lakimies, Trafikom. Haastateltu 9.5.2022.

Tero Poutala. Lakimies, Trafikom. Haastateltu 9.5.2022.

Torben Nørgaard. Head of Energy & Fuels, Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping. Haastateltu 10.5.2022.

Torbjörn Henriksson. Senior Advisor, Wärtsilä. Haastateltu 4.5.2022.

Lähteet

AFRY. (2021). Metsähakkeen kysynnän kehitys ja riittävyys Suomessa. Raportti Työ- ja elinkeinoministeriölle ja Huoltovarmuuskeskukselle 4/2021. Saatavilla: https://afry.com/sites/default/files/2021-05/afry_metsahakkeen_kysynnän_kehitys_ ja_riittävyys_suomessa_loppuraportti.pdf.

Asetus 2015/757. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus meriliikenteen hiilidioksidipäästöjen tarkkailusta, raportoinnista ja todentamisesta sekä direktiivin 2009/16/EY muuttamisesta. Annettu 29.04.2015. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/fi/TXT/?uri=CELEX:32015R0757>.

Bloomberg NEF. (2020). Hydrogen Economy Outlook - Key Messages. Saatavilla: <https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/BNEF-Hydrogen-Economy-Outlook-Key-Messages-30-Mar-2020.pdf>.

Cames, M., Wissner, N., Sutter, J. (2021). Ammonia as a marine fuel, risks and perspectives. Öko Institut e.V. Saatavilla: <https://en.nabu.de/imperia/md/content/nabude/verkehr/210622-nabu-study-ammonia-marine-fuel.pdf>.

Direktiivi 2018/2001. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämiseksi. Annettu 11.12.2018. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/fi/TXT/?uri=CELEX:32018L2001>.

DNV GL. (2020). Maritime forecast to 2050, Energy transition outlook 2020. Saatavilla: <https://eto.dnv.com/2021/maritime-forecast-2050/about>.

DNV. (2022). Alternative ship fuels – Status and Outlook. DNV Webinaari 28.4.2022.

EBA. (2021). EBA Statistical Report 2021. Verkkojulkaisu. Viitattu 15.5.2022. Saatavilla: <https://www.europeanbiogas.eu/eba-statistical-report-2021/>.

EBA. (2022). Breaking Free of the Energy Dependency Trap. Delivering 35 BCM of biomethane by 2030. Saatavilla: <https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2022/04/REPowerEU-with-biomethane-EBA.pdf>.

Elomatic. (2020). Ways to decarbonize shipping. Raportti Meriteollisuus Ry:lle Saatavilla: <https://www.elomatic.com/ways-to-decarbonize-shipping/>.

ETIP bioenergy. (2017). Marine Biofuels. Biofuel Fact Sheet. Saatavilla: https://www.etipbioenergy.eu/images/ETIP_Bioenergy_Factsheet_Marine_Biofuels.pdf.

Euractiv. (2021). Will RED III fuel a revolution for renewable energy in road transport?. Verkkojulkaisu. Viitattu 24.5.2022. Saatavilla: <https://www.euractiv.com/section/biofuels/opinion/will-red-iii-fuel-a-revolution-for-renewable-energy-in-road-transport/>.

Euroopan komissio. (2021). EU agricultural outlook for markets, income and environment 2021-2031. European Commission, DG Agriculture and Rural Development, Brussels. Saatavilla: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/food-farming-fisheries/farming/documents/agricultural-outlook-2021-report_en.pdf.

Euroopan komissio. (2021). Proposal for a COUNCIL DIRECTIVE restructuring the Union framework for the taxation of energy products and electricity (recast). Viitattu 23.08.2022. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0563>.

Euroopan Parlamentin teollisuus- tutkimus ja energiavaliokunta. (2022). DRAFT OPINION of the Committee on Industry, Research and Energy, for the Committee on Transport and Tourism, on the proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council The use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport and amending Directive 2009/16/EC. Saatavilla: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/ITRE-PA-704703_EN.pdf.

Euroopan Parlamentti. (2022). Sustainable maritime fuels - 'Fit for 55' package: The FuelEU Maritime proposal. Saatavilla: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/698808/EPRS_BRI\(2021\)698808_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/698808/EPRS_BRI(2021)698808_EN.pdf)

European Environmental Agency. (2021). LNG facilities in the EU. Verkkojulkaisu. Viitattu 25.5.2022. Saatavilla: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/lng-facilities-in-the-eu>.

Eurostat. (2022). Electricity production, consumption and market overview. Saatavilla: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_production,_consumption_and_market_overview.

Finska, L., Ringbom H. (2022). Regulation of GHGs from Ships On the available discretion for regulatory solutions in a European and Finnish perspective. Åbo Akademi

University. Saatavilla: https://www.centrumbalticum.org/files/5185/Regulation_of_GHGs_from_ships_final.pdf.

Flach, B., Lieberz, S., Bolla, S. (2021). Biofuels annual. United States Departure of Agriculture, Foreign Agricultural Service. Saatavilla: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Biofuels%20Annual_The%20Hague_European%20Union_06-18-2021.pdf.

FuelsEurope. (2021). Statistical report 2021. Saatavilla: <https://www.fuelseurope.eu/publication/fuelseurope-statistical-report-2021/>.

Global LNG Hub. (2022). Weekly review of natural gas and LNG prices. Verkkojulkaisu. Viitattu 1.6.2022. Saatavilla: <https://globallnghub.com/weekly-review-of-natural-gas-and-lng-prices.html>.

Harakka, T., Sarlin, L. (2021). Valtioneuvoston U-kirjelmä U 51/2021 vp. Valtioneuvoston kirjelmä eduskunnalle komission ehdotuksesta Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukseksi uusiutuvien ja vähäpäästöisten polttoaineiden käytöstä meriliikenteessä ja direktiivin 2009/16/EY muuttamisesta (NK. FUELEU MARITIME). Saatavilla: https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/Kirjelma/Sivut/U_51+2021.aspx.

Hydrogen Roadmap Europe. (2018). A sustainable pathway for the European energy transition. Saatavilla: https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf.

IEA Bioenergy. (2017). Biofuels for the marine shipping sector. An overview and analysis of sector infrastructure, fuel technologies and regulations. Saatavilla: <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/02/Marine-biofuel-report-final-Oct-2017.pdf>.

IEA Bioenergy. (2017). Drop-in biofuels for international marine and aviation markets. Summary and conclusions from the IEA Bioenergy ExCo78 workshop. Saatavilla: <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2017/04/ExCo78-Drop-in-biofuels-for-marine-and-aviation-markets.pdf>.

IEA. (2020). Advanced Biofuels – Potential for Cost Reduction. IEA Bioenergy: Task 41: 2020:01. Saatavilla: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2020/02/T41_CostReductionBiofuels-11_02_19-final.pdf.

IEA. (2022). Advanced motor fuels. Verkkojulkaisu. Viitattu 14.5.2022. Saatavilla: https://www.iea-amf.org/content/fuel_information/fatty_acid_esters/compatibility.

IMO. (2021a). Intersessional meeting of the working group on reduction of GHG emissions from ships. ISWG-GHG 9/2. 9th session, Agenda item 2. International Maritime Organization (IMO).

IMO. (2021b). Further shipping GHG emission reduction measures adopted. Verkkojulkaisu. Viitattu 2.6.2022. Saatavilla: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/MEPC76.aspx>.

IRENA AND METHANOL INSTITUTE. (2021). Innovation Outlook: Renewable Methanol. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Saatavilla: <https://www.irena.org/publications/2021/Jan/Innovation-Outlook-Renewable-Methanol>.

IRENA. (2021). A Pathway to Decarbonize the Shipping Sector by 2050. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Saatavilla: <https://www.irena.org/publications/2021/Oct/A-Pathway-to-Decarbonise-the-Shipping-Sector-by-2050>.

Liikennefakta. (2021). Liikenteen kasvihuonekaasupäästöt ja energiankulutus. Verkkojulkaisu. Saatavilla: <https://liikennefakta.fi/fi/ymparisto/liikenteen-kasvihuonekaasupaastot-ja-energiankulutus>.

Lowell, D., Wang, H., Lutsey, N. (2013). Assessment of the fuel cycle impact of liquefied natural gas as used in international shipping. White Paper. International Council on Clean Transportation. Saatavilla: https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTwhitepaper_MarineLNG_130513.pdf.

LVM. (2021). Fossiilittoman liikenteen tiekartta. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 2021:15. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-588-0>.

Maa- ja metsätalousministeriö. (2022). Biomassan kestävyyskriteerit. Verkkojulkaisu. Viitattu 15.5.2022. Saatavilla: <https://mmm.fi/metsat/puun-kaytto/biomassojen-kestavyys>.

Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping. (2021). Position Paper, Fuel Option Scenarios. Saatavilla: https://cms.zerocarbonshipping.com/media/uploads/documents/Fuel-Options-Position-Paper_Oct-2021_final.pdf.

Methanol Institute. (2019). SIEW Roundtable; Methanol as a marine fuel report. Saatavilla: <https://www.siew.gov.sg/docs/default-source/presentations/Methanol-as-a-Marine-Fuel-October-by-Timothy-Chan>.

Navigator magazine. (2021). Helsingin Eteläsataman maasähkö otettiin käyttöön. Verkkojulkaisu. Viitattu 15.5.2022. Saatavilla: <https://navigatormagazine.fi/uutiset/satamat-ja-logistiikka/helsingin-etelasataman-maasahko-otettiin-kayttoon/>.

Panoutsou, C., Germer, S., Karka, P., Papadokostantakis, S., Kroyan, Y., Wojcieszuk, M., Maniatis, K., Marchand, P., Landalv, I. (2021). Advanced biofuels to decarbonise European transport by 2030: Markets, challenges, and policies that impact their successful market uptake. Energy Strategy Reviews, volume 34. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100633>.

Pariisin sopimus. (2019). Pariisin sopimuksen päätös 18/CMA.1, liitteen osa II, kohta D, pykälä 37. Saatavilla: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2018_3_add2_new_advance.pdf#page=25.

Prussi, M., Panoutsou, C., Chiaramonti, D. (2022). Assessment of the Feedstock Availability for Covering EU Alternative Fuels Demand. Appl. Sci. 2022, 12, 740. Saatavilla: <https://doi.org/10.3390/app12020740>.

Salimbeni, A. (2021). Overview on biofuels production facilities and technologies in Europe. Deliverable 3.1 - BIKE project. Saatavilla: https://www.bike-biofuels.eu/wp-content/uploads/2021/09/20210914_BIKE_D3.1_4.0_REC.pdf.

Seppälä, J., Heinonen, T., Kilpeläinen, A., Peltola, H., Pukkala, T., Sihvonen, M., Soimakallio, S., Weaver, S., Vesala, T., Ollikainen, M. (2022). Metsät ja ilmasto: Hakkuut, hiilinielut ja puun käytön korvaushyödyt. Suomen ilmastopaneelin raportti 3/2022. Saatavilla: <https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2022/05/ilmastopaneelin-raportti-3-2022-metsat-ja-ilmasto-hakkuut-hiilinielut-ja-puun-kayton-korvaushyodyt.pdf>.

Ship&Bunker. (2022). Global Average Bunker Price. Verkkojulkaisu. Viitattu 1.6.2022. Saatavilla: <https://shipandbunker.com/prices/av/global/av-glb-global-average-bunker-price#MGO>.

Sjöfartsverket. (2022). Designen klar för Sveriges nya isbrytare. Verkkojulkaisu. Viitattu 17.6.2022. Saatavilla: <https://www.sjofartsverket.se/sv/om-oss/nyheter-och-press/nyheter/designen-klar-for-sveriges-nya-isbrytare/>

Sjöfartsverket. (2021). Fossilfri flotta. Regeringsuppdrag at tatt analysera och föreslå hur myndighetens båt- och fartygsflotta skulle kunna bli fossilfri. Saatavilla: <https://www.sjofartsverket.se/globalassets/rapporter-och-remissvar/rapporter-och-remissvar-2021/sjofartsverket-regeringsuppdrag-fossilfri-fartygsflotta---rapport.pdf>

Stratiotis, E. (2018). Fuel Costs in Ocean Shipping. More Than Shipping. Verkkojulkaisu. Viitattu 1.6.2022. Saatavilla: <https://www.morethanshipping.com/fuel-costs-ocean-shipping/>.

Suomen Satamaliitto ry. (2021). Maasähkön investointikustannuksia on tarpeen täsmentää. Verkkojulkaisu. Viitattu 25.5.2022. Saatavilla: <https://www.satamaliitto.fi/fin/ajankohtaista/lausunnot/2021/10/maasahkon-investointikustannuksia-on-tarpeen-tasmentaa/>.

Svensk Sjöfart. (2019). Färdplan för fossilfri konkurrenskraft: Sjöfartsnäringen. Saatavilla: <https://www.sweship.se/wp-content/uploads/2019/03/190319-Sj%C3%B6fartsn%C3%A4ringens-f%C3%A4rdplan-f%C3%B6r-fossilfri-konkurrenskraft.pdf>

TEM. (2017). Epäsuoria maankäytön muutoksia koskevan ILUC-direktiivin kansallinen täytäntöönpano. Työryhmän väliraportti. Saatavilla: <https://tem.fi/documents/1410877/2132292/ILUC-ty%C3%B6ryhm%C3%A4n+v%C3%A4liraportti+lopullinen/8a1d1a4d-e5b6-4ad3-884f-46ee99f115c1>.

TEM. (2020). Biokaasuohjelmaa valmisteleavan työryhmän loppuraportti. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2020:3. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-482-2>.

Transport & Environment. (2021). 10 years of EU fuels policy increased EU's reliance on unsustainable biofuels. Saatavilla: <https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/08/Biofuels-briefing-072021.pdf>.

Van der Maas. (2020). Assessment and comparison of alternative marine fuels towards the decarbonization of port of Amsterdam. Masters' thesis, Utrecht University. Saatavilla: <https://h2ships.org/wp-content/uploads/2020/10/ASSESSMENT-AND-COMPARISON-OF-ALTERNATIVE-MARINE-FUELS.pdf>.

Wärtsilä. (2020). Mind the methane gap. Verkkojulkaisu. Viitattu 13.5.2022. Saatavilla: <https://www.wartsila.com/insights/article/mind-the-methane-gap>.

Twitter: @lvm.fi
Instagram: lvmfi
Facebook.com/lvmfi
Youtube.com/lvm.fi
LinkedIn: Liikenne- ja viestintäministeriö

lvm.fi