

Meriliikenteen vaihtoehtoiset käyttövoimat

Selvitys vaihtoehtoisten käyttövoimien
ja polttoaineiden jakeluinfrastruktuurin
kehittämistarpeista satamissa

Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2022:12

Meriliikenteen vaihtoehtoiset käyttövoimat

Selvitys vaihtoehtoisten
käyttövoimien ja polttoaineiden
jakeluinfrastruktuurin
kehittämistarpeista satamissa

Jaakko Takala, Jouni Kivirinne, Soile Bäckström, Ville Leino

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-SA 4.0

ISBN pdf: 978-952-243-897-3

ISSN pdf: 1795-4045

Taitto: Valtioneuvoston hallintoyksikkö, Julkaisutuotanto

Helsinki 2022

Meriliikenteen vaihtoehtoiset käyttövoimat Selvitys vaihtoehtoisten käyttövoimien ja polttoaineiden jakeluinfrastruktuurin kehittämistarpeista satamissa

Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2022:12

Julkaisija Liikenne- ja viestintäministeriö

Tekijä/t Jaakko Takala, Jouni Kivirinne, Soile Bäckström, Ville Leino

Kieli Suomi **Sivumäärä** 117

Tiivistelmä

Itämerellä potentiaalisimpia vaihtoehtoisia käyttövoimia ovat erilaiset akkuteknologioita hyödyntävät propulsiojärjestelmät ja vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttö. Päästöjen vähentämisen keskiössä on synteettisten polttoaineiden käyttöönotto, mutta myös muita vaihtoehtoisia polttoaineita tullaan käyttämään alueen meriliikenteessä.

Pyrkimys meriliikenteen päästöjen vähentämiseen luo merkittäviä investointipaineita Suomen satamille ja varustamoille. Investointien markkinaehtoinen toteutuminen edellyttää markkinan laajaa muuttumista muun muassa regulaation kautta. Myös kansallisia tukitoimia vaaditaan päästövähennystoimien toteutumiseksi. Tukitoimissa tulee ottaa huomioon kansainvälisten päästövähennystoimien pääasiallinen kohdistuminen keskisuuriin sekä suuriin aluksiin, mikä rajaa toimien ulkopuolelle merkittävän osan Suomen laivaliikenteestä.

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

Asiasanat meriliikenne, merenkulku, satamat, polttoaineet, sähkö, akut, jakeluinfrastruktuuri

ISBN PDF 978-952-243-897-3 **ISSN PDF** 1795-4045

Asianumero VN/26278/2020 **Hankenumero** LVM082:00/2020

Julkaisun osoite <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-897-3>

Alternativa drivkrafter inom sjöfarten

Utredning om behoven att utveckla alternativa drivkrafter och infrastrukturen för alternativa bränslen i hamnarna

Kommunikationsministeriets publikationer 2022:12

Utgivare Kommunikationsministeriet

Författare Jaakko Takala, Jouni Kivirinne, Soile Bäckström, Ville Leino

Språk finsk

Sidantal 117

Referat Propulsionssystem som drivs av batteriteknologi och användning av alternativa bränslen är alternativa energikällor med mest potential på Östersjön. Ibrukttagandet av syntetiska bränslen spelar en central roll i minskningen av utsläpp men även andra alternativa bränslen kommer att användas i områdets sjötransport

Strävan efter att minska på utsläppen inom sjöfarten skapar ett betydande investeringstryck på finska hamnar och rederier. Ett marknadsmässigt genomförande av investeringar kräver en omfattande förändring av marknaden genom bland annat reglering. Även nationella stödåtgärder krävs för att utsläppsåtgärderna ska genomföras. I stödåtgärderna bör man ta i beaktande det faktum att internationella utsläppsåtgärder i huvudsak riktar sig till medelstora och stora fartyg, vilket utesluter en betydande del av den finska fartygstrafiken.

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.

Nyckelord sjöfart, sjötransport, alternativt bränsle, landström, distributionsinfrastruktur

ISBN PDF 978-952-243-897-3

ISSN PDF 1795-4045

Ärendenr. VN/26278/2020

Projektnr. LVM082:00/2020

URN-adress <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-897-3>

Alternative propulsion for maritime transport

Study on the development needs of alternative propulsion and fuel distribution infrastructure in ports

Publications of the Ministry of Transport and Communications 2022:12

Publisher Ministry of Transport and Communications

Author(s) Jaakko Takala, Jouni Kivirinne, Soile Bäckström, Ville Leino

Language Finnish **Pages** 117

Abstract

In the Baltic Sea, the most potential alternative power sources are propulsion systems utilising battery technologies and the introduction of alternative fuels. Especially vital for reducing emissions is the introduction of synthetic fuels, but also other alternative fuels will be used in maritime transport in the region.

The efforts to reduce emissions from maritime transport is generating significant investment needs for Finnish ports and for the shipping companies. The market-based realization of these investments requires extensive changes in the market, for example through regulation. National support measures are also required to implement emission reduction measures. The support measures must take into account that international emission reduction measures mainly focus on medium-sized and large vessels, which excludes a significant part of Finnish shipping from the measures.

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 Maritime transport, alternative fuels, shore-side electricity, distribution infrastructure

ISBN PDF 978-952-243-897-3 **ISSN PDF** 1795-4045

Reference no. VN/26278/2020 **Project no.** LVM082:00/2020

URN address <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-897-3>

Sisältö

1	Johdanto	10
1.1	Työn tausta ja tavoitteet	10
1.2	Käytetyt menetelmät selvityksessä	10
1.3	Raportin rakenne.....	12
1.4	Lähteet	12
2	Vesiliikenteen päästövähennysten lainsäädännöllinen tausta	13
2.1	IMO:n päästövähennystoimet.....	13
2.2	EU:n päästövähennystoimet vesiliikenteelle	14
2.3	EU:n päästövähennystoimien edellytykset maasähkön saatavuudelle satamissa	16
2.3.1	Suomen satamat	18
3	Akkujen hyödyntäminen vesiliikenteessä	21
3.1	Akkujen saatavuus ja soveltuvuus vesiliikenteen tarpeisiin sekä niiden kehitysnäkymät	27
3.2	Täyssähköisten ja hybridikäyttöisten alusten osuudet aluskannasta tarkasteluvuosina	31
3.3	Vesiliikenteen latauskapasiteetin kehitystarve Suomen satamissa.....	37
4	FuelEU Maritime -asetusehdotuksen ja AFIR-asetuksen päivityksen vaikutukset vesiliikenteen sähköistymiseen	39
4.1	Nykyinen maasähkö- ja latausinfrastruktuuri satamissa	39
4.2	Maasähköinfrastruktuurin tekniset vaatimukset	40
4.2.1	Asetusehdotusten maasähkövelvoitteen vaikutukset Suomen sähköjakeluverkolle	42
4.2.2	Asetusehdotuksen edellyttämät sähköinvestoinnit Suomen satamiin	45
4.3	Kansainvälisen päästösääntelyn polttoainemaksujen vaikutukset maasähkön kustannustehokkuuteen	46
4.3.1	Vaikutukset varustamoihin.....	51
4.3.2	Vaikutukset satamiin.....	52

5	Näkymä kansallisten toimien tarpeesta päästövähennystavoitteiden saavutettavuuteen meriliikenteen sähköistymisen osalta	54
5.1	Kansallisten toimenpiteiden riittävyys Suomen latausinfrastruktuurin kehittymiseen IMO- ja EU-tavoitteisiin nähden.....	54
5.2	Lähimerenkulun sähköistymisen edistäminen.....	55
5.3	Meri- ja sisävesiliikenteen sähköistymisen edistäminen	56
6	Tuulipropulsio tarjonta ja kehitysnäkymät	58
6.1	Tarjonta	58
6.2	Kehitysnäkymät.....	59
7	Vaihtoehtoisten polttoaineiden kehitysnäkymät ja saatavuus	61
7.1	Vaihtoehtoihin polttoaineisiin liittyvä teknologia ja turvallisuus meriliikenteessä	62
7.2	Vaihtoehtoisten polttoaineiden markkinat.....	66
7.3	Vaihtoehtoisten polttoaineiden tarpeet jakeluinfrastruktuurille	69
8	Vaihtoehtoisten polttoaineiden käytettävyys olemassa olevassa tonnissa ja uusissa aluksissa.....	73
8.1	Alusten muutostarpeet	75
8.1.1	Uudet alukset.....	75
8.1.2	Olemassa olevat alukset	75
8.2	Turvallisuus.....	76
8.2.1	Vaikutus meriliikenteen luokituksiin	76
8.3	Tonniston uudistumisnopeus.....	78
8.4	Vaihtoehtoisten polttoaineiden ja tuulipropulsio soveltuvuus ja kysyntä Itämeren alueella.....	79
9	Vaihtoehtoisten polttoaineiden jakeluinfrastruktuurin näkymät vuosille 2030, 2035, 2040 ja 2050	80
9.1	TEN-T-ydinverkon satamat	80
9.2	Muut satamat	81
10	Yhteenveto ja johtopäätökset.....	83
10.1	Akkujen hyödyntäminen vesiliikenteessä	83
10.2	Sähköverkot	83

10.3	Vaihtoehtoiset polttoaineet.....	84
10.4	Päästöttömän sisävesi- ja meriliikenteen edistäminen.....	86
10.4.1	Muita lisäselvityksiä.....	89
11	Toimenpidesuosituksset.....	91
	Liite – Kuvaajat lukuun 4.3	94
	Lähteet.....	112

LYHENTEET

Lyhenne	Merkitys
AFIR	Fit-for-55-ilmastopakettin kuuluva vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönottodirektiivin päivitys
DNV	Luokituslaitos
EU-ETS	Euroopan päästökauppajärjestelmä
ELY	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
GT	Gross Tonnage, bruttovetoisuus
IGF-koodi	Kaasuja tai muita matalan leimahduspisteen polttoaineita käyttävien alusten kansainvälinen turvallisuussäännöstö
IMO	International Maritime Organization. Kansainvälinen merenkulkujärjestö.
Kj	Keskijännite, 1–45 kV
kV	Kilovoltti, 1000 voltia
kVA	Kilovolttiampeeri
LFP	Akkutyyppe, Lithium Iron Phosphate
LNG	Liquefied Natural Gas, nesteytetty maakaasu
LPG	Liquefied Petroleum Gas, nestekaasu (propani ja butaani)
MVA	Megavoltiampeeri
NMC	Akkutyyppe, Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide
NT	Net Tonnage, nettovetoisuus
Pj	Pienjännite, 50–1000 voltia
RME	Rape-seed oil trans-esterified with methanol, Rapsiöljystä tehty 2. sukupolven biodiesel
RoPax	Roll on/roll off and passenger. Matkustaja-alus, jolla on tilaa kuorma-autoille, henkilöautoille sekä rahtitavalle.
RoRo	Roll on/Roll off. Rahtialus, jossa tilaa ajoneuvoille.
SSB	Akkutyyppe, solid-state batteries
TEN-T	Euroopan laajuinen liikenneverkko

1 Johdanto

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Pääministeri Sanna Marinin hallitusohjelman mukaan Suomi on hiilineutraali vuonna 2035. Liikenteen päästövähennystavoitteiden tulee vastata tähän tavoitteeseen. Valtioneuvoston toukokuussa 2021 tekemällä periaatepäätöksellä osoitettiin kansallisia toimia meri- ja sisävesiliikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen ja vahvistettiin valtioneuvoston yhteinen näkemys tavoitteista ja kansainvälisen vaikuttamistyön painopisteistä meri- ja sisävesiliikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi.

Yhtenä periaatepäätöksen linjattuna toimena laadittiin tämä selvitys meriliikenteen sähköistymisestä ja akkukäyttöisten alusten käytön mahdollisuuksista Itämeren lähimerenkulussa sekä tarvittavan latausinfrastruktuurin kehittämistarpeista Suomen satamissa. Samassa yhteydessä arvioitiin vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöönottoon liittyviä infrastruktuurin kehitystarpeita Suomessa.

Vähäpäästöisiin ja lopulta päästöttömiin voimanlähteisiin siirtyminen on ainoa keino vähentää merenkulun päästöjä kansainvälisten tavoitteiden mukaan sen jälkeen, kun kaikki alusten tekniikkaan ja operatiiviseen toimintaan sekä liikennejärjestelmään liittyvät keinot on käytetty. Koska alusten keskimääräinen käyttöikä on noin 25–30 vuotta, vaihtoehtoisten voimanlähteiden käyttöönoton ja niiden jakeluinfrastruktuurin kehityksen tulee merenkulussa olla hyvin nopeaa, jotta sovitut päästövähennystavoitteet saavutetaan.

Suomen tavoitteena on varmistaa riittävä ja toimiva vaihtoehtoisten käyttövoimien jakeluinfrastruktuuri satamissaan. Jakeluinfrastruktuurin on vastattava paitsi kotimaisiin tarpeisiin, myös kansainvälisessä merenkulkujärjestössä IMO:ssa pian päivitettäviin maailmanlaajuisiin kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoitteisiin sekä EU:ssa etenevän niin kutsutun Fit for 55 -lainsäädäntöpakettin vaatimuksiin merenkulun kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi.

1.2 Käytetyt menetelmät selvityksessä

Tämän selvityksen menetelminä on käytetty kirjallisuustutkimusta ja haastatteluja, lisäksi työn muodostumista on ohjannut työn tilaajan, Liikenne ja viestintäministeriön

kanssa käydyt keskustelut sekä Traficomilta saadut kommentit. Kirjallisuustutkimusta on tehty koskien kaikkia selvityksen aihealueista. Haastattelumetodina oli puolistrukturoitu teemahaastattelu ja sähköverkkojen osalta strukturoitu haastattelu. Puolistrukturoidussa teemahaastattelussa asiantuntijalle annettiin teemoja, joista haluttiin keskustella ja asiantuntijan annettiin kertoa omasta mielestään tärkeimmät asiat työn teemoihin liittyen. Tarvittaessa teemoja nostamalla haastattelun kulkua ohjattiin tarvittavaan suuntaan. Haastatteluissa oli läsnä 1–3 haastattelijaa sekä 1–6 haastateltavaa. Pääosassa haastatteluja haastateltavia oli yksi. Perinteinen ryhmähaastattelu toteutettiin satamien edustajille. Muiden useamman henkilön haastattelujen taustalla oli haastatteluun kutsutun toive ottaa kollegansa mukaan tuomaan syvempää näkemystä tietystä haastattelun teemoista.

Haastatelluille ohjeistettiin, että tavoitteena on saada tämän selvityksen käyttöön parhaiden asiantuntijoiden näkemykset käsitellyistä aiheista. Haastateltuja kannustettiin puhumaan vapaasti eivätkä haastatteluiden tulokset siten edusta haastateltavien takana olevien yritysten tai yhteisöjen virallista kantaa. Yritysten tai yhteisöjen virallisen kannan raportointi ei ollut tämän selvityksen tarkoitus. Selvityksen tarkoitus oli muodostaa näkemys tulevaisuudesta ja tarvittavista toimenpiteistä, jotta luvussa 1.1 esitetyt tavoitteet voidaan saavuttaa Suomessa.

Haastattelujen tietoja täydennettiin tarvittaessa jälkikäteen haastatelluilta sekä muilta asiantuntijoilta puheluiden ja sähköpostien muodossa. Näihin keskusteluihin on viitattu työssä yleisesti asiantuntijahaastatteluiden tietoina. Haastatteluissa syntyi tietoa, joka ei suoraan liity vain yhteen haastatteluun, ja alustavaa näkemystä on käsitelty siten eri näkökulmista useissa haastatteluissa. Tällöin haastattelija on muodostanut haastatteluiden perusteella yhtenäisen kuvan, joka on raportoitu tässä selvitystyössä. Tällöin myös on viitattu yleisesti asiantuntijahaastatteluihin, vaikka haastattelija on osallistunut haastateltujen näkemyksen yhdistämiseen ja synteesiin vahvasti.

Haastatteluihin osallistuneet asiantuntijat:

- Meriaura: Jussi Mälkiä ja Riinu Walls
- Wärtsilä: Andrea Morgante
- Suomen Varustamot ry: Tiina Tuurnala, Mats Björkendahl
- Naantalın Satama: Hannu Kallio, Juha Ketoniemi
- Kemin Satama: Markku Rautio
- Haminan ja Kotkan Satama: Ville Kuitunen
- Helsingin Satama: Andreas Slotte
- Turun Satama: Markku Alahäme
- Kemin Satama: Timo Miettinen
- Liikenne ja viestintäministeriö: Eero Hokkanen
- Rauma Marine Constructions Oy: Mika Laurilehto

- Norsepower: Tuomas Riski
- DNV: Aki Repo
- Gasgrid: Olli Sipilä, Sara Kärki
- Ramboll (akkuspesialistit): Niklas Bäcker, Anton Thorstensson
- Helen Sähköverkot Oy: Esa Äärynen, Juho Salonen
- Rauman Energia Oy: Marko Silokoski
- Kymenlaakson Sähköverkko Oy: Olli Jokisalo
- Turku Energia Oy: Arto Ahonen
- Oulun Energia: Jarno Liimatainen
- Caruna: Jussi Rönkkö
- Haminan Sähköverkko Oy: Mika Kuoppamäki

1.3 Raportin rakenne

Tämä raportti koostuu johdantoluvun (luku 1) lisäksi lainsäädännöllistä taustaa havainnollistavasta luvusta (luku 2) sekä kolmesta luvusta vesiliikenteen sähköistymisestä (luvut 3, 4 ja 5). Tuulipropulsiota on käsitelty yhdessä luvussa (luku 6) ja vaihtoehtoisia polttoaineita kolmessa luvussa (luvut 7, 8 ja 9). Viimeisenä työstä esitellään johtopäätökset (luku 10). Selvityksen pääpaino on ollut meriliikenteen sähköistymisessä ja vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöönottamisessa huomioiden tarvittava infrastruktuuri molempien osalta.

1.4 Lähteet

Jollei toisin ole ilmaistu, kaikkien taulukkojen, kuvien ja kaavioiden lähde on Ramboll. Tässä työssä on kerätty ja jalostettu parhaiden asiantuntijoiden näkemyksiä tulevaisuudesta, ja työtä ei ole tehty tiukasti tieteellisen työn käytännön.

2 Vesiliikenteen päästövähennysten lainsäädännöllinen tausta

Suomella ei ole tällä hetkellä kansallisia numeerisia tavoitteita liittyen meri- ja sisävesiliikenteen päästöjen vähentämiseen. Päästövähennyksiä kuitenkin ajaa Suomen sitoutuminen IMO:n sekä EU:n päästövähennystavoitteisiin (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021). Tässä luvussa esitellään keskeisimmät IMO:n sekä EU:n päästövähennystoimet vesiliikenteelle.

2.1 IMO:n päästövähennystoimet

Yhdistyneiden kansakuntien (YK) alaisena järjestönä IMO on toiminut jo pitkään merenkulun kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Vuonna 2011 IMO hyväksyi kaikille uusille laivoille pakollisen energiatehokkuusindeksin (The Energy Efficiency Design Index, EEDI) ja kaikille laivoille pakollisen energiatehokkuussuunnitelman (Energy Efficiency Management Plan, SEEMP). (International Maritime Organization, IMO, 2022). Vuonna 2018 IMO hyväksyi alustavan strategian merenkulun kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi vuoteen 2050 mennessä, mikä on linjassa myös Pariisin ilmastopöytäkirjan kanssa. Strategian tavoitteet ovat:

- 40 % vähennys merenkulun hiili-intensiteetissä eli keskimääräisissä hiilidioksidipäästöissä suhteessa kuljetustyöhön vuoteen 2030 mennessä verrattaessa vuoden 2008 tasoon.
- 70 % vähennys keskimääräisissä hiilidioksidipäästöissä suhteessa kuljetustyöhön vuoteen 2050 mennessä verrattaessa vuoden 2008 tasoon.
- Meriliikenteen kasvihuonekaasupäästöjen kääntyminen laskuun mahdollisimman pian.
- 50 % vähennys vuotuisissa kokonaishiilidioksidipäästöissä vuoteen 2050 mennessä verrattaessa vuoden 2008 tasoon.

Keskusteluja on käyty vuoteen 2050 asetetun maailmanlaajuisen päästövähennystavoitteen kiristämisestä 50 prosentista 100 prosenttiin. Suomi ja muut EU-valtiot kannattavat päästövähennystavoitteiden kiristystä. (Valtioneuvosto, 2021). Päivitetty strategia merenkulun kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi on määrä hyväksyä vuonna 2023. (International Maritime Organization, IMO, 2022b).

Vuonna 2021 IMO hyväksyi kaksi uutta kaikkia aluksia koskevaa vaatimusta koskien energiatehokkuustoimenpiteitä, joilla pyritään lyhyen tähtäimen toimenpiteisiin, jotta

vuonna 2018 asetettuihin päästövähennystavoitteisiin päästään. Ensimmäisellä vaatimuksella pyritään vaikuttamaan alusten tekniseen toteutukseen ja toisella alusten operointiin. Alusten tekniseen toteutukseen vaikuttava vaatimus on tekninen vaatimus vähentää hiili-intensiteettiä uudella olemassa olevien alusten energiatehokkuuden indeksillä (Energy Efficiency Existing Ship Index, EEXI). Alusten operointiin kohdistuva vaatimus on uusi hiili-intensiteetin operatiivinen indeksi (Carbon Intensity Indicator, CII). EEXI ja CII tulevat voimaan vuonna 2023. (International Maritime Organization (IMO), 2021).

Marshallinsaaret ja Salomonsaaret ovat IMO:ssa esittäneet maailmanlaajuisen kaupparenkulun polttoaineiden hiilisisällön mukaan määräytyvää maksua. Liikenne ja viestintäministeriön näkemyksen mukaan kyseinen esitys on toistaiseksi saanut eniten kannatusta eri ehdotusten joukossa ja olisi todennäköisesti toteutuskelpoisen. Esitetyn maksun suuruus vuonna 2025 olisi 100 USD/CO₂-ekvivalenttitonni. Maksua korotettaisiin joka viides vuosi. Ehdotus on vielä pitkien käsittelyiden polulla ja sen mahdollinen toteutuminen tulisi EU-sääntelyn toteutumisen jälkeen. IMO:n sääntelyn toteututtua EU arvioi, onko jo aikaisemmin toteutuneissa sääntelyissä päällekkäisyyksiä ja ryhtyy tarvittaessa toimenpiteisiin.

2.2 EU:n päästövähennystoimet vesiliikenteelle

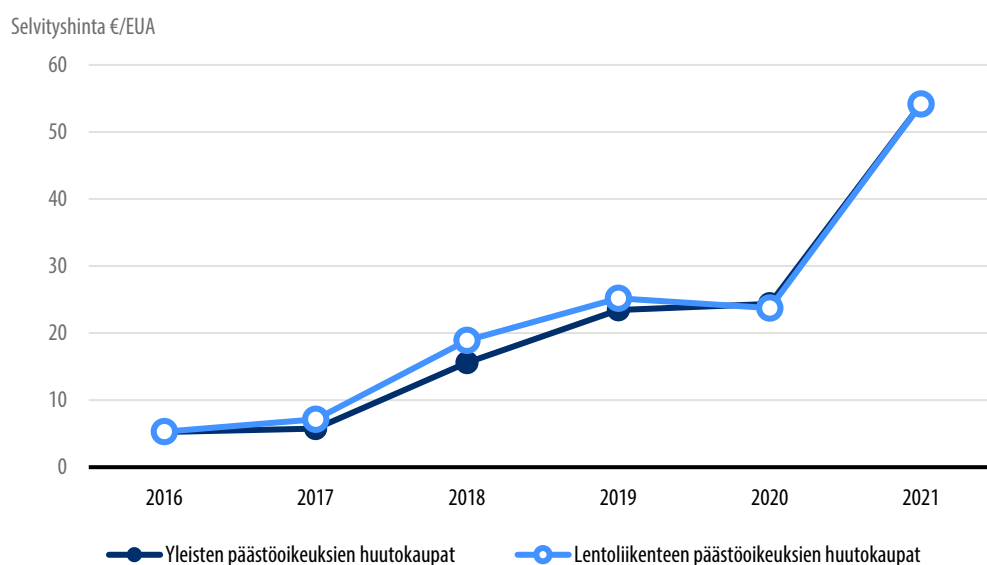
Toistaiseksi EU ei ole ulottanut varsinaisten kasvihuonekaasujen vähennystoimien EU-sääntelyä merenkulkuun. Heinäkuussa 2021 julkaistun Fit-for-55-ilmastopakettin tavoitteena on EU:n nettopäästöjen vähentäminen vähintään 55 prosentilla vuoteen 2030 mennessä vuoden 1990 tasoon verrattuna. Paketti sisältää seuraavat neljä merenkulkua koskevaa aloitetta:

1. Merenkulun sisällyttäminen EU:n päästökauppaan
2. Vaihtoehtoisten ja uusiutuvien polttoaineiden käytön lisäämiseen tähtäävä FuelEU Maritime -asetusehdotus
3. Energiaverodirektiivin uudistus
4. Vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönottodirektiivin päivitys (ns. AFIR-asetus)

EU:n tavoitteena on sisällyttää Euroopan yleiseen päästökauppajärjestelmään (EU-ETS) kaikki bruttovetoisuudeltaan yli 5 000 tonnin alukset. Merenkulun päästökauppajärjestelmään liittymisen myötä kaikkien siihen sisältyvien alusten, jotka liikennöivät EU:n satamissa, tulee hankkia tuottamia hiilidioksidipäästöjä vastaava määrä pääs-

töoikeuksia. Alusten, jotka liikennöivät vain EU-alueella, tulee hankkia päästöoikeuksia vastaamaan 100 prosenttia tuottamistaan päästöistä. Alusten, jotka vain poikkeavat EU-alueella, tulee hankkia päästöoikeuksia vastaamaan 50 prosenttia aluksen tuottamista hiilidioksidipäästöistä, riippumatta aluksen reitistä. Tavoitteena on, että merenkulku sisällytetään nykyiseen päästökauppajärjestelmään vähitellen vuodesta 2023 alkaen niin että järjestelmä on täysin käyttöön otettu vuoteen 2025 mennessä. (Euroopan komissio, 2021c). Päästökauppajärjestelmään liittyminen tulee todennäköisesti nostamaan meriliikenteen polttoainekuluja merkittävästi. Päästöoikeuksien huutokauppojen selvityshintojen vuosikeskiarvot niin yleisille kuin lentoliikenteen päästöoikeuksille vuosina 2016–2021 on esitetty alla olevassa kuvassa 2.

Kuvio 1. Päästöoikeuksien huutokauppojen selvityshintojen vuosikeskiarvot 2016–2021 EU:n jäsenmaiden yhteisellä huutokauppapaikalla (EEX) (Energiavirasto, 2022)



FuelEU Maritime -asetusehdotuksen on määrä astua voimaan vuonna 2025. Asetusehdotuksen on määrä asettaa vaatimuksia kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä aluksille, joiden bruttovetoisuus on yli 5 000 tonnia. Tavoitteena on, että kaikkien alusten on määrä lisätä uusiutuvien ja vähähiilisten polttoaineiden hyödyntämistä asteittain niin, että vuonna 2030 alusten kasvihuonekaasuintensiteetti on vähentynyt 6 prosenttiyksiköllä ja vuonna 2050 intensiteetin vähennyksen tulee olla 75 % vuoden 2020 lähtötasosta. Lisäksi vuodesta 2030 lähtien kontti- ja matkustaja-alusten tulee kytkeytyä maasähköön ollessaan EU-satamissa tai käyttää vastaavaa päästötöntä teknologiaa. Asetusehdotuksen tavoitteet ovat yhtenevät meriliikenteen päästökauppaan liittämisen kanssa, ja se kohdistuuakin vastaavasti 100-prosenttisesti EU-alueella

liikennöivien alusten energiankulutukseen ja 50-prosenttisesti aluksiin, jotka ainoastaan poikkeavat EU-alueen satamissa. (Euroopan komissio, 2021). FuelEU Maritime -asetusehdotuksen vaikutuksia on käsitelty tämän raportin luvussa 5.

Energiaverodirektiivin uudistuksen tavoitteena on uudistaa alun perin vuonna 2003 voimaantullutta direktiiviä meriliikenteen osalta siten, että tammikuusta 2023 alkaen kaikkien EU:n sisäisillä matkoilla käytettyjen bunkkeripolttoaineiden verovapaus poistuu. Direktiivi uudistuksessa on esitetty minimi verotus eri polttoaineluokille. Direktiivi uudistukseen sisältyy 10 vuoden siirtymäaika, jonka aikana meriliikenteen kestäväillä ja vaihtoehtoisilla polttoaineilla minimivero on nolla. Tämä sisältää alusten laiturissa käyttämän maasähkön, joka direktiivi uudistuksen myötä voidaan vapauttaa verosta, jotta sen kehittämistä ja käyttöä kannustettaisiin. (Euroopan komissio, 2021b).

Vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönottodirektiivin päivityksen tavoitteena (ns. AFIR-asetus, 14.7.2021 COM (2021) 559) on edistää vaihtoehtoisten polttoaineiden saatavuutta EU:ssa sekä maasähkön saatavuutta satamissa. (Euroopan komissio, 2021). Päivityksessä on tarkoitus kumota alun perin vuonna 2014 voimaan tullut direktiivi vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta (2014/94/EU Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR)) ja asettaa voimaan sitova asetusta ja jäsenmaille sitovia velvoitteita vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönottamiseksi koskien myös meriliikennettä. Edellä mainittu direktiivi on implementoitu Suomen lainsäädäntöön lailla 478/2017. AFIR-asetuksen päivityksestä seuraavat meriliikenteen sitovat velvoitteet on suunnattu pääosin TEN-T-verkon satamille. Meriliikenteen sitovat velvoitteet koskevat aluksien käyttämää maasähköä sekä nesteytettyä kaasua. (Valtioneuvosto, 2021). AFIR-asetuksen päivityksen vaikutuksia on käsitelty tämän raportin luvussa 2.2.1 ja 2.2.2.

2.3 EU:n päästövähennystoimien edellytykset maasähkön saatavuudelle satamissa.

Fit-for-55-ilmastopakettiin kuuluva vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönottodirektiivi (AFIR) on vahvassa synergiayhteydessä FuelEU Maritime -aloitteen kanssa, mikä asettaa velvoitteita uusiutuvien ja vähähiilisten liikenteen polttoaineiden tarjonnalle ja kysynnälle. AFIR päivityksen tavoitteena on muun muassa edistää maasähkön saatavuutta EU:n satamissa, ja näin se täydentää FuelEU Maritime -aloitetta, joka asettaa aluksille velvoitteita hyödyntää maasähköä. Uuden AFIR asetusehdotuksen 9. artiklan mukaan asetusta koskee TEN-T-ydinverkon ja kattavan TEN-T-verkon merisatamia. Maasähköä koskevat vaatimukset on asetusehdotuksessa jaoteltu seuraavasti merisatamille ja sisävesisatamille. (Euroopan komissio, 2021).

Asetusehdotuksen vaatimukset merisatamissa

Merisatamien osalta jäsenvaltion on varmistettava, että TEN-T-ydinverkon ja kattavan verkon merisatamissa on 1.1.2030 mennessä saatavilla maasähköä, joka vastaa 90 prosenttia eri satamien liikennöintimäärään ja alustyypeihin perustuvasta kysynnästä. Vaatimukset on jaoteltu kolmeen tavoitteeseen merisataman keskimääräisen vuosittaisen liikennöintivilkkauden ja alustyyppien perusteella. Keskimääräiset vuosittaiset satamakäyntien määrät lasketaan kolmen viime vuoden ajalta huomioiden alukset, joiden bruttovetoisuus on yli 5 000 tonnia (Euroopan komissio, 2021). Vaatimukset esitettyinä alla olevassa taulukossa (Taulukko 1).

Taulukko 1. Merisatamien maasähköä koskevat vaatimukset jaoteltuna keskimääräisen vuosittaisen liikennöintivilkkauden ja alustyyppien perusteella (Euroopan komissio, 2021)

Alustyyppi (yli 5000 t GT)	Keskimääräinen satamakäyntien määrä vuodessa	Maasähkövelvoite
Merikonttialukset	yli 50	riittävä maasähkön antoteho, jotta ne voivat vastata vähintään 90 prosenttia kyseisestä kysynnästä
Ro-ro-matkustaja-alukset ja suurnopeusmatkustaja-alukset	yli 40	riittävä maasähkön antoteho, jotta ne voivat vastata vähintään 90 prosenttia kyseisestä kysynnästä
Muiden matkustaja-alusten kuin ro-ro-matkustaja-alusten ja suurnopeusmatkustaja-alusten osalta	yli 25	riittävä maasähkön antoteho, jotta ne voivat vastata vähintään 90 prosenttia kyseisestä kysynnästä

Satamakäyntien lukumäärää määritettäessä ei oteta huomioon seuraavia satamakäyntejä:

- Satamakäynnit, joissa alus on kiinnityspaikassa alle kaksi tuntia lasketuna asetusehdotuksen COM (2021)562 14 artiklan mukaisesti kirjatun lähtö- ja saapumistunnin perusteella;
- Sellaisten alusten satamakäynnit, jotka käyttävät päästötöntä teknologiaa, sellaisena kuin se on määritelty asetusehdotuksen COM (2021) 562 liitteessä III;

- Suunnittelemattomat satamakäynnit turvallisuussyistä tai ihmishenkien pelastamiseksi merellä. (Euroopan komissio, 2021).

AFIR-asetuksen päivityksestä tulee huomioida päivityksen olevan vielä luonnos tilassa, eli lopullinen asetus voi poiketa tässä työssä käsitellystä asetusluonnoksesta mikä on julkaistu 14.7.2021. Liikenne ja viestintäministeriön tietojen mukaan, maasähköä koskevat vaatimukset tulevat mahdollisesti muuttumaan merikonttialusten osalta siten, että keskimääräisten satamakäyntien määrää nostetaan nyt esitetystä 50:stä aluksesta 100:n alukseen. Tämä nosto rajaisi useita suomen satamista veloitteiden ulkopuolelle, kuten on käsitelty seuraavassa luvussa.

AFIR-asetuksen päivityksen myötä konttialusliikenteen kehittyminen satamissa edellyttää investointeja maasähköjärjestelmään, jos konttialuksia vierailee satamassa noin kerran viikossa tai useammin. On kuitenkin huomioitava, että asetus määrittää konttialuksen sellaiseksi alukseksi, joka pystyy kuljettamaan yksinomaan kontteja. Tällaisien aluksien ruumissa on tyypillisesti konttiohjurit (ns. cell guides). Jotkut satamissa käyvät kontteja kuljettavat alukset ovat todennäköisesti monikäyttöaluksia, joita kyseiset säädökset eivät koske.

Asetusehdotuksen vaatimukset sisävesisatamissa

Sisävesisatamissa tulee varmistaa, että TEN-T-ydinverkon sisävesisatamissa on 1.1.2025 mennessä vähintään yksi maasähkön syöttöön tarkoitettu laitteisto ja TEN-T kattavalla verkolla puolestaan 1.1.2030 mennessä vähintään yksi maasähkön syöttöön tarkoitettu laitteisto (Euroopan komissio, 2021).

Suomessa ei ole tällä hetkellä TEN-T-ydin- tai kattavaan verkostoon kuuluvia sisävesisatamia. Kattavaan verkostoon on esitetty lisättäviksi Lappeenranta ja Joensuu (Euroopan Komissio, 2021).

2.3.1 Suomen satamat

AFIR-asetusehdotuksen vaatimukset koskevat TEN-T-ydinverkon ja kattavan verkon satamia. Tällä hetkellä TEN-T-ydinverkon satamia Suomessa ovat HaminaKotkan, Helsingin, Turun ja Naantalin satamat. TEN-T kattavan verkon satamiin kuuluvat Kemi, Oulu, Raahe, Kokkola, Pietarsaari, Vaasa, Kaskinen, Pori, Rauma, Hanko, Kilpilahti sekä Ahvenanmaalta Eckerö ja Maarianhamina. (Traficom, 2021).

TEN-T-verkosta on esitetty muutettavaksi. Euroopan komissio julkaisi ehdotuksen uudeksi TEN-T-verkkoa koskevaksi asetukseksi 14.12.2021. Ehdotuksessa kattavan

verkon satamiksi on lisätty Insoon, Tornion, Lappeenrannan ja Joensuun satamat. Komission ehdotuksessa kattavalta verkolta olisivat putoamassa Kaskisten ja Pietarsaaren satamat. Lisäksi verkolta on omasta esityksestään jäämässä pois Kilpilahden satama. Valtioneuvoston kantana on, että uusien kattavan verkon satamien lisäksi nykyiset satamat tulee säilyttää TEN-T kattavassa verkossa. (Liikenne- ja Viestintäministeriö, 2022).

Taulukosta 2 nähdään, että nykyisillä liikennemäärillä kaikki TEN-T-verkoston satamat lukuun ottamatta Pietarsaarta ja Poria kuuluvat maasähkön jakeluvuorituksen piiriin. Tilaston laatimisen jälkeen Hangosta on alkanut ropax-liikenne, joka siirtää sataman maasähkövuorituksen piiriin. Runsaan matkustajaliikenteen satamat Turku, Maarianhamina, Eckerö ja Vaasa saattavat jäädä maasähkövuorituksen ulkopuolelle alusten lyhyistä, alle 2 h satama-ajoista johtuen. Tämä tulee varmistaa satamakohtaisesti todellisten satamassaoloaikojen mukaan. Mikäli, lopulliseen AFIR-asetukseen merikonttialusten osalta keskimääräisten satamakäyntien määrää nostetaan 100, kuten edellisessä kappaleessa käsiteltiin, rajautuvat myös Kemin, Kokkolan, Oulun ja mahdollisesti myös Hangon satamat maasähkön jakeluvuoritteiden ulkopuolelle.

Taulukko 2. Yli 5000 t GT alusvierailukerrat TEN-T-verkoston merisatamissa vuonna 2020 (Traficom, 2020)

Satama	Konttialus	Matkustaja-alus*
Eckerö	-	3 708
HaminaKotka	463	-
Hanko	2	-
Helsinki	660	4 624
Kemi	64	-
Kokkola	50	-
Maarianhamina	-	2 318
Naantali	1	711
Oulu	68	-
Pietarsaari	1	-
Pori	2	-
Rauma	210	-

Satama	Konttialus	Matkustaja-alus*
Turku	1	1 483
Vaasa	2	413

*Matkustaja-alus määritelmä poikkeaa tässä tilastoluokituksessa, tässä sisältää matkustaja ro-ro alukset myös.

Sisävesisatamissa vierailevat alukset ovat pienehköjä (≤ 3000 t GT) kuivarahtialuksia. Saimaan vesiliikennekausi kestää keskimäärin 211 vrk, alkaen huhtikuun alusta ja päättyen tammikuulle (Väylävirasto, 2021). Alusvierailukerrat TEN-T kattavaan verkostoon liitettäväksi ehdotetuissa satamissa on esitetty alla taulukossa. Jos nämä satamat liitetään osaksi TEN-T kattavaa verkostoa, tulee niissä investoida 1.1.2030 mennessä vähintään yhteen maasähkön syöttöön tarkoitettuun laitteistoon.

Taulukko 3. Alusvierailukerrat TEN-T-verkostoon liitettäväksi esitetyissä Suomen sisävesisatamissa vuonna 2020 (Traficom, 2020).

Satama	Hinaaja, muu alus	Kuivalastialus	Matkustaja-alus
Joensuu	-	68	-
Lappeenranta	3	199	1

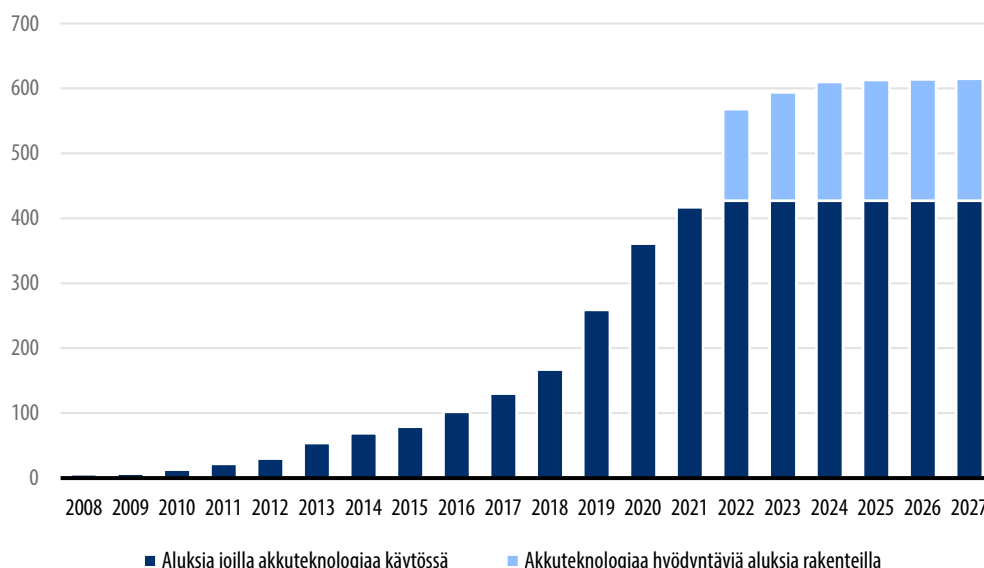
3 Akkujen hyödyntäminen vesiliikenteessä

Tässä luvussa käsitellään akkujen hyödyntämistä vesiliikenteessä propulsiokäytössä yleisesti. Alaluvuissa käsitellään akkujen saatavuutta ja soveltuvuutta vesiliikenteen tarpeisiin sekä akkujen kehitysnäkymiä vesiliikenteen näkökulmasta, täyssähköisten ja hybridikäyttöisten alusten määrän kehitystä Suomessa sekä lopuksi vesiliikenteen sähköistymisestä aiheutuvia sähköverkon ja korkeatehoisen latausinfrastruktuurin kehitystarpeita.

Kansainvälisessä merenkulussa potentiaali akkujen hyödyntämiseen propulsiokäytössä on rajoittunutta, ja maailman aluskannasta vain 0,3 % hyödyntää akkuja propulsiokäytössä (DNV GL, 2021b). Akkujen energiatiheudesta johtuen akkuteknologian hyödyntäminen meriliikenteessä rajoittuu lähtökohtaisesti lyhyen matkan merenkulkuun, eikä tämän hetken teknologiakehitys ennakoiki akkujen potentiaalini kasvua syvänmeren tai keskipitkillä reiteillä. (DNV GL, 2021). Suomen aluskannan sähköistymispotentiaalini voidaan kuitenkin arvioida olevan kansainvälistä meriliikennettä korkeampi Itämeren lyhyiden etäisyyksien seurauksena. Itämeren merimatkojen kesto on tyypillisesti pisimmillään 3 vuorokautta ja keskimäärin 1 vuorokausi. (Meriäura, 2022).

Vaikka akkuteknologian hyödyntäminen meriliikenteessä on rajoittunutta, voidaan akkuja kuitenkin laaja-alaisesti hyödyntää vesiliikenteessä lyhyillä reiteillä, parantamalla alusten energiatehokkuutta sekä operoitaessa aluksia satama-alueilla. (DNV GL, 2021). Erilaiset akkuteknologiaa hyödyntävät ratkaisut ovatkin voimakkaasti yleistyneet vesiliikenteessä tällä vuosituhanalla ja kasvun on ennustettu jatkuvan (DNV, 2022). Tällä hetkellä rakenteilla olevista aluksista jo lähes 4 % hyödyntää akkuja propulsiokäytössä. (DNV GL, 2021b). Alla olevassa kuvassa on esitetty luokituslaitos DNV GL tuottamaa tilastotietoa akkujen hyödyntämisestä vesiliikenteessä vuodesta 2008 alkaen. Kuva sisältää myös ennusteen rakenteilla olevista akkuteknologiaa hyödyntävistä aluksista vuosille 2022–2027.

Kuvio 2. Akkuteknologiaa hyödyntävien alusten määrän kasvu ja ennuste rakenteilla olevien akkuteknologiaa hyödyntävien alusten määrästä vuosille 2008–2027. (DNV, 2022)



Akkujen hyödyntäminen uusilla aluksilla

Täyssähköisten propulsiojärjestelmien hyödyntäminen on sitä helpompaa mitä pienempi aluksen tehontarve reitillä on. Tehontarpeeseen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa nopeus, reitin pituus, sääolosuhteet, aluksen bruttovetoisuus sekä aluksen rungon tekninen toteutus. Aluksen massa voidaan suunnittelu- ja rakennusvaiheissa vaikuttaa merkittävästi muun muassa rungon rakennusmateriaaleilla ja teknisellä toteutuksella pienentämättä välttämättä aluksen lastinottoa. Suunnittelu- ja rakennusvaiheissa voidaan myös parantaa aluksen energiatehokkuutta esimerkiksi rungon muotoilulla. Uusien alusten energiatehokkuus onkin parantunut merkittävästi.

Tilankäyttö ja vaikutukset aluksen lastinottoa on yksi keskeinen haaste akkujen hyödyntämisessä vesiliikenteessä. Uusien aluksien suunnittelussa akkujen lisääminen voidaan huomioida varhaisessa vaiheessa, jolloin akustojen massa ja niiden vaatima tila voidaan suunnittelussa ottaa huomioon. Eräissä sovelluksissa akuston lisäämisen vaikutuksia aluksen lastinottoa on voitu rajoittaa, kun akuston ansiosta aluksen polttomoottoria ei ole tarvinnut mitoitaa aluksen koko tehontarpeelle ja on voitu pienentää laivan polttoainevarastoja.

Lyhyillä reiteillä akkuja on hyödynnetty jo pidempään, mutta tämä on usein edellyttänyt julkishallinnon toimia. Norjan Liikenne ja Viestintäministeriön käynnistämän kilpailun seurauksena maailman ensimmäinen täyssähköinen auto- ja matkustajalautta Ampere aloitti liikennöinnin vuonna 2016 hyödyntäen propulsiossa 1 MWh litiumioni akustoa. (Mikkola, et al., 2016).

Case: Norja, täyssähköinen auto- ja matkustajalautta Ampere

Maailman ensimmäinen täyssähköinen auto- ja matkustajalautta Ampere otettiin käyttöön Norjassa vuonna 2015.

Vuonna 2010 Norjan Liikenne ja Viestintäministeriö käynnisti kilpailun ympäristöystävällisimmän lautan kehittämiseksi. Kilpailun voittaja pääsi operoimaan Oppedal-Lavik välisellä reitillä. Kilpailun voitti Siemensen ja norjalaisen telakkayhtiö Fjellstrandin täyssähköinen Ro-Ro/matkustaja alus Ampere. Aluksen maksimi kuljetuskapasiteetti on 120 autoa ja 360 matkustajaa. Aluksen oman 1 MWh Litiumioni akun lisäksi aluksen lataamiseen reitin molemmissa päissä hyödynnetään 260 kWh akustoja, joilla varmistetaan sähköverkon kantokyky. Latausaika molemmissa päissä on 10 minuuttia. (Mikkola, et al., 2016).

- Lauttareitin pituus 6 km
- Matkan kesto noin 20 min
- Bruttovetoisuus 199 t
- Akuston kapasiteetti 1 MWh (Litiumioni)
- Moottorit 2 x 450 kW. (Marine Traffic, 2022)

Myös Suomessa vesiliikenteen sähköistymistä on ajanut julkishallinnon toimet. Suomen saaristoliikenteestä eli maantielautta- ja yhteysalusliikenteestä vastaa Varsinais-Suomen ELY-keskus. Suomen ensimmäinen hybridikäyttöinen maantielautta, Elektra, aloitti liikennöinnin Nauvo-Parainen välillä vuonna 2017 vastauksena Varsinais-Suomen ELY-keskuksen ja Liikenneviraston pyyntöön ratkaista lauttapaikan liikenteelliset ongelmat kestävämmiin ja kustannustehokkaampiin. Alus hyödyntää propulsiojärjestelmässään 1 MWh akustoa. (Varsinais-Suomen ELY-keskus, 2015).

Case: Suomi, hybridikäyttöinen maantielautta Elektra

Parainen-Nauvo välillä 2017 liikennöinnin aloittanut Suomen ensimmäinen hybridilautta, Elektra.

Puolassa valmistettu, Parainen-Nauvo välillä kesästä 2017 asti liikennöinyt, Finferries-yhtiön hybridikäyttöinen lautta hyödyntää käyttövoimanaan akustoon ladattavaa maasähköä sekä dieselgeneraattoreita. Dieselgeneraattoreita käytetään lähtökohtaisesti varavoimana etenkin syysmyrskyissä sekä talviaikaan. Aluksen maksimi kuljetuskapasiteetti on 90 autoa ja 375 matkustajaa. Keväällä 2022 Elektran pariin samalle reitille tulee myös Puolassa valmistettu hybridialus Altera, jonka akkukapasiteetti on 1,2 MWh.

- Lauttareitin pituus 1,6 km
- Bruttovetoisuus 525 t
- Akuston kapasiteetti 1 MWh
- Latausjännite 690 V
- Dieselgeneraattorit 3 x 420 kWe
- Moottorit 2 x 900 kW. (FinFerries, 2022)

Julkishallinnon toimilla on edistetty myös teollisten toimijoiden investointeja vesiliikenteen sähköistämiseksi. Norjassa vuonna 2022 kaupallisessa operoinnissa aloittava Yara Birkeland on maailman ensimmäinen täyssähköinen konttialus. Konttialuksen rakentamiseen on hyödynnetty Norjan ilmasto ja ympäristöministeriön alaisen ympäristöystävällistä energiantuotantoa ja -kulutusta edistävän valtionyhtiö Enovan rahoitusta. Enova on rahoittanut hanketta yli 133 miljoonalla norjan kruunulla, mikä vastaa yli 14 miljoonaa euroa. Alus on varustettu yli 6 MWh akustolla. (Yara, 2021).

Case: Norja, maailman ensimmäinen täyssähköinen konttialus

2022 operoinnin aloittava täyssähköinen konttialus Yara Birkeland operoi sukkulaliikenteessä Yaran Porsgrunnin tehtaan ja Brevikin sataman välillä.

- Kuljetuskapasiteetti 120 laivakonttia
- Reitin pituus 12 km
- Bruttovetoisuus 3 200
- Akuston kapasiteetti 6,8 MWh (Litiumioni)
- Moottori 2 x 900 kW ja 2 x 700 kW (Yara, 2022)

Propulsiojärjestelmien konversiot

Uusilla aluksilla akkujen hyödyntämistä helpottaa niiden huomiointi jo varhaisessa vaiheessa aluksen suunnittelua. Uusien alusten lisäksi akustoja voidaan kuitenkin asentaa konversioissa myös jo käytössä oleviin vanhoihin aluksiin. Tämä voi kuitenkin vaatia erittäinkin merkittäviä muutoksia aluksen rakenteeseen. Esimerkki mittavasta konversiosta on Suomen ympäristökeskuksen tutkimusalus Arandan konversio, missä aluksen pituutta jatkettiin liki seitsemällä metrillä samalla kun propulsiojärjestelmä muutettiin hybridikäyttöiseksi ja alukseen lisättiin 200 kWh akusto. Akuston kapasiteetti on pieni verrattuna propulsiotehoon. Akusto kuitenkin mahdollistaa aluksen hiljaisen ajon tutkimuskäytössä.

Case: Tutkimusalus Arandan propulsiojärjestelmän konversio

Rauman telakalla Suomen ympäristökeskuksen merentutkimusalus Arandan peruskorjauksen yhteydessä aluksen propulsiojärjestelmä muutettiin mekaanisesta dieselkäyttöisestä dieseliksi ja akkusähköä hyödyntäväksi hybridijärjestelmäksi.

Vuonna 2017 aloitetussa muutostyössä aluksen runkoa pidennettiin 5,4 m ja kantta 1,8 m, myös aluksen peräkantta muotoiltiin uudestaan. Konversiossa alukseen lisättiin kaksi 100 kW akustoa. Peruskorjauksen myötä Wärtsilän Helsingin telakalla 1989 rakennetun aluksen toimintakykyä jatkettiin 2030-luvulle.

- Rakennusvuosi 1989
- Bruttovetoisuus 1 969 t
- Akuston kapasiteetti 200 kWh
- Maasähkö 400 V, 200 A

Tässä selvitystyössä tehtyjen alan toimijoiden haastattelujen perusteella kysyntää erilaisiin konversioihin on runsaasti, etenkin lyhyemmillä reiteillä operoivilta aluksilta. Konversioiden yhteydessä aluksiin lisätään tyypillisesti akustoja, joilla alusta voidaan operoida satamissa sekä saaristossa eli ajallisesti noin 20–30 min aikoja. Akustojen hyödyntäminen propulsiokäytössä edellyttää sähköistä propulsiojärjestelmää, eli jos tätä ei aluksessa ole, joudutaan konversiossa muuttamaan aluksen kuljetuskoneisto ennen kuin akkuja voidaan aluksella hyödyntää. Nähtävissä on, että regulaation kasvun supistaessa alusten jälkimarkkinoita, kasvaa kysyntä erilaisille energiatehokkuutta lisääville ja päästöjä vähentäville konversioille entisestään.

Konversioiden etuna on myös niiden toteutuksen nopeus verrattuna kokonaan uuden aluksen rakentamiseen, mikä voi aluksesta riippuen viedä vuosia. Konversion valmis-

telu voidaan aloittaa laivan vielä operoidessa, jolloin aika jonka alus viettää poissa liikenteestä voi jäädä erittäinkin lyhyeksi riippuen konversion laajuudesta. Uusien alusten käyttöä on noin 30 vuotta on konversio usein myös kustannustehokkaampi ratkaisu, jos vaihtoehtona on esimerkiksi 15-vuotiaan laivan romuttaminen.

3.1 Akkujen saatavuus ja soveltuvuus vesiliikenteen tarpeisiin sekä niiden kehitysnäkymät

Akkuteknologiat kehittyvät jatkuvasti. Erilaisia akkutyyppejä on useita erilaisia, joista merkittävimmät tällä hetkellä ovat lyijyakut (Pb), litiumioniakut (Li), nikkelimetallihydridiakut (NiMH) sekä nikkelikadmiumakut (NiCd). Liikenteen sähköistyminen nojaa voimakkaasti litiumioniakkujen hyödyntämiseen. Litiumioniakkujen etuna on litiumin keveyden ja akkujen suhteellisen korkean energiatihedyyden lisäksi laaja-alainen kansainvälinen tuotantokapasiteetti, joka on tuonut akkujen hintaa alaspäin. (Craig, 2020) Litiumioniakkuteknologioita on useita erilaisia, joista vesiliikenteen tarpeisiin johtavat teknologiat ovat Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (NMC) ja Lithium Iron Phosphate (LFP). Näitä samoja akkumalleja hyödynnetään laajasti myös muissa käyttökohteissa kuten sähköautoissa ja kuluttajaelektronikassa.

Lähtökohtaisesti vesiliikenteen akkujärjestelmää ei valita alustyyppin mukaan vaan valintaan vaikuttavia kriteerejä on useita. Keskeisiä kriteerejä hinnan lisäksi on se, kuinka paljon akusta voidaan yhtäjaksoisesti ottaa virtaa ja toisaalta, kuinka nopeasti akku voidaan ladata. Akkujen vaatiman tilan lisäksi latausnopeus onkin yksi akkujen hyödyntämistä eniten rajoittava tekijä meriliikenteessä, kun akustot halutaan ladata maasähköllä. Latausajat rajoittavat myös maasähkön hyödyntämistä hybridialuksilla, etenkin suurilla aluksilla. Esimerkiksi ro-ro-alukset ovat usein satamassa vain muutamia tunteja, jolloin akustoihin kyetään lataamaan energiaa vain hyvin lyhyelle matkalle.

Alla olevassa taulukossa on havainnollistettu latausaikoja, mitä nykyteknologialla vaadittaisiin yksittäisen matkan kulkemiseen akustoon ladatulla energialla. Taulukossa on myös esitetty aika, jossa aluksen akustoon saataisiin ladattua riittävästi energiaa yhden kilometrin matkalle. Taulukon laadinnassa on hyödynnetty VTT:n LIPASTO tietokannan tietoja. Taulukosta tulee huomioida esimerkkien olevan kuvitteellisia. Todellisuudessa aluksille ei esimerkiksi tilan puutteen vuoksi kyettäisi asentamaan koko matkan energiantarpeen kattavia akustoja. Lataustehoksi on taulukossa oletettu 4 000 kW.

Taulukko 4. Reitin yhdensuuntaiseen kulkemiseen vaadittavan energian latausaika akku-käyttöisellä aluksella.

Reitti ja alus	Nopeus solmua	Matkustaja-kapasiteetti	Brutto-vetoisuus, t	Latausaika / km / koko matka	
Helsinki–Tallinna Autolautta	18	2 600–3 000	4 300	21 min	30 h
Helsinki–Tallinna Pikalaiva	40	400	60	7 min	11 h
Helsinki–Travemünde Ro-ro-matkustaja-alus	24	600	8 000	40 min	772 h

Akuille ominaista on niiden kapasiteetin pieneneminen käytön myötä. Näin ollen, keskeinen valintakriteeri akulle on myös sen käyttöikä, joka akkujen tapauksessa mitataan tyypillisesti lataus/purkusykleissä. Tyypillisesti, kun akku saavuttaa teknisen käyttöikänsä on sen kapasiteetista jäljellä 50–80 % käyttökohteesta riippuen. LFP akut kestävät tyypillisesti kennojen laadusta, käytöstavasta sekä ympäristön lämpötilasta riippuen 2 500–6 000 lataus/purkusykliä ennen niiden kapasiteetin pienenemistä 80 prosenttiin. Akkujen kestävyteen vaikuttaa myös akun latausnopeus. Mitä nopeampi akun lataus on, sitä vähemmän lataus/purkusyklejä akku kestää. Päivittäisessä ajossa, missä akku ladataan ja puretaan kerran päivässä, LFP akkujen käyttöikä vaihtelee siis 3–8 vuoden välillä. NMC akuilla vastaava käyttösykli määrä on tyypillisesti alhaisempi välillä 500–3 000, mikä päivittäisessä käytössä tarkoittaisi akun vaihtoa noin 1–4 vuoden välein.

Koska käyttöikänsä lopussa akkujen energiakapasiteetista on jäljellä vielä noin 50–80 %, on akuille mahdollista löytää jatkokäyttökohteita niiden alkuperäisen käyttökohteen jälkeen. Esimerkki jatkokäyttökohteesta voisi olla maalla oleva kohde, missä akkujen pienentynyt kapasiteetti voitaisiin kompensoida hyödyntämällä suurempaa määrää akkuja ilman, että akkujen viemä tila on haasteena. Mahdollisista jatkokäyttökohteista huolimatta akkujen kierrätettävyyden tulisi olla myös keskeinen valintakriteeri akuston hankinnassa alukselle. Litiumioniakut ovat lähtökohtaisesti kierrätettävissä, mutta tällä hetkellä kierrätysaste on alhainen. Kierrätyksen lisäksi litiumioniakkujen

käytössä haasteena ovat turvallisuuteen liittyvät tekijät kuten paloturvallisuus. Vesiliikenteessä turvallisuusasiat tulee ottaa huomioon jo aluksen suunnittelussa varmistuen esimerkiksi akustolle oman palo-osastoinnin.

Case: Ensimmäinen Suomessa valmistettu hybridikäyttöinen lautta

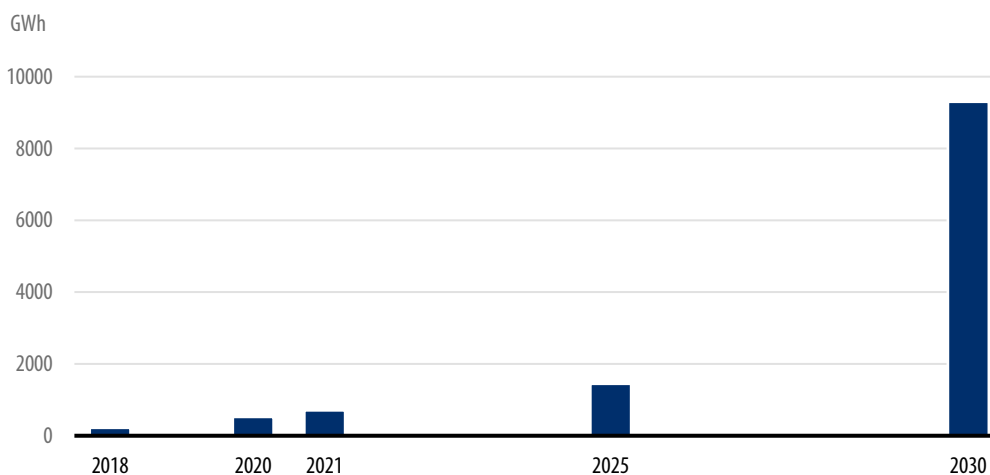
Uudenkaupungin Työveneen valmistama lautta Ruotsiin, Göteborgin joukkoliikenteeseen.

Göteborgin Göta-joella kulkeva Elvy-lautta otettiin käyttöön vuonna 2019. Hybridikäyttöinen lautta hyödyntää käyttövoimanaan akustoja sekä dieselgeneraattoria. Aluksen maksimi kuljetuskapasiteetti on 298 matkustajaa ja 80 polkupyörää. Alus toimii siltana joen yli. Matkan kesto on muutamia minuutteja. Yön aikana maasähköllä ladattavalla akustolla alusta voidaan operoida yhtäjaksoisesti 4–6 tuntia, jonka jälkeen hyödynnetään dieselgeneraattoria. Aluksen valmistamisessa kiinnitettiin erityistä huomiota aluksen painoon, jolloin aluksen energiatehokkuutta saatiin parannettua.

- Bruttovetoisuus 44 t
- Akuston kapasiteetti 1,0 MWh
- Dieselgeneraattorit 250 kW
- Moottorit 2 x 257 kW (Uudenkaupungin Työvene Oy, 2021)

Litiumionikemien tuotanto on voimakkaasti painottunut Aasiaan. Tällä hetkellä lähes 80 % kaikista litiumkemien tuotannosta on valmistettu Kiinassa. (Bhutada, 2022). Litiumionikemien kysyntä on kasvanut voimakkaasti viime vuosina ja kasvun on ennustettu moninkertaistuvan vuoteen 2030 mennessä. (Valio, 2019). Ennuste litiumionikemien tuotantokapasiteetista vuosina 2020–2030 on esitetty alla olevassa kuvassa.

Kuvio 3. Litiumionikemien tuotantokapasiteetti 2020–2021 sekä ennuste tuotantokapasiteetin kasvulle vuoteen 2030 mennessä (Bhutada, 2022).



Tuotantokapasiteetin kasvaessa litiumionikemien hinnat ovat laskeneet ja laskun on ennustettu jatkuvan. Asiantuntija-arvion mukaan tuotantokapasiteetin kasvun myötä hintojen ennustetaan laskevan noin 80 % seuraavan 10 vuoden aikana. Tällä hetkellä teollisen kokoluokan akkujärjestelmän kokonaishinta on suuruusluokaltaan 400–700 €/kWh.

Vaikka litiumionikemien tuotantokapasiteetin ja tuotantokustannusten on ennustettu tukevan akkujen hyödyntämistä, on näiden akkujen hyödyntämispotentiaalin kasvu, etenkin meriliikenteessä, rajattua. Akkujen energiatihydestä johtuen akkuteknologian hyödyntäminen meriliikenteessä rajoittuu lähtökohtaisesti lyhyen matkan merenkulkuun. (DNV GL, 2021). Asiantuntija-arvioiden mukaan nyt käytössä olevien litiumioniakkuteknologioiden energiatihyden kasvun on ennustettu olevan maltillista. Vuoteen 2050 mennessä energiatiheys voisi suuruusluokaltaan olla noin 10–20 %:a korkeampi nykyisestä. Näin ollen nyt käytössä olevien litiumioniakkuteknologioiden hyödyntämisen ei nähdä kasvavan merkittävään rooliin meriliikenteessä syvänmeren tai keskipitkillä reiteillä vuoteen 2050 mennessä.

Potentiaalisena nousevana akkuteknologiana nähdään Microsoftin kehittämä kiinteän elektrolyytin akut eli niin sanotut solid-state batteries (SSB), jotka ovat yhdyntyyppisiä litiumioniakkuja. Akkutyypin etuna on niiden korkea energiatiheys. SSB akkujen uskotaan saavuttavan yli kaksi kertaa nyt käytössä olevia litiumakkuteknologioita korkeamman energiatihyden. Teknologia on kuitenkin vielä kehitysvaiheessa, ja asiantuntija-arvioiden mukaan kyseisen akkuteknologian pilottihankkeita voidaan odottaa vasta muutaman vuoden kuluttua. Teknologian korkea hinta tulee luultavasti rajoittamaan kaupallisia sovelluksia, mutta kuluttajaelektronikassa akkuja voitaisiin kuitenkin nähdä

jo ennen vuotta 2030. Vesiliikenteen sovelluksissa SSB akkuja voitaisiin siten mahdollisesti hyödyntää 2040-luvulla. Suuren kokoluokan SSB akkujen markkinoille tulo ei vielä kuitenkaan näillä näkymin mullistaisi meriliikennettä, mutta laajentaisi akkujen hyödyntämispotentiaalia entistä pidemmille matkoille ja suuremmille aluksille. Myös muita akkuteknologioita kehitetään, esimerkiksi natriummetalliakkuteknologiaa on kehitetty Suomessa. Lähtökohtaisesti vuoteen 2050 mennessä markkinoille onkin voinut tulla kokonaan uusi disruptiivinen akkuteknologia, joka kykenisi mullistamaan koko meriliikennesektorin, tätä ei vielä kuitenkaan ole näköpiirissä.

3.2 Täyssähköisten ja hybridikäyttöisten alusten osuudet aluskannasta tarkasteluvuosina

Propulsiokäytössä akkuja voidaan parhaiten hyödyntää lyhyillä reiteillä sekä käsiteltäessä alusta satamassa tai saaristossa. Lyhyillä merireiteillä, joilla alusten tehontarve vaihtelee voimakkaasti, erilaiset sähkö- ja hybridikäyttöiset propulsioratkaisut ovat usein tehokkaampia kuin perinteinen mekaaninen voimansiirto. (DNV GL, 2021b). Akkuteknologian hyödyntäminen mahdollistaa aluksen moottoreiden käytön optimialueella riippumatta aluksen operointitilanteesta, kun akuista saadaan aluksen tarvitsema teho esimerkiksi saaristossa matalilla nopeuksilla tai talvimerenkulun tehopiikeissä. (RMC, 2022).

Suomen aluskannan akkujen hyödyntämispotentiaalin tarkastelussa on hyödynnetty Tilastokeskuksen dataa Suomen varsinaisesta kauppalaivastosta. Suomen varsinaiseen kauppalaivastoon kuuluvat alukset, joiden pituus on vähintään 15 metriä. Vuonna 2021 tähän luokkaan kuului 669 alusta. Varsinaisen kauppalaivaston alukset on jaettu kahdeksaan eri alustyyppiin. Nämä alustyypit on esitetty alla olevassa taulukossa. Taulukossa on myös esitetty kauppalaivastoon kuuluvien alusten määrät ja keskimääräiset bruttovetoisuudet kussakin alusluokassa. (Tilastokeskus, 2022). Kuten taulukosta nähdään ainoastaan Ro-ro-alusten, irtolastialusten ja säiliöalusten keskimääräiset bruttovetoisuudet ylittävät Fit-for-55-ilmastopakettiin kuuluvien AFIR asetuksen päivityksen ja FuelEU Maritime -aloitteen 5 000 t rajan, eli nämä päästövähennystoimet eivät kohdistu merkittävään osaan Suomen varsinaisesta kauppalaivastosta.

Taulukko 5. Varsinaiseen kauppalaivastoon kuuluvat alustyypit, niiden kuvaukset, määrät ja keskimääräiset bruttovetoisuudet

Alustyyppi	Määrä	Ka. brutto- vetoisuus	Kuvaus
Matkustaja-alukset	191	100	Kauppamerenkulkuun käytettävää alusta, joka kuljettaa enemmän kuin 12 matkustajaa.
Ro-ro-matkustaja-alukset	54	11 800	Ro-ro-alus, joka voi kuljettaa lastin lisäksi vähintään 12 matkustajaa, kutsutaan myös ro-pax-aluksiksi
Ro-ro-lastialukset	42	11 500	Alukset, joissa lastaus ja purku tapahtuvat siirtämällä lasti pyörien päällä alukseen ja aluksesta
Irtolastialukset	10	10 600	Rahtilaiva, joka kuljettaa pakkaamattomia irtolastia, kuten viljaa tai kivihiiltä
Muut kuivalastialukset	87	2 500	Muut yli 15 metriset kuivalastialukset
Säiliöalukset	9	19 600	Öljy-, kaasu- ja kemikaalisäiliöalukset
Erikoisalukset	180	400	Erikoistehtäviin kuten tieteelliseen tutkimukseen, merihenkilöstön koulutukseen, kaapelinlaskuun, tai muuhun vastaavaan erikoistarkoitukseen käytettävä alus
Muut alukset	96	100	Muut yli 15 metriset alukset

Käytännössä akut soveltuvat parhaiten reiteille, joilla alukset käyvät usein satamissa, jolloin akustoja voidaan ladata maasähköllä (RMC, 2022). Maasähköllä lataamisen edellytys on kuitenkin, että sataman maasähkölaitteet ovat yhteensopivia aluksen latausjärjestelmän kanssa. Laivojen maasähkölaitteita koskevia kansainvälisiä IEEE/IEC-standardeja ei noudateta kattavasti maailmanlaajuisesti, ja alusten käyttämät lataustehot ja -jännitteet sekä latauslaitteiden tekniset toteutukset vaihtelevat laajasti. Kuten luvussa 5 kuvataan, eivät latausjärjestelmät, joilla akustoja voitaisiin ladata maasähköllä, ole universaalisti yhteensopivia kaikkien alusten kanssa. Koska latausjärjestelmät kuitenkin edellyttävät merkittäviä investointeja on aluksen ja sataman

välillä yhteensopivan latausjärjestelmän varmistaminen taloudellisesti kannattavinta vakioituilla reiteillä eli esimerkiksi linjaliikenteessä.

Lähtökohtaisesti jonkinlaisia akkuja voidaan hyödyntää kaikilla alustyypeillä ja aluksilla. Propulsiokäytössä akkujen hyödyntäminen kuitenkin edellyttää että, aluksella on käytössä sähköinen, ei mekaaninen propulsiojärjestelmä. Tässä luvussa esitetyssä tarkastelussa on keskitytty akkujen hyödyntämiseen propulsiokäytössä eli tarkastelun ulkopuolelle on jätetty esimerkiksi tilanteet, missä akkuja hyödynnetään ainoastaan aluksen ollessa kiinnittyneenä satamaan, sekä tilanteet, joissa akkuja hyödynnetään aluksen omien sähköjärjestelmien kuten valaistuksen käyttöön.

Propulsiokäytössä akkuja voidaan käyttää niin täyssähköisillä aluksilla kuin myös hybridikäytössä eli osana propulsiojärjestelmää. Lähtökohtaisesti kaikilla alustyypeillä voidaan hyödyntää akkuja jonkinlaisessa hybridikäytössä jo nykytilanteessa. Vaihtelua on kuitenkin paljon siinä, minkä osan matkastaan alus voi kulkea akusta saatavalla energialla. Pienimmillään akkuja voidaan hybridikäytössä esimerkiksi hyödyntää ainoastaan aluksen manöveeraukseen satama-alueella.

Alla olevissa taulukossa on kuvattu alustyyppien akkujen propulsiokäyttöön vaikuttavia tekijöitä. Taulukossa on esitetty kulkevatko kyseisen alusluokan alukset tyypillisesti vakioreitillä, alusten tyypillinen satamassaoloaika sekä alusten tehontarve. Taulukosta tulee ottaa huomioon tietojen kuvaavan tyypillistä tilannetta asiantuntija-arviioon perustuen, eikä siis kaikkia kuhunkin alusluokkaan kuuluvia aluksia Suomen varsinaisessa kauppalaivastossa.

Taulukko 6. Eri alustyyppien akkujen propulsiokäyttöön vaikuttavia tekijöitä

Alustyyppi	Tyypillisesti vakio reitillä	Tyypillinen satamassaoloaika h	Alusten tyypillinen tehontarve kW
Matkustaja-alukset	Kyllä	12	<1 000
Ro-ro-matkustaja-alukset	Kyllä	1–12	25 000–40 000
Ro-ro-lastialukset	Kyllä	12–16	5 000–20 000
Irtolastialukset	Ei	24–36	8 000–12 000
Muut kuivalastialukset	Ei	12–20	1 300–7 000
Säiliöalukset	Ei	6–12	7 000–20 000
Erikoisalukset	Tapauskohtaista	Tapauskohtaista	Tapauskohtaista

Alla olevassa taulukossa on arvioitu eri alustyyppien teknistä potentiaalia hyödyntää akkuja propulsiokäytössä. Taulukossa on esitetty asiantuntija-arvioihin perustuen alustyyppien keskimääräinen potentiaali hyödyntää hybridi-propulsiojärjestelmää ja vastaavasti potentiaali täyssähköisten alusten hyödyntämiseen kussakin alusluokassa sekä siihen vaikuttavia tekijöitä. Täyssähköisten alusten osalta taulukon arviot koskevat lähtökohtaisesti uusia aluksia. Joissain määrin, etenkin pienempiä aluksia voidaan myös konvertoida täyssähköisiksi. Useimmiten vanhojen alusten konversioissa hybridikäyttöinen propulsiojärjestelmä on teknisestä näkökulmasta toteutettavissa.

Taulukko 7. Arvio eri alustyyppien teknisestä potentiaalista hyödyntää akkuja propulsiokäytössä.

Alustyyppi	Potentiaali hybridialuksiin	Mahdollisuus täyssähköisiin aluksiin
Matkustaja-alukset	Hyvä	Hyvä, alukset keskimäärin pieniä ja säännöllisessä liikenteessä.
Ro-ro-matkustaja-alukset	Hyvä	Heikko, tehontarve suuri. Lyhyillä paikallisilla matkoilla riittävä akkukapasiteetti mahdollinen. Pitemmällä matkoilla ei tilaa akuille.
Ro-ro-lastialukset	Hyvä	Heikko, tehontarve suuri ja lastinottokyky rajoittaa. Lyhyillä matkoilla esim. rannikolla ja sisävesillä mahdollinen. Pitemmällä matkoilla ei tilaa akuille.
Irtolastialukset	Hyvä	Keskiverto, lastinottokyky rajoittaa. Lyhyillä matkoilla esim. rannikolla ja sisävesillä mahdollinen. Pitemmällä matkoilla ei tilaa akuille.
Muut kuiva-lastialukset	Hyvä	Keskiverto, lastinottokyky rajoittaa. Lyhyillä matkoilla esim. rannikolla ja sisävesillä mahdollinen. Pitemmällä matkoilla ei tilaa akuille.
Säiliöalukset	Hyvä	Keskiverto, lastinottokyky rajoittaa. Lyhyillä etäisyyksillä voi olla mahdollinen.
Erikoisalukset	Hyvä	Tapauskohtaista

Suomen varsinaisen kauppalaivaston keski-ikä on verrattain korkea, 51 vuotta. Keskimäärin pienten alusten iät ovat kuitenkin huomattavasti korkeampia kuin suurten alusten. Bruttovetoisuuteen suhteutettuna alusten keski-ikä on 18 vuotta. Kuten luvussa 8.3 on todettu, arvioiden mukaan vuoteen 2050 mennessä 50 % Suomen varsinaisen kauppalaivaston aluksista on käynyt läpi mittavan peruskorjauksen ja 50 % laivastosta on kokonaan uudistunut.

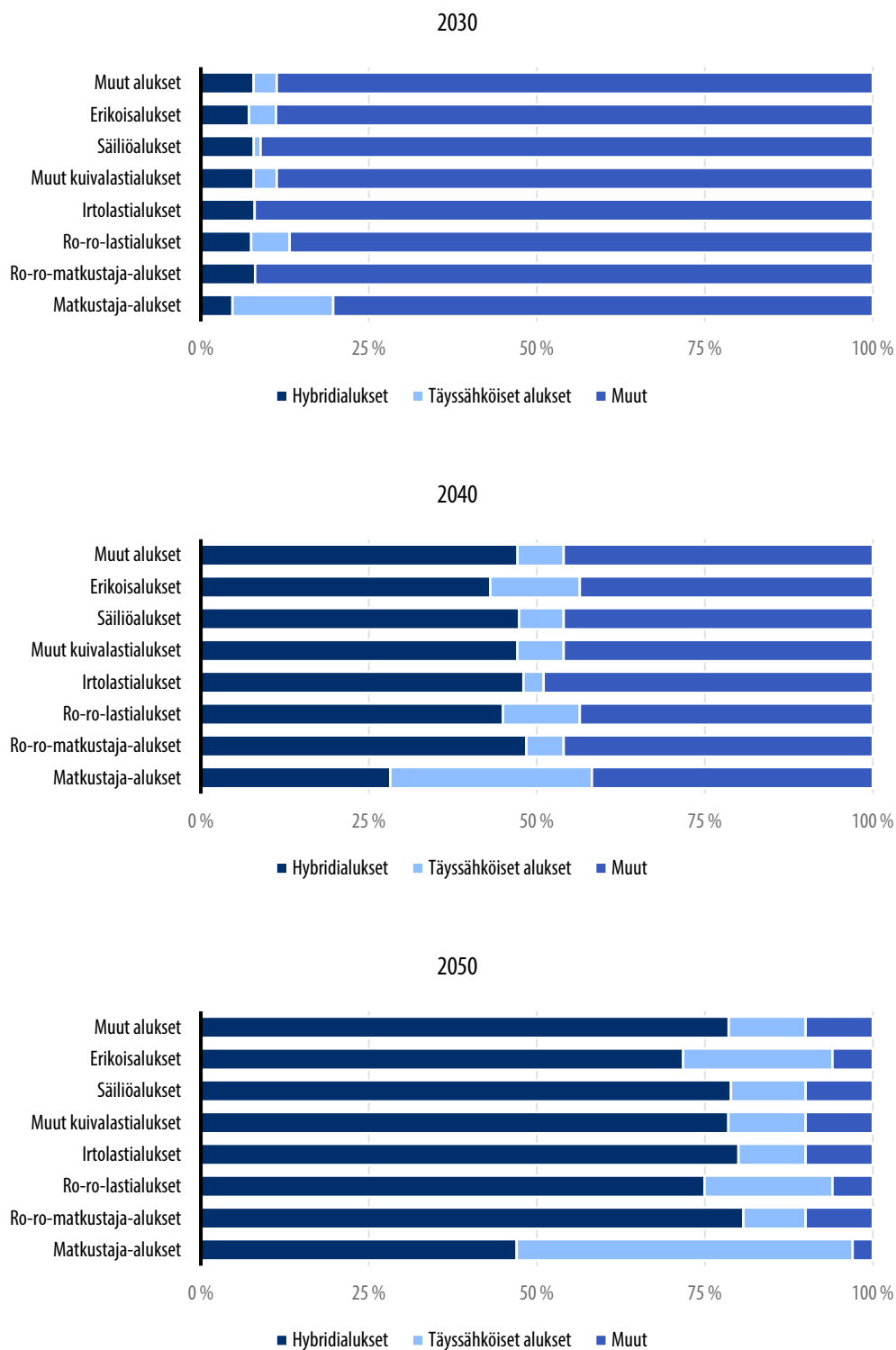
Tässä selvitystyössä tehtyjen alan toimijoiden haastattelujen mukaan yleinen näkemys on, että erilaisia akkuratkaisuja tullaan integroimaan hyvin suureen osaan aluksista vuoteen 2050 mennessä. Akut tulevat kuitenkin pääsääntöisesti tukemaan muita propulsiojärjestelmiä, esimerkiksi parantamaan aluksen energiatehokkuutta ja auttamaan operoitaessa aluksia saaristossa sekä satama-alueilla.

Akku/akkuhybridi aluskannan määrän tulevaisuudennäkymien arvioinnissa on hyödynnetty Tilastokeskuksen dataa Suomen varsinaisesta kauppalaivastosta, sen iästä ja alusten koista sekä yllä esitetyissä taulukoissa esitettyjä tietoja alustyyppien ominaispiirteistä. Alla olevissa kuvissa on esitetty tässä selvitystyössä tehtyjen alan toimijoiden haastattelujen sekä työn tekijöiden asiantuntija arvioihin perustuen arvio täyssähköisten propulsiojärjestelmien ja hybridikäyttöisten alusten osuuksista Suomen varsinaisesta kauppalaivastosta vuosina 2030, 2040 ja 2050. Akkuteknologian kehityksen kannalta vuoden 2030 tilanteen katsotaan olevan saavutettavissa ilman merkittäviä kehitysaskelia akkuteknologiassa. Vuosien 2040 ja etenkin vuoden 2050 laajamittainen hybridipropulsiojärjestelmien hyödyntämisen ja nykytilanteeseen verrattuna laajan täyssähköisten propulsiojärjestelmien hyödyntämisen katsotaan edellyttävän merkittävää akkuteknologioiden kehitystä.

Kuten kuvista nähdään, hybridikäyttöisten propulsioratkaisujen arvioidaan yleistyvän laajamittaisesti vesiliikenteessä vuoteen 2050 mennessä ja täyssähköisten alusten osuuden nähdään myös kasvavan. Eri alusluokista korkein sähköistymispotentiaali on ”muut matkustaja-alukset” -luokkaan kuuluvilla laivoilla. Näiden alusten bruttovetoisuus on keskimäärin pieni, ja alukset kulkevat pääasiassa säännöllisessä linjaliikenteessä. Lähes puolet näistä aluksista voisivatkin asiantuntijanäkemyksen mukaan olla täyssähköisiä vuoteen 2050 mennessä ja täyssähköisillä aluksilla voisi jo vuoteen 2030 mennessä olla merkittävä osuus. Ro-ro-matkustaja ja ro-ro-lastialuksien sähköistymispotentiaalin on sitä vastoin katsottu olevan rajoittunein. Näiden luokkien alukset ovat keskimäärin suuria ja alukset kulkevat keskimäärin pidemmillä reiteillä. Ensimmäisten täyssähköisten ro-ro-alusten arvioidaan kuitenkin olevan käytössä vuonna 2040.

Täyssähköisten alusten osuuksien arvioinnissa on alustyyppien ominaisuuksien lisäksi arvioitu reittejä, joilla täyssähköisiä aluksia voitaisiin mahdollisesti hyödyntää. Täyssähköiset alukset soveltuvat lähtökohtaisesti harvoille reiteille, missä akustoista saatava teho pystyy kattamaan koko tehontarpeen ja aluksen satamassa viettämä aika riittää akuston lataamiseen. Tallaisia reittejä Suomesta katsotaan kuitenkin olevan muun muassa Helsinki–Tallinna väli sekä Ahvenanmaa–Naantali väli. Esimerkiksi Saksaan suuntautuvilla reiteillä ei nähdä olevan mahdollista hyödyntää täyssähköisiä propulsiojärjestelmiä koko tarkasteluajana.

Kuvio 4. Arvio täyssähköisten propulsiojärjestelmien ja hybridikäyttöisten alusten osuudesta Suomen varsinaisesta kauppalaivastosta vuosina 2030, 2040 ja 2050.



3.3 Vesiliikenteen latauskapasiteetin kehitystarve Suomen satamissa

Suuren mittakaavan laivaliikenteen lataustarve tulee katettua satamien maasähkölaitteilla. Maasähkölaitteita on käsitelty tämän raportin luvussa 4.2. Näissä tapauksissa laivan akustoja lataava laitteisto sijaitsee laivassa ja sen tarvitsema energia otetaan maasähkölaitteista. Pienemmän mittakaavan, usein täyssähköisen liikenteen, akkukäyttö Suomen olosuhteissa tulee kyseeseen lähinnä maantielautoilla, losseilla, lyhyen matkan matkustajaliikenteessä, esim. vesibusseissa sekä erilaisissa kalastus- ja työveneissä. Näihin tarpeisiin liittyen tarvitaan satamaan erillistä latausinfraa. Koska Fit-for-55-ilmastopakettiin kuuluvat AFIR asetuksen päivitys ja FuelEU Maritime -aloite koskevat ainoastaan bruttovetoisuudeltaan yli 5000 aluksia, eivät nämä päästövähennystoimet koske tässä kappaleessa käsiteltyjen pienempien vesikulkuneuvojen latausta.

Suomessa on 40 maantielauttayhteyttä, joista väli Parainen–Nauvo on sähköistetty. Toista yhteyttä rakennetaan välille Nauvo–Korppoo, ja sen arvioidaan valmistuvan vuonna 2023 (FinFerries Oy, 2021). Maantielautoilla ja losseilla latausaika on tyypillisesti hyvin lyhyt, 5–15 minuuttia, ja vaadittava latausteho suuri: esimerkiksi Parainen–Nauvo-reitin Elektra-lautan latausaika on 5 min ja latausteho 1800 kW. Maantielautan latausasema vaatii käytännössä keskijännitesähköliittymän, jonka rakentamiskustannukset voivat nousta satoihin tuhansiin euroihin. Tarvittavat latausjärjestelmät ja niiden vaatimat sähköverkkojen muutokset tuleekin suunnitella ja rakentaa tapauskohtaisesti.

Pienempien vesikulkuneuvojen lataus voidaan järjestää joko maasähkölaitteen tai erillisen laiturilla sijaitsevan latausaseman kautta. Maasähkölaitetta käytettäessä latausta valvova laitteisto sijoitetaan alukselle. Tarvittavaan lataustehoon vaikuttavat akuston koko ja käytettävissä oleva latausaika: esimerkiksi 200 kWh akustoa yön yli ladattaessa riittää suhteellisen pieni 63 A pienjännitelaitteisto. Pienjännitteisten latauslaitteiden rakentamiskustannus jää todennäköisesti varsin matalaksi verrattuna suuritehoisiin keskijännitelaitteistoihin erityisesti, jos rakentamisessa voidaan hyödyntää sataman olemassa olevaa sähköverkkoa (vrt. sähköauton latauslaitteisto).

Taulukko 8. Esimerkkejä akustojen latausvirroista eri jännitteillä ja latausajoilla

Akuston kapasiteetti (kWh)	Latausjännite (V)	Latausaika (h)	Latausvirta (A)	Latausteho (kW)
200	400	10	50	34,6
500	400	10	125	86,6
1 000	690	1	1 450	1 733
1 000	690	10	145	173,3

4 FuelEU Maritime -asetusehdotuksen ja AFIR-asetuksen päivityksen vaikutukset vesiliikenteen sähköistymiseen

Tässä luvussa esitellään Euroopan komission Fit-for-55-ilmastopakettiin kuuluvien aloitteiden vaikutuksia vesiliikenteen sähköistymiselle. Kappaleessa keskitytään FuelEU Maritime -asetuksen sekä vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönottodirektiivin (AFIR) päivityksen vaikutuksiin Suomessa. Molempien aloitteiden sisältö on esitetty yksityiskohtaisemmin luvussa 3. Tässä kappaleessa käsitellään Suomen satamien maasähkö- ja latausinfrastruktuurin nykytilaa, käytännön toimia, mitä satamissa ja vesiliikenteessä yleisesti seuraa asetusten toimeenpanosta sekä sitä, minkälaisia vaikutuksia näillä on Suomen sähkönjakeluverkostolle.

4.1 Nykyinen maasähkö- ja latausinfrastruktuuri satamissa

Osana tätä selvitystyötä haastateltiin viiden eri suomalaisen sataman edustajia maasähkön saatavuuteen liittyen. Lähes kaikki haastatelluista satamista ilmoittivat merkittäviä haasteita liittyen maasähkön tarjonnan nykytilaan. Suuressa osassa satamista oli kuitenkin aloitettu toimet maasähkön saatavuuden parantamiseen liittyen. Osa satamista tunnisti kaupunkien asettamien ilmastotavoitteiden ajaneen myös maasähkään liittyviä projekteja satamissa. Esimerkiksi Turun kaupungin tavoite hiili-neutraaliuden tavoittamisesta vuoteen 2029 mennessä on ajanut myös Turun sataman päästövähennystoimia ja näin myös maasähkön saatavuuden parantamista. Vastaavasti Naantalın kaupungin liittyminen vuonna 2022 Hinku-verkostoon on luonut uusia tavoitteita myös Naantalın sataman päästövähennystoimille. Osana Hinku-verkostoa Naantalın kaupunki pyrkii vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä 80 prosenttia vuoteen 2030 mennessä vuoden 2007 tasosta.

Kauppamerenkululle tarkoitetut maasähkölaitteet ovat käytössä Helsingin, Naantalın, Vaasan ja Kemin satamissa. Muissa satamissa ei tällä hetkellä ole käytössä maasähköä. Helsingin Eteläsatamassa on käytössä kaksi maasähkölaitetta, jotka palvelevat aikataulunmukaista autolauttaliikennettä. Länsisatamaan ollaan rakentamassa kahta

laitteistoa niin ikään aikataulunmukaisen reittiliikenteen tarpeisiin ja Vuosaaren on rakenteilla yksi laitteisto Ropax-liikenteen tarpeisiin. Rakenteilla olevien laitteistojen arvioitu valmistumisaika on loppuvuodesta 2022.

Naantalin satamassa on yksi maasähkölaitte, joka palvelee aikataulunmukaista linjaliikennettä. Laitteen jännitetaso on 11 kV ja teho 3500 kVA. Vaasan satamassa on yksi maasähkö- ja latauslaitte, joka palvelee Vaasan ja Uumajan välillä kulkevaa Ropax-alusta.

Kemin satamassa on yksi maasähkölaitte, joka palvelee metsäteollisuuden kuljetuksia. Laitteen jännitetaso on 6,6 kV ja teho 1250 kVA. Liitäntä laivaan tapahtuu yhden liitäntäpistorasian kautta. Kemin sataman alustavana suunnitelmana on hankkia vuoteen 2030 mennessä kaksi uutta maasähkölaitetta, joista toinen on pienjännitteelle ja toinen keskijännitteelle.

Vaasan satamassa on käytössä yksi maasähkölaitte, joka palvelee aikataulunmukaista linjaliikennettä. Vaasaa lukuun ottamatta, TEN-T-verkon satamissa ei ole sähköisten vesikulkuneuvojen latauslaitteita.

4.2 Maasähköinfrastruktuurin tekniset vaatimukset

Maasähkölaitteistojen rakennetta ja toimintaa säätelevät kansainväliset sähkötekniset standardit IEC/IEEE 80005-1,-2 ja -3. Kytkentäilaitteista ja -liittimistä määrätään standardeissa IEC/IEEE 62613-1 ja 62613-2. Huvialusten ja veneiden maasähkölaitteistojen säädetään erikseen SFS 6000-standardisarjassa, eikä niitä käsitellä tässä selvityksessä.

Syötettävän maasähkön tulee olla 3-vaiheista vaihtosähköä, jonka taajuus on 50 tai 60 Hz. Jännitetasot ovat 400, 440 ja 690 V pienjännitteelle sekä 6,6 tai 11 kV keskijännitteelle. Aluksen ja maasähköverkon välillä tulee olla galvaaninen erotus. Sähkönkulutuksen mittauksesta ei säädetä standardissa, mutta sähköverkoissa yleisesti käytetyt mittaustekniikat ja -laitteistot soveltuvat myös maasähkön kulutuksen mittaamiseen.

Aluksen mahdollinen oikeus käyttää verovapaata maasähköä voidaan määrittää yksinkertaisesti kauppa-alusrekisterin perusteella. Aluksen tarvitsema maasähköteho

vaihtelee alustyypeittäin mm. aluksen koon, lastinkäsittelylaitteiston käytön ja konttialuksen kuljettamien kylmä- ja lämpökonttien määrän mukaan. Taulukossa alla (Taulukko 9) on esitetty alusten suuntaa antavia sähkötehoja.

Taulukko 9. Alusten suuntaa antavia sähkötehoja (Ericsson & Fazlagic, 2008).

Alustyyppi	Keskimääräinen maasähkötehon tarve (kVA)	Suurin maasähkötehon tarve (kVA)	Suurin maasähkötehon tarve 95 %:lle aluksista (kVA)
Konttialus (<140 m)	170	1 000	800
Konttialus (>140 m)	1 200	8 000	5 000
Konttialukset yhteensä	800	8 000	4 000
Ro-ro-alukset	1 500	2 000	1 800
Tankkerit	1 400	2 700	2 500
Risteilyalukset (<200 m)	4 100	7 300	6 700
Risteilyalukset (>200 m)	7 500	11 000	9 500

Merkittävänä hidasteena maasähkön käytön yleistymiselle on pidettävä vanhempien alusten sähkötekniikan epäyhdenmukaisuutta: jännitetasot ovat pienjännitteellä 380...690 V ja keskijännitteellä 3...11 kV. Vaihtosähkön taajuutena käytetään laivoilla joko 50 tai 60 Hz. Maasähköliitännät ovat myös kirjavia, vaihdellen kaapeleiden ruuvi-liitännästä erilaisiin pistokeratkaisuihin.

Ongelmaksi tunnistetaan myös laivojen kyky tahdistua sähköverkkoon. Ilman tahdistusmahdollisuutta laivan oma sähköjärjestelmä joudutaan sammuttamaan maasähköverkkoon kytkemisen ajaksi. Tämä aiheuttaa laivaan hetkellisen black out -tilanteen, jolloin sähköiset järjestelmät eivät ole käytettävissä. Yleisesti ottaen tätä pidetään erittäin ei-toivottuna tilanteena, joka voi johtaa monenlaisiin ongelmiin, vaikka laiva olisi-kin kiinnittyneenä laituriin (laiterikot, ict- ja turvajärjestelmien häiriintyminen). Laivan

tahdistumismahdollisuutta onkin pidettävä maasähkön käytön perusedellytyksenä kaikissa laivatyypeissä.

Maasähkösyyttö on helpompi järjestää säännöllistä linjaliikennettä ajaville aluksille: tekniset järjestelyt voidaan sopia sataman ja varustamon välillä jo aluksen ja laitteiston suunnitteluvaiheessa.

4.2.1 Asetusehdotusten maasähkövelvoitteen vaikutukset Suomen sähkönjakeluverkostolle

Maasähkövelvoitteen vaikutuksia Suomen sähkönjakeluverkoille arvioitiin verkkoyhtiöille suunnatulla strukturoidulla haastattelulla. Haastatteluun osallistuivat Caruna, Haminan Energia, Helen Sähköverkko, Herrfors Nät, Kymenlaakson Sähköverkko, Oulun Energia, Turku Energia ja Vaasan Energia. Lisäksi raportissa on hyödynnetty syksyllä 2021 tehdyn Pohjanlahden satamien (Vaasa, Pietarsaari ja Kaskinen) maasähköselvityksen haastattelutuloksia.

Sähköverkkotoimintaa säätelee sähkömarkkinalaki 588/2013. Lain mukaan sähköverkkoyhtiöillä on velvollisuus rakentaa tarvittava verkko ja toimittaa sähköä kaikille asiakkaille tasapuolisesti. Laki myös estää verkkoyhtiöitä toimimasta sähkön myyjänä.

Suomen sähkönjakeluverkkoja on uusittu viimeisen kymmenen vuoden aikana laajasti vastaamaan sähkömarkkinalain 51 § laatuvaatimuksia koskien sähkön toimitusvarmuutta. Verkkoyhtiöt arvioivat jakeluverkkojensa olevan hyvässä kunnossa niin sähkönsiirtokapasiteetin kuin teknistaloudellisen käyttöiän osalta, eikä akuuttia tarvetta yleisiin korvausinvestointeihin ole.

Helsingin erityispiirteenä on kantakaupungin 10 kV keskijänniteverkko, joka rajoittaa tehonsiirtoa. Kantakaupungin sähkönkulutus ja verkon kuormitus tulevat kasvamaan voimakkaasti Salmisaaren ja Hanasaaren lämpövoimalaitosten lopettaessa toimintansa vuosina 2023–2024, ja lämmityksen siirtyessä enemmän sähköisien ratkaisujen varaan (Helen Oy, 2021). Erityisesti Länsisatamaan risteilyaluksille tehtävät maasähköinvestoinnit voivat vaatia uuden 110 kV kaapeliyhteyden rakentamista. Kantakaupungin tiiviistä rakennuskannasta johtuen investoinnin rakennuskustannukset tulevat olemaan hyvin korkeat.

Haastateltujen yhtiöiden yhteinen näkemys oli, että satamien sähköteholtaan alle 3 MVA hankkeet pystytään toteuttamaan olemassa olevaa sähköverkkoa käyttäen. Sähköteholtaan yli 3 MVA hankkeet vaativat pääsääntöisesti olemassa olevan verkon vahvistamisen tai kokonaan uuden yhteyden rakentamisen. Yli 10 MVA hankkeissa

joudutaan yleensä rakentamaan syöttävälle sähköasemalle uusi keskijännitelähtö, joka kasvattaa kustannuksia merkittävästi (Sähköverkkoyhtiöt, 2022).

Sähköverkkoyhtiöt perivät keskijänniteliittymien rakentamisesta kapasiteettivarausmaksun sekä verkon välittömät laajennuskustannukset Energiaviraston hinnaston mukaan. Kapasiteettivarausmaksu on kertaluonteinen maksu, jolla verkkoyhtiöt kattavat rakennettavista sähköliittymistä aiheutuvat olemassa olevan verkon vahvistamiskustannukset. Maksu määräytyy rakennettavan liittymän tehon mukaan. Haastateltujen verkkoyhtiöiden kapasiteettivarausmaksut vaihtelevat välillä 8,8...55 €/kVA, keskihinnan ollessa 23,40 €/kVA. (Sähköverkkoyhtiöt, 2022). Keskimääräisellä kapasiteettivarausmaksulla laskettuna 10 MW sähkötehon tarpeen lisääntyminen satamassa aiheuttaisi 234 000 € kustannukset. Jos sähkötehon tarve lisääntyisi 30 MW, aiheuttaisi siitä noin 700 000 € kustannukset. Kapasiteettivarausmaksun lisäksi veloitetaan välittömät verkonrakentamiskustannukset, käytännössä maasähköinvestoinneista sähköverkkoon kohdistuvat investointitarpeet tulevat näin ollen kokonaisuudessaan satamayhtiön maksettavaksi. Sähkötehon tarpeen lisääntyminen satamissa ei johdu pelkästään maasähköliittämien tarjoamisesta vaan myös muun muassa työkoneiden ja nostureiden sähköistymisestä.

Energiavirasto luokittelee satamat maanrakennuskustannusten perusteella vaikean olosuhteen ympäristöksi (Energiavirasto, 2016). Satamien olosuhteet, kuten mahdollisen maasähkypisteen sijainti lähimmältä sähköverkon pisteeltä, vaihtelevat suuresti, joten jokainen investointi on arvioitava erikseen. Esimerkkejä verkonrakennuksen investointikustannuksista esitetään alla olevissa taulukoissa 10, 11 ja 12.

Taulukko 10. Esimerkkilaskelma 1 km pituisen 20 kV maakaapeliverkon rakennuskustannuksista satama-alueella. Ei sisällä muuntamoita, kytkinasemia eikä liittymismaksua. (Energiavirasto, 2016).

Verkkokomponentti	Yksikkö	Määrä	Yksikköhinta €	Kokonaishinta €
Maakaapeli – vaikea olosuhde	m	1 000	77,2	77 200
20 kV maakaapeli 185 mm ²	m	1 000	36,2	36 200
Kojeistopääte	kpl	2	1 100	2 200
Jatkos	kpl	1	1 700	1 700
Yhteensä €/km				117 300

Taulukko 11. Esimerkkilaskelma 1 km pituisen 20 kV maakaapeliverkon ja 20/6,6 kV, 2500 kVA muuntamon ja uuden keskijänniteliittymän rakennuskustannuksista satama-alueella (Energiavirasto, 2016).

Verkkokomponentti	Yksikkö	Määrä	Yksikköhinta €	Kokonaishinta €
Maakaapelioja – vaikea olosuhde	m	1 000	77,2	77 200
20 kV maakaapeli 185 mm ²	m	1 000	36,2	36 200
Kojeistopääte	kpl	2	1 100	2 200
Kaapelijatkos	kpl	1	1 700	1 700
Puistomuuntamo 2500 kVA	kpl	1	80 000	80 000
Muuntaja 20 / 6,6 kV, 2500 kVA	kpl	1	50 000	50 000
Kapasiteettivarausmaksu	€/kVA	2500	26,40	66 000
Yhteensä €/km				313 300

Taulukko 12. Esimerkkilaskelma 1 km pituisen 20 kV maakaapeliverkon ja 20/11 kV, 12 MVA muuntamon ja uuden keskijänniteliittymän rakennuskustannuksista satama-alueella. Syöttävälle sähköasemalle rakennetaan uusi 20 kV johtolähtö. (Energiavirasto, 2016).

Verkkokomponentti	Yksikkö	Määrä	Yksikköhinta €	Kokonaishinta €
Maakaapelioja – vaikea olosuhde	m	1 000	77,2	77 200
20 kV maakaapeli 2 x 240 mm ²	m	2 000	39,0	78 000
Kaasueristeinen 2-kiskokojeisto, lähtökentän lisäys sähköasemalle	kpl	1	48 200	48 200
Kojeistopääte	kpl	4	1 100	4 400
Kaapelijatkos	kpl	2	1 700	3 400
Kytkinasema ja muuntamokenttä	kpl	1	100 000	100 000
Muuntaja 20 / 11 kV, 12 MVA	kpl	1	250 000	250 000
Kapasiteettivarausmaksu	€/kVA	12 000	26,40	316 800
Yhteensä €/km				868 000

4.2.2 Asetusehdotuksen edellyttämät sähköinvestoinnit Suomen satamiin

Suuritehoisten maasähkölaitteiden yleistyminen edellyttää investointeja itse laitteistoihin sekä satamien sähköverkkoihin. Tällä hetkellä satamien käytössä on tyypillisesti muutama keskijänniteliittymä sekä joitain kymmeniä pienjänniteliittymiä. Helsingin, HaminaKotkan, Turun ja Rauman satamien sähkönkulutus on 12–25 GWh/a (vastaa 1,4–2,9 MW tasaista kuormaa). Pienempien satamien kulutus on tyypillisesti 2–5 GWh/a (vastaa 0,2–0,6 MW tasaista kuormaa).

Sähköverkot suunnitellaan ja rakennetaan aina todellisen ja lähitulevaisuuteen ennustettavan sähkönkäytön mukaisesti. Vihreän siirtymän aiheuttama sähkökäyttöjen nopea lisääntyminen on vaikeuttanut verkon kehityksen ennustettavuutta ja toteutuvat hankkeet ovat usein hyvin suuritehoisia, joka lisää paikallisia investointikustannuksia.

Maasähkölaitteiden hinnat vaihtelevat suuresti käytettävien jännitetasojen, taajuuksien ja tehon sekä käytettävän liitälaitteiston (kaapelit, robottikäsi) mukaan. Yksinkertaisimpien pienjännitelaitteistojen hinnat alkavat noin 250 000 eurosta ja keskijännitelaitteistot noin 500 000 eurosta. Maasähkölaitteiden investoinnit tulevat lähtökohtaisesti kokonaisuudessaan satamayhtiön maksettavaksi.

Maasähkön jakelua ja suuritehoisia latauslaitteita suunniteltaessa on huomioitava sataman muut sähköiset kehitystarpeet, kuten lastinkäsittelylaitteet. Sähköistyksen investointikustannuksia voidaan laskea hyödyntämällä olemassa olevia kaapelireittejä sekä rakentamalla varaputkituksia ja kaapelikanavia muiden rakennushankkeiden yhteydessä.

Konseptuaalinen esimerkki kustannuksista: sähköverkko ja satama

10 MW uusi maasähköliitäntä (1 kpl), 1 km 20 kV linjaa, 12 MVA muuntamo (ks. Taulukko 12), sekä 12 MW lisäkulutukset sähköverkkoon.

Rakennettaessa yksi uusi 10 MW maasähköliitäntä satamaan, jossa tarvitaan uusi 20 kV johtolähtö muuntajineen, kustannusarvio on Taulukko 12 mukaisesti 868 000 €. Tässä kustannuksessa on mukana sähköverkon vahvennustyöt kapasiteettivarausmaksulla katettuna. Tämän lisäksi tarvitaan itse maasähkölaitteisto, jonka kustannus on myös hyvin tapauskohtainen. Keskiarvokustannukseksi on arvioitu tässä työssä alimmillaan 500 000 € ja tavallisessa esimerkkitapauksessa noin 1 000 000 €. Kokonaiskustannukseksi voisi tulla tällaisessa tapauksessa esimerkinomaisesti 1 868 000 € satamaa kohden.

- Kokonaiskustannus yhdelle satamalle esimerkin mukaisesti 1 868 000 €
- Jos jokaiseen TEN-T-ydinverkoston neljälle satamalle tehtäisiin esimerkin mukainen järjestelmä, olisi kokonaiskustannus neljälle satamalle noin 7,5 miljoonaa €
- Jos jokaiseen kolmeentoista TEN-T kattavan verkoston satamaan (Kemi, Oulu, Raahen, Kokkola, Pietarsaari, Vaasa, Kaskinen, Pori, Rauma, Hanko, Kilpilahti sekä Ahvenanmaalta Eckerö ja Maarianhamina. (Traficom, 2021).) tehtäisiin esimerkin mukainen investointi olisi kustannus noin 24 miljoonaa euroa.

Edelliset esimerkkikustannukset eivät vastaa todellisuutta vaan ovat esimerkkejä kokonaiskustannuksista tapauksessa, jossa esimerkin omaiset työt tarvitsisi tehdä sataman maasähkölaitteiston mahdollistamiseksi ja rakentamiseksi. Todelliset kustannukset ovat hyvin tapauskohtaisia riippuen olemassaolevasta infrasta. Myös eri satamien tarve maasähkölaitteiston koolle vaihtelee paljon, riippuen liikennöivästä aluskannasta ja vierailijain kestosta. Osassa satamia on tarve erikokoisille ja useammalle kuin yhdelle maasähkölaitteistolle.

4.3 Kansainvälisen päästösäätelyn polttoainemaksujen vaikutukset maasähkön kustannustehokkuuteen

Tässä luvussa on arvioitu kansainvälisen päästösäätelyn suunnitelmien, meripoltto-aineiden verovapauden poiston ja päästökauppaan liittämisen, vaikutusta maasähkön kustannustehokkuuteen. Koska maasähkön kustannukset, käytön määrä ja teho vaihtelevat paikkakunnittain paikallisesta infrasta, sataman sijainnista sekä satamissa vierailijain laivoista johtuen, on arviota kokonaisuudesta lähestytty herkkyytyksin. Tämä

arvio on suuntaa antava ja sisältää paljon oletuksia, jotka esitellään tekstissä. Käytetyt oletukset perustuvat haastatteluihin, asiantuntijanäkemyksiin sekä kerättyyn tietoon Pohjanmaan kolmelle satamalle tehdystä maasähköselvityksestä, jonka tiedot on skaalattu tämän selvityksen maasähkön suurempaan kokoluokkaan (Ramboll, 2021).

Fuel EU Maritime asetusehdotuksen mukaisesti uusiutuvien ja vähähiilisten polttoaineiden käyttöä tulee lisätä bruttovetoisuudeltaan yli 5 000 t aluksilla. Uusiutuvien polttoaineiden hinnat ovat huomattavasti fossiilisia vastineitaan kalliimpia. Tällöin myös maasähkön kannattavuus paranee. Uusiutuvien polttoaineiden tuoreita hintoja on esitetty Taulukko 13 alla. Biodieseleiden hintoja tulee verrata Dieselin hintaan vastaavina tuotteina. Alla taulukossa biodieseleiden hinnat ovat 70–90 % korkeampia kuin Dieselin hinta taulukon tekohetkellä. Palmuöljyn ja Rypsiöljyn hintaero raakaöljyyn on tätä huomattavasti suurempi. Biodieseliä voidaan valmistaa palmuöljystä ja rypsiöljystä, jolloin hinta voi olla vielä korkeampi.

SME ja FAME biodieseleihin verrattuna fossiilisen dieselin hintaero on noin 90–110 €/MWh. Tämä vastaa noin 400 €/tCO₂ päästöoikeusmaksun vaikutusta polttoaineen hinnan nousuun. Fuel EU Maritime asetusehdotuksen vaikutuksesta vähähiilisten polttoaineiden lisäämisen tavoitteet ohjaavat asteittaiseen siirtymään (ks. luku 2.2). Näin ollen, vuonna 2050 kustannusnousu apukoneen tuottamalle sähkölle vastaa noin kolmea neljänestä polttoaineiden hintaeroon verrattuna (75 % vähennys päästöissä verrattuna vuoteen 2020). Tämän perusteella $400 \text{ €/tCO}_2 \cdot 3/4 = 300 \text{ €/tCO}_2$ päästöoikeuden hintataso vaikuttaa apukoneen tuottamaan sähkönhintaan yhtä paljon kuin Fuel EU Maritime asetusehdotuksen tavoitteen täyttäminen biodiesellillä. Tarkastelussa tulee huomioida, että koska bruttovetoisuudeltaan alle 5000 t aluksia ei koske ehdotus liittää merenkulku EU:n päästökauppaan eikä Fuel EU Maritime asetusehdotus jää haastatteluiden perusteella karkeasti puolet meriliikenteestä näiden vaikutusten ulkopuolelle.

Taulukko 13. Polttoaineiden hintoja (Thomson Reuters, Platts, Ramboll).

Polttoaine	Hinta, €/t (18.5.2022)	Hinta* €/MWh
SME biodiesel	1 985	200
FAME-biodiesel	1 795	181
Rypsiöljy (Crude Dutch EU Mill)	2 071	
Palmuöljy (Malaysian Rotterdam)	1 634	
Dieselin tuotemarginaali	271	

Polttoaine	Hinta, €/t (18.5.2022)	Hinta* €/MWh
Brent raakaöljy	781	
Dieselin hinta (Brent raakaöljy + Dieselin tuotemarginaali)	1 052	91

*Fossiilisen dieselin energiasisältö oletettu 11,528 MWh/t ja biodieseleiden 9,91 MWh/t. (Neste, 2020), (Alakangas, 2000)

Apukoneella tuotetun sähkön kustannuksista esitetään tämän luvun analyysissä nykytilanteen lisäksi tilanne, jossa meripolttoaineiden verovapaus on poistettu ja meriliikenne on liitetty osaksi EU:n päästökauppaa. Laskennassa fossiilisen meripolttoaineen verotaso on asetettu energiaverodirektiivin muutosehdotuksen minimitason mukaiseksi. Muutosehdotuksessa perinteisille fossiilisille polttoaineille on asetettu minimitaso verolle: 38,7 €/MWh (vertaa LFO:n vero 30,3 €/MWh). Päästöoikeusmaksu on laskettu kevyen polttoöljyn päästökertoimella. Tällä esimerkillä tuodaan nähtäville, kuinka polttoaineiden verotus ja päästöoikeusmaksu vaikuttavat maasähkön kilpailukykyyn apukoneella tuotettuun sähkөөn verrattuna.

Tähän selvitykseen on valittu seuraavat päästöoikeuden vertailutasot:

- 100 €/tCO₂ (noin 25 €/MWh)
- 150 €/tCO₂ (noin 50 €/MWh)
- 300 €/tCO₂ (noin 75 €/MWh)

Näillä kuvataan päästöoikeuden hinnan vaikutusta maasähkön kannattavuuteen. Olennaista on huomata, mitä vaikutuksia tämänkokoisilla päästömaksuilla on kokonaisuuteen. Valitut vertailutasot eivät kuvaa arviota tulevaisuudesta. tarkastelusta tulee ottaa huomioon myös se, että päästökauppaan on suunniteltu liitettävän bruttovetoisuudeltaan yli 5000 t kokoiset laivat. Näitä laivoja on haastatteluiden mukaan vain noin puolet Itämeren liikenteestä. Päästökauppaan liittäminen mahdollisesti lisäisi juuri bruttovetoisuudeltaan alle 5000 t laivojen käyttöä, pienentäen vaikutuksia entisestään eikä kustannustaso kääntyisi maasähkön eduksi yhtä laajasti kuin mitä analyysi osoittaa.

Taulukko 14. Laskennassa käytetyt oletukset

Oletukset	Laskenta
Meripolttoaineen verotaso	38,7 €/MWh
CO ₂ -päästöoikeuden hinta	100 €/tCO ₂ (hinta 24.4.22 88 €/tCO ₂) 150 €/tCO ₂ 300 €/tCO ₂
Investointikorko	6 % (annuiteetti)
Sähköenergian hinta	41,5 €/MWh (ElsotFIN keskihinta 2017–2021)
Sähkövero, veroluokka 1	22,53 €/MWh (veroluokka 1, sis. huoltovarmuusmaksun)
Sähkövero, 0-vero	0 €/MWh
Kaikki alukset käyttävät maasähköä	
Investointien kuoletusaika	Sähköverkko 40 vuotta Maasähkölaitteisto 20 vuotta

Sähkön siirtohintoina on käytetty keskijännitehinnastoa Oulun Energia Sähköverkko Oy:ltä, Turku Energia Sähköverkot Oy:ltä sekä Helen Sähköverkko Oy:ltä. Sähköliittymän esimerkkitehoina on käytetty 2 MW ja 10 MW. Maasähkön kokonaiskulutukseksi on oletettu perustapauksessa 10 MW huipputeholla 3061 MWh/a ja 2 MW huipputeholla 612 MWh/a. Herkkyytyksessä edellä esitettyjä energiamääriä on tarkasteltu kaksinkertaisina ja viisinkertaisina.

Maasähkön kokonaiskulutus vaihtelee hyvin paljon riippuen vierailun kestosta sekä vierailevasta laivasta sekä tarvittavasta lastinkäsittelystä. Haastattelujen perusteella määrät vaihtelevat niin paljon, ettei asiantuntijat halunneet antaa minkäänlaista arviota kokonaiskulutuksesta. Tässä selvityksessä käytetty perustapaus vastaa noin keskimääräistä sähkönkulutusta kymmenesosalla tarvittavasta huipputehosta (laiturin käyttöaste 0,35) sekä herkkyytetty kaksinkertainen energiamäärä noin viidesosan keskimääräistä sähkönkulutusta tarvittavasta huipputehosta (laiturin käyttöaste 0,35). Viisinkertaisessa herkkyytyksessä energiamäärä on keskimääräinen sähkönkulutus puoliteholla verrattuna huipputehoon. Kokonaisenergiämäärät ovat vain esimerkkejä.

Kokonaisenergiämääriä yritettiin validoida työssä myös perustuen Pohjanmaan alueen satamien uudentyypisten maasähköjärjestelmien toteutettavuus selvityksen läh-

tötietojen perusteella (Ramboll, 2021). Kyseisessä selvityksessä kerätty tieto maasähkönkäytöstä perustui bruttovetoisuudeltaan alle 5000 t aluksiin, joiden maasähkön huipputehon tarve oli alle 250 kW. Skaalaamalla suoraan huipputehoa ja keskimääräistä kulutusta satamassaoloaikana keskimäärin esimerkkisatamassa, päästiin tämän selvityksen perustason sähkönkulutukseen laiturinkäyttöasteella 0,45. Toisaalta laiturinkäyttöaste on ylioptimaalinen, mutta myös vierailuaika lähtötiedoissa oli keskimäärin 36 h, joka on normaalia pidempi ja laskee kokonaissähkönkulutusta verrattuna lyhyempiin vierailuihin. Lyhyemmän vierailun aikana paljon sähköä kuluttavaa toimintaa tehdään suhteessa vierailun kestoon enemmän, mikä nostaa vierailun ajan keskimääräistä sähkönkulutusta. Siten johtopäätöksenä on, että Pohjanmaan alueen satamien uudentyyppisten maasähkölaitteiden toteutettavuus selvityksen (Ramboll, 2021) lähtötiedot tukevat valittua maasähkön kokonaiskulutuksen määrää tässä selvityksessä. Tärkein huomio kuitenkin on, että maasähkön kulutuksen kokonaismäärät voivat vaihdella erittäin suuresti ja tässä työssä esitetyt määrät ovat vain esimerkkejä.

Maasähkölaitteistojen ja sähköverkkotöiden osalta on käytetty luvussa 4.2.1 esiteltyjä esimerkkejä. Esimerkeistä on poimittu suurimmat kustannukset investointiskenaarioon "korkea" ja pienimmät skenaarioon "matala". Investoinnin annuiteetti on myös esitetty tämän luvun vertailukuvioissa. Nämä edustavat vain esimerkkejä mahdollisista kustannuksista, eivät suurimpia mahdollisia tai pienimpiä mahdollisia kustannuksia. Matala- ja korkea-skenaarioiden arvot on esitetty alla taulukossa (Taulukko 15).

Taulukko 15. Investoinnin Matala- ja korkea-skenaarioiden lähtöarvot luvun 4.2.1 esimerkkien mukaisesti.

Investointi	Matala	Korkea
Maasähkölaitteisto €	500 000	1 000 000
Sähköverkkoinvestoinnit 2,5 MVA €	117 300	313 300
Sähköverkkoinvestoinnit 12,5 MVA €	868 000	868 000

Suunnitellulla 0-veroluokalla tarkoitetaan laivojen käyttämän maasähkön vero- ja huoltovarmuusmaksuvapautta. Apukoneilla tuotetun sähkön polttoaineen kulutukseksi on arvioitu 220 g/kWh, joka vastaa kustannusta 0,1 €/kWh (Ramboll, 2021). Arvio perustuu apukoneen polttoaineen hintaan 500 USD/t ja USD/EUR-kertoimeen 0,88.

Liitteessä 1 on esitetty 18 kuviota piirrettynä edellä esiteltyillä tiedoilla maasähkön ja laivalla tuotetun apukonesähkön hintavertailun eri tapauksista. Yhteenvedonä esitellyistä kuvioista kansainvälinen päästösääntely vaikuttaa useissa tapauksissa maasähkön kannattavuuteen kriittisesti. Esimerkkitapauksista kaikki eivät kuitenkaan käänny

maasähkön kannattavuudelle edes päästöoikeuden hintatasolla 300 €/tCO₂. Myös maasähkön 0-vero lisää sen kannattavuutta, ja on kriittinen useissa esimerkeissä tehden maasähköstä kannattavamman kuin apukoneilla tuotetun sähkön. Mitä enemmän sähköä kulutetaan maasähköliitännästä, sitä paremmin se pystyy kattamaan investointikulut ja sähkönsiirron tehomaksun. Myös paikkakuntien välillä kannattavuudessa on merkittävää eroa riippuen siitä, miten sähkönsiirto on hinnoiteltu.

4.3.1 Vaikutukset varustamoihin

Varustamot voivat valita maksavatko ne maasähköstä perittävän hinnan vai tuottavatko ne tarvittavan sähkön itse laivan apukoneilla. Haastatteluiden perusteella (Ramboll, 2021) varustamoiden voidaan olettaa käyttävän laajasti edullisinta sähkönlähdettä. Jos rahdinantaja on vaatinut green corridorin, valitsee varustamo luonnollisesti kustannustehokkaimman päästöttömän toimintatavan. Toisaalta haastatteluiden perusteella on myös varustamoita, jotka ovat brändänneet itsensä vähäpäästöiseksi ja näin pyrkivät valitsemaan kustannustehokkaimman päästöttömän toimintatavan myös ilman rahdin antajalta tulevaa green corridor -vaatimusta.

Green corridor eli vihreä käytävä

Green corridor eli vihreä käytävä tarkoittaa laivakuljetusreittejä, jotka tehdään käyttäen päästötöntä tai hyvin vähäpäästöistä käyttövoimaa tavoitteena saavuttaa nollapäästöt kaikessa toiminnassa kyseisellä kuljetusreitillä. Suomi on mukana Clydebankin julistuksessa koskien laivareittien vihreitä käytäviä (Clydebank Declaration for green shipping corridors).

Vaikka päästöttömät toimintatavat tulevat yleistymään tulevaisuudessa yhä enemmän, johtuen rahtiasiakkaiden päästövaatimuksista voidaan maasähkön olettaa yleistyvän laajasti vain sen ollessa hinnaltaan kilpailukykyinen verrattuna laivan apukoneilla tuotettuun sähköön. Jos green corridoria ei ole lastin antajan puolelta vaadittu, optimoi varustamo kustannuksensa lähtökohtaisesti päästösääntelyn mukaisesti. Varustamon on myös mahdollista valita toimintansa kannalta edullisin satama. Näin ollen päästövähennyksiin tähtäävien sääntöjen tulee olla kattavat ja ei-kierrettävissä.

Kansainvälisen päästösääntelyn suunnitelmat poistaa laivassa käytettyjen polttoaineiden verovapaus ja laivaliikenteen liittyminen päästökauppaan nostavat apukoneilla tuotetun sähkön hintaa ja siten tekevät maasähkön käytöstä kilpailukykyisempää.

Vaatimukset laivojen varustamisesta maasähköyhteensopiviksi aiheuttavat investointipaineita varustamoille. Nykyinen maasähköyhteensopivuus vaihtelee suuresti varustamoiden välillä.

4.3.2 Vaikutukset satamiin

Suomen satamat ovat käytännössä itsenäisiä osakeyhtiöitä, joissa kunta tai kaupunki on usein enemmistöomistajana (muualla Euroopassa satamat ovat usein julkisoikeudellisia toimijoita, ns. Port Authorityja, jolloin investointeja voidaan helpommin perustella muillakin kuin taloudellisilla seikoilla). Suomen satamat joutuvat tekemään maasähköinvestointinsa ja kattamaan suurimman osan kustannuksistaan itsenäisesti, ja taloudelliset tekijät ovat voimakas ohjaava tekijä maasähköinvestoinneissa. Maasähkön kannattavuus on hyvin paikkakunta- ja satamakohtainen. Luvussa 4.3. esitettyjen esimerkkitapausten perusteella maasähkön käyttö ei ole nykyisin kannattavaa ilman tukia. Pohjanmaan satamien maasähköselvityksessä (Ramboll, 2021) kahdessa kolmesta tapauksista maasähkö oli muuttuvilta kustannuksiltaan kalliimpaa verrattuna apukoneilla tuotettuun sähkөөn.

Maasähkön muuttuvat kustannukset koostuvat sähkönsiirron tehomaksusta, energiamaksusta, veroista ja huoltovarmuusmaksusta sekä itse sähköenergiasta.

Tarkastelluissa esimerkkitapauksissa nykytilanteesta investointikustannuksen jyvittäminen maasähkön hintaan karkeasti kaksinkertaistaisi maasähkön hinnan, jolloin maasähkö muuttuu selkeästi kalliimmaksi kuin apukoneilla tuotettu sähkö.

Luvussa 4.3 käsitellyn mukaisesti maasähkön 0-vero, meriliikenteen polttoaineiden verovapauden poisto sekä päästökauppaan liittäminen ovat kokonaisuudessa tehokkaita keinoja vaikuttaa maasähkön kannattavuuteen. Useissa tapauksissa jokainen näistä toimenpiteistä on kriittinen, jotta maasähköstä tulee kannattavaa niin sen käyttäjälle kuin maasähköä tarjoavalle satamalle.

Merkittävä kustannus maasähkössä on sähköliittymän tehomaksu, joka perustuu liittymän suurimpaan hetkelliseen tehoon. Maasähköliittymässä aluksen kulutusprofiili laivan saavuttua satamaan on usein jyrkästi laskeva ja energiaa kuluu vähän varattavaan tehoon nähden. Kahden sähköverkon haastattelussa tuli esiin mahdollisuus, että maasähköliittymän tehomaksua voitaisiin alentaa satamissa, jos maasähköliittymiä voitaisiin käyttää tarvittaessa kulutusjoustossa. Kulutusjouston myötä laiva voitaisiin sähköverkon tilanteen niin vaatiessa irrottaa maasähköstä, jolloin laivan tulisi siirtyä tuottamaan tarvitsemansa sähkö apukoneilla. Tällöin maasähköliittymän tehomaksu

vastaisi paremmin kyseisestä liittymästä kulutettua energiamäärää. Tällä toimenpiteellä olisi merkittävä vaikutus maasähkön kannattavuudelle useissa tapauksissa.

Maasähkön kannattavuuteen vaikuttaa myös paljon sen käyttöaste, joka muodostuu sataman liikennemääristä, laivojen koosta, tyypistä, tehontarpeesta ja laiturissaoloajasta. Jokainen myyty energiayksikkö maasähköliitynnän kautta jakaa investointikustannusta isommalle määrälle energiaa. Satama voi veloittaa maasähköstä korkeintaan saman hinnan kuin on apukoneilla tuotetun sähkön hinta varustamolle, muutoin maasähkön käyttöaste laskee ja investoinnille vaadittavaa kriittistä käyttöastetta ei voida saavuttaa. Apukoneiden polttoaineelle asetettavat päästökustannukset lisäävät sataman mahdollisuutta periä korkeampaa hintaa maasähköstä ja siten kattaa investointikustannusta.

Suomalaisten satamien omistus

Suomessa investoinnit satamiin tehdään markkinaehtoisesti

Satamien infrastruktuurin kehityksestä vastaa pääasiassa satamayhtiö. Valtaosa Suomen satamayhtiöistä on kunnallisessa omistuksessa. Euroopan unionin komission päätöksestä seuranneen kuntalain muutoksen myötä, vuodesta 2015 alkaen näiden satamien toiminta on yhtiöitetty (HE, 236/2014). Suomen satamien toiminta on näin ollen markkinaehtoista, toisin kuin monissa muissa EU:n satamissa, esimerkiksi Saksassa satamat toimivat pääasiassa julkisina toimijoina (Liikenne ja viestintäministeriö, 2022).

5 Näkymä kansallisten toimien tarpeesta päästövähennystavoitteiden saavutettavuuteen meriliikenteen sähköistymisen osalta

IMO:n ja EU-tavoitteet ovat hyviä kirittäjiä niille kansallisille toimenpiteille, jotka ylläpitävät ja parantavat suomalaisten satamien ja suomalaisen meriliikenteen kilpailukykyä. Toinen markkinalähtöinen kirittäjä on eri hyödykemarkkinasektoreilta tulevat logistiikkaketjujen ympäristöystävällisyys- ja vastuullisuustavoitteet.

Markkinatoimijoiden haastattelujen perusteella merenkulun sähköistämisessä on ensisijaisesti kiinnitettävä huomio edistämistoimenpiteiden vaikuttavuuteen suhteessa niiden toteuttamisen vaativuuteen. Mikäli Suomen tavoitteena on saavuttaa merkittävä edelläkävijyys päästöttömässä merenkulussa, on tehtävä sekä kehittämistä mahdollistavaa tavoitteellista tukipolitiikkaa, että uutta toimintatapaa vaativia politiikkalinjauksia julkisissa hankinnoissa.

5.1 Kansallisten toimenpiteiden riittävyys Suomen latausinfrastruktuurin kehittämiseen IMO- ja EU-tavoitteisiin nähden

Valtioneuvoston periaatepäätöksessä ”Valtioneuvoston periaatepäätös meri- ja sisävesiliikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä” 6.5.2021 on esitetty 31 toimenpidettä, joilla tavoitellaan meri- ja sisävesiliikenteen ilmastokuormituksen pienentämistä ja IMO:n ja EU:n päästövähennystavoitteiden saavuttamista kansallisella tasolla. Kyseiset toimenpiteet liittyvät pääasiassa keskijännitteisten sähköverkkojen kehittämiseen.

Valtiovallan esittämät kansalliset toimenpiteet ovat hyvä alku panostuksille sisävesi- ja meriliikenteen päästövähennyksille ja aluskannan sähköisen propulsiokehitykselle.

Tulevaan hallitusohjelmaan on asetettava tavoitteeksi konkreettisia vesiliikenteen latausinfrastruktuurihankkeiden investointeja edistäviä toimenpiteitä. Toimenpiteisiin voi kuulua latausinfrastruktuurin kysynnän lisääntymiseen liittyviä hankkeita, säädöksellisiä politiikkatoimia, ja latausinfrastruktuurin rakentumiseen liittyviä investointitukia.

Kuten luvussa 4.1 on esitetty, paine sisävesi- ja meriliikenteen sähköistämiseen ja latausinfrastruktuurin kehittämiseen satamissa tulee tällä hetkellä pitkälti kaupunkien hiilineutraaliustavoitteiden kautta. Kaupunkien hiilineutraaliustavoitteet toisaalta tukevat satamienkin tavoitteita, ja osa kaupungin ohjaavista toimenpiteistä ja kannustimista voi tulla suoraan kaupunkien tekemien toimien, esimerkiksi latausinfrastruktuurin rahoittamisella. Luvuissa 5.2 ja 5.3 on esitetty asiantuntijahaastattelussa esille nousseita keinoja vesiliikenteen sähköistämiseen.

5.2 Lähimerenkulun sähköistymisen edistäminen

Lähimerenkulun, kuten lauttojen, lossien ja saariston yhteysliikenteen sähköistymisen edistämiseksi tehtävät toimenpiteet ovat ensisijaisesti liikenteen tilaajaorganisaatioiden vastuulla ja toimeenpantavissa. Lähimerenkulun liikenteen hankinnan kriteeristöllä on mahdollista edistää merkittävästi ao. liikenteen sähköistymistä: mikäli hankintakriteerinä on täysin sähköinen tai hybridi (sähkö/diesel) propulsio, luo markkina kysytyn kaltaisen tarjonnan.

Tällainen Push-tyyppinen hankintamenettely voi aiheuttaa alkuvaiheessa kustannusnousua liikennöinnille, koska liikennöitsijöiden on hankittava käytännössä täysin uusi kalusto. Kaluston uusintaa auttaa Valtioneuvoston periaatepäätöksessä mainittu kehitys- ja investointituki päästöttömän sisävesi- ja meriliikenteen aluksille. Kustannusnousua helpottaa elinkaaren aikana liikennöinnin alhainen muuttuva kustannus, mikäli sisävesi- ja meriliikenteessä käytettävään sähköön sovelletaan 0-veroluokkaa.

Eräs lähimerenkulun sähköistämistä edistävä toimenpide voi olla sopimustekninen kannustin: esimerkiksi liikenteenharjoittajien kanssa solmittava pitkäaikainen sopimus, jossa on tilaajan maksama budjettivaroista etupainotteinen sopimusmaksu. Vuotuinen korvaus liikenteen harjoittamisesta voi olla nykyisen kaltainen ja tasoinen. Tällaisella sopimuksella liikenteenharjoittaja pystyy rahoittamaan osittain investoinnin uuteen kalustoon, ja matala käyttökustannus parantaa liikenteenharjoittajan vuosikatetta, jolloin liikennöitsijä pystyy kuolettamaan tehtyä investointia.

5.3 Meri- ja sisävesiliikenteen sähköistymisen edistäminen

Kansallisia toimenpiteitä harkittaessa, on tarkasteltava sähköistä merenkulkua kokonaisuutena Suomen valtion talouden kannalta. Mahdollistamalla edulliset satamakäynnit tarjoamalla kohtuuhintaiset korkeatehoiset sähköliitännät ja sähköenergia satamapaikoille, Suomen vientiteollisuuden kustannuspaine alenee ja satamien kilpailukyky paranee. Satamien sähköistäminen ei ole vain EU:n- ja kansallisten tavoitteiden saavuttamista vaan sillä on merkitys Suomen koko valtiotalouteen. Satamien sähköistämisen edistäminen voi olla osa Suomen koko vientiteollisuuden edistämistä.

Sähköistymistä edistävät toimenpiteet ovat pitkävaikutteisia investointeja, joille on vaikeaa nähdä laajamittaista markkinaehtoista kasvua. Sähköistymisen edistämiseksi valtiovaltan on harkittava erilaisia rahoitusinstrumentteja satamayhtiöille ja varustamoille.

Satamayhtiöille suunnattu rahoitus voi olla epäsuoraa tukea satamakäyntimaksuissa. Esimerkiksi valtio korvaa satamille sähköistetyn laituripaikan ja normaalin laituripaikan käyntimaksujen erotuksen. Satama voi näin sähköverkkoinfran investoinnin mukaan hinnoitella sähköistetyn laituripaikan käyntimaksun siten, että käyntimaksu vierailuille aluksille pysyy houkuttelevana ja kilpailukykyisenä.

Varustamoille valtiovalta voi suunnata rahoitustukea monin keinoin. Yksi keino on ohjata valtiontakaukset ja energiatehokkuutta parantavien investointien suora energiatehokkuustuki peruskorjauksissa tehtäviin alusten energiatehokkuutta parantaviin toimenpiteisiin, erityisesti sähkön käyttöä propulsiossa lisääviin toimenpiteisiin. Tämä tuki-instrumentti olisi kohdennettava erityisesti pienille jäävahvistetuille aluksille, joiden bruttovetoisuus on yli 400, mutta alle 5000 tonnia, vaikka tämä kokoluokka on tällä hetkellä EU- ja IMO-sääntelyn ulkopuolella.

Valtiovalta voi myös edistää alusten sähköistymistä väylä- ja viranomaismaksujen avulla. Vähäpäästöisille aluksille voisi maksaa väylämaksujen palautuksia esimerkiksi 50 % peritystä väylämaksusta. Vastaavanlainen maksujen palautusjärjestely on järjestettävissä myös muille aluksiin kohdistuville viranomaismaksuille.

Meriliikenteen jonkin reitin sähköistymisen edistyminen edellyttää yhteisen tahtotilan usealta osapuolelta. Esimerkiksi Stena Line on sitoutunut täyssähköiseen liikenteeseen reitillä Fredrikshavn – Göteborg. Tässä hankkeessa Stena Line, Fredrikshavnin ja Göteborgin kaupungit sekä Fredrikshavnin ja Göteborgin satamat ovat sitoutuneet

mahdollistamaan hankkeen ja osallistumalla sen toteuttamiseen. Kaupunkien ja satamien sitoutumista tällaiseen hankkeeseen edesauttaa niiden vastuullisuus- ja ympäristötavoitteet.

6 Tuulipropulsioon tarjonta ja kehitysnäkymät

6.1 Tarjonta

Tuulipropulsioon potentiaali merenkulussa on suuri, mutta käytettävyyttä rajoittavat kaikkea meriliikennettä ohjaavat logistiikkaketjujen kiinnitetyt aikataulut. Pelkkään tuulipropulsioon tukeutuvaa meriliikennettä ei voi harjoittaa kaupallisesti kannattavasti, vaan aluksella on oltava täysitehoinen rinnakkainen propulsiojärjestelmä.

Tuulta voidaan hyödyntää avustavana propulsiomuotona. Tällä hetkellä esikaupallisessa käytössä on kolme teknologiaa: leijapurje, siipipurje ja Flettner-roottori.

Siipipurje on moderni sovellus perinteisten alusten purjeista. Siipipurjeet ovat komposiittimateriaaleista tehtyjä pystyyn nostettuja siipiä. Ilmavirran kohdatessa siiven, syntyy paine-ero, josta muodostuu alusta liikuttava voima. Siipipurjeet lisäävät alusten korkeutta. Siiven korkeudet suunnitelmissa ovat jopa 100 metriä. Korkeus rajoittaa alusten liikkumista joihinkin satamiin.

Leijapurje on aluksen keulaan vaijerilla kiinnitetty leijamainen purje, joka muodostaa tuulen avulla alusta eteenpäin kuljettavan voiman. Leijapurje on parhaimmillaan myötäisillä tuulilla. Leijapurjejärjestelmän pääkomponentit ovat purje, vaijeri, vinssi ja purjeen varastotila. Leijapurjejärjestelmä on kohtuullisen helposti asennettavissa olemassa oleviin aluksiin.

Flettner-roottori on sylinterimuotoinen pyörivä pilari, joka on asennettu pystyyn aluksen kannelle. Roottoria pyörittää sähkömoottori. Ilmavirran kohdatessa pyörivän roottorin, syntyy paine-ero, josta muodostuu alusta liikuttava voima. Roottorin korkeudet vaihtelevat 10–30 metrin välillä. Flettner-roottoreista on tehty versioita, joissa roottorin voi kaataa tarvittaessa esim. korkeusrajoitteisiin satamiin pääsemiseksi.

Leijapurjeilla ja Flettner-roottorilla voidaan saavuttaa teoreettisesti jopa 15 % pienempi polttoaineen kulutus. Todennetut polttoaineen kulutusalenemat ovat olleet kuitenkin pääsääntöisesti alle 10 %. Siipipurjeilla polttoaineen kulutusalenemat on arvioitu jopa 30 %:iin.

Leija- ja siipipurjeiden käyttöaluetta rajoittaa kovien tuulien esiintymistiheys – ankarien tuuliolosuhteiden merialueet ovat epäsuotuisia, sillä tuulen nopeuden yltyessä tuuli-propulsiojärjestelmän voimantuotto on keskeytettävä. Mainittujen järjestelmien soveltuvuus kaikille merialueille on rajallinen.

Esimerkiksi Flettner-roottoria soveltava suomalainen Norsepower Oy toteaa, että järjestelmät on optimoitava kullekin reitille erikseen, jotta siitä saatava polttoainesäästö on riittävä kattamaan investoinnin. Norsepower Oy toteaa järjestelmänsä etuna olevan sen siirrettävyys aluksesta toiseen, mikä mahdollistaa tekniikan asentamisen myös aluksille joiden tekninen käyttöikä lähestyy loppuaan, kun järjestelmä voidaan myöhemmin siirtää toiselle alukselle. (Norsepower Oy Ltd, 2022).

Maailmanlaajuisesti tuulipropulsiojärjestelmien toimittajia on vähän. Roottoripurjeelle on alle viisi kaupallista toimijaa, leijapurjejärjestelmälle yksi toimija ja siipipurjetta kehittää alle kymmenen toimijaa. Kehittäjien lukumäärästä päätellen siipipurjetta voi pitää voittavana teknologiana avustavassa tuulipropulsiossa.

6.2 Kehitysnäkymät

Tuulipropulsio suurin hyöty on saavutettavissa ei-aikataulukriittisellä rahdilla ja tuuliolosuhteiltaan tasaisilla merialueilla. Tällöin tuuliolosuhteiden mukaan vaihteleva propulsioteho voidaan hyödyntää myös hiljaisella tai suunnaltaan epäedullisella tuulella. Lyhyeen, pendelöivään aikataulunmukaiseen reittiliikenteeseen tuulipropulsio ei sovellu.

Tuulipropulsio kaikki ratkaisut ovat vielä kehitysvaiheessa. Tekniseltä valmiusasteeltaan pisimmällä on Flettner-roottori. Roottoripurjeiden markkinanäkymät ovat varsin hyvät. Polttoaineiden kallistuessa (päästöoikeudet, regulaatio) ja Flettner-sovellusten hintojen alentuessa tuulipropulsioinvestointien kannattavuus paranee merkittävästi. Omassa liiketoiminta-arviossaan Norsepower Oy on asettanut tuotteen hinnoittelun tavoitteeksi 4 vuoden takaisinmaksuajan asiakkaalle. Potentiaalisimmat merialueet roottoripurjeille ovat Pohjois-Atlantti sekä Pohjanmeri ja Itämeri. (Norsepower Oy Ltd, 2022).

Norsepower Oy:n liiketoiminta perustuu arviolle aluskannasta, jolle Flettner-teknologia sopii:

- Tankkerit ja kuivarahtialukset 20 000 kpl
- Ro-ro- ja ropax-aluksia 10 000 kpl
- Flettner-teknologia ei sovellu konttilaivoille.

Taulukko 16. Eri tuulipropulsioteknologioiden teknologinen valmiustaso, soveltuvuus ja polttoaineen säästöpotentiaali

Otsikko	Flettner-roottori	Leijapurje	Siipipurje
Teknologinen valmiustaso TRL*	9	6	3
Soveltuvuus eri merialueille	rajoitettu	hyvä	hyvä
Soveltuvuus olemassa olevaan tonnistoon	hyvä	erittäin hyvä	huono
Soveltuvuus uudistonnistoon	hyvä	erittäin hyvä	hyvä
Polttoaineen säästöpotentiaali	n. 10 %	25 %	30 %

*TRL Technological readiness level, teknologian valmiustaso.

Tuulipropulsioon laajamittaista käyttöä edistävät sekä lopputuotemarkkinoiden vaatimukset tuotteiden elinkaaripäästöistä sekä julkisten toimijoiden asettamat tavoitteet ja ohjaavat toimenpiteet meriliikenteen päästöjen vähentämiseen:

- Rahdin tilaajien ympäristö- ja vastuullisuusvaatimukset
- Varustamojen halu erottautua markkinassa
- IMO:n ja EU-komission päästövähennystavoitteet, fossiilisten polttoaineiden loppuhintaan kohdistuvat ympäristölliset maksut
- Vaihtoehtoisten polttoaineiden korkea hinta ja rajoitettu saatavuus ohjaavat meriliikennettä vähentämään polttoaineen käyttöä.

7 Vaihtoehtoisten polttoaineiden kehitysnäkymät ja saatavuus

Vaihtoehtoiset polttoaineet voidaan jaotella fossiilisiin-, bio- ja synteettisiin polttoaineisiin. Lisäksi vaihtoehtoisena käyttövoimana on sähkö, jonka käytössä ei tapahdu palamista, jolloin sitä ei voida lukea polttoaineeksi. Sähköä voidaan käyttää akkujen ja polttokennojen avulla sekä satamassa ollessa maasähköliitynnästä.

80 % meriliikenteen päästöistä syntyy pitkänmatkan valtameriliikenteessä ja loput 20 % lähimerenkulussa (DNV GL, 2021). Laivaliikenteen sähköistyminen pystyy vaikuttamaan vain pieneen osaan lähimerenkulusta, joten vaihtoehtoisilla polttoaineilla on ympäristötavoitteiden saavuttamisen kokonaisuudessa erittäin suuri vaikutus. Tällä hetkellä valtameriliikenteeseen on saatavilla vaihtoehtoisista polttoaineista vain fossiilisia LNG- ja LPG- sekä biopolttoaineita huomattavasti kalliimpaan hintaan.

Vaihtoehtoisilla fossiilisilla polttoaineilla tarkoitetaan öljyä vähähiilisempiä LNG:tä, LPG:tä ja metanolia. Näiden käyttäminen vähentää päästöjä, mutta ne eivät mahdollista liikenteen hiilineutraaliteettitavoitteiden täyttymistä. LNG:n päästövähennyspotentiaali on lähteestä riippuen vain 5–30 % päästöistä verrattuna raskaaseen polttoöljyyn. Asiantuntijahaastatteluiden mukaan IMO:ssa käydään keskustelua, että kasvihuonekaasusääntelyyn otettaisiin mukaan metaanipäästöt. Metaani on hiilidioksidia vahvempi kasvihuonekaasu. Tällöin LNG:n asema vaihtoehtoisena polttoaineena olisi vähintäänkin kyseenalainen. Metaanin karkaaminen polttoprosessin ohi ja huomioiminen päästölaskennassa voivat tehdä tapauskohtaisesti öljystä jopa LNG:tä paremman polttoaineen ilmastonäkökulmasta.

Biopolttoaineet ovat biomassasta valmistettuja polttoaineita. Meriliikenteen käyttöön soveltuvia uusiutuvista lähteistä valmistettavia biopolttoaineita ovat muun muassa bio-LNG, biometanoli, biometaanoli, biodiesel sekä muut monimutkaisemmat hiilivedyt. Biopolttoaineita voidaan hyödyntää pääosin suoraan olemassa olevalla kalustolla tai niitä voidaan vähintäänkin sekoittaa nykyisiin vastaaviin fossiilisiin polttoaineisiin. Biopolttoaineita valmistetaan elintarviketuotantoon kelpaavasta biomassasta (1. sukupolvi) sekä muusta biomassasta (2. sukupolvi), joka on esimerkiksi selluloosaa tai jätettä. Maailman kauppalaivasto käyttää useamman kymmenkertaisen määrän polttoainetta verrattuna nykyiseen biopolttoaineiden tuotantoon. Tuotantoa on vaikea lisätä nykyteknologialla ja maankäytöllä niin paljoo, että biopolttoaineet voisivat ratkaista meriliikenteen päästötavoitteet.

Synteettisiä polttoaineita meriliikenteelle voidaan valmistaa vedystä ja hiilidioksidista. Vetyä voidaan valmistaa elektrolyysillä hajottamalla vettä sähköllä, tai fossiilisesta öljystä ja maakaasusta, joka on yleisin tuotantomuoto nykyisin. Puhtaan uusiutuvan energian lisääntyessä ja sähkön hinnan laskiessa voitaisiin edullisen energian tuotteenä tuottaa sähköllä vetyä. Riippuen uusiutuvan sähköntuotannon määrästä tulevaisuudessa, synteettisillä polttoaineilla voitaisiin korvata merkittävässä määrin fossiilisia meriliikenteen polttoaineita. Biopolttoaineyhdisteitä vastaavia yhdisteitä on mahdollista valmistaa myös elektrolyysillä tuotetusta vedystä, jolloin kyseisiä polttoaineita voidaan kutsua synteettiseksi LNG:ksi, metanoliksi, dieseliksi jne. Näiltä osin käyttö vastaa biopolttoaineiden käyttöä suoraan korvaavana tai sekoitteena nykyisessä kalustossa. Tähän ryhmään kuuluu myös muihin vedyn kuljettajiin, kuten tyypen, perustuvia polttoaineita. Esimerkiksi ammoniakki voidaan polttaa dieselmootoreissa sekoitettuna. Pelkän ammoniakkin käyttäminen nykyisissä dieselmootoreissa ei onnistu suoraan ilman teknisiä muutoksia sytytykseen ja moottoreihin. Ammoniakin etuna polttoaineen valmistuksessa on, että se ei vaadi hiilidioksidilähdettä vaan vedyn kuljettaja-aine tyyppi voidaan ottaa suoraan ilmasta. Muissa synteettisissä polttoaineissa vedyn kuljettaja-aineena toimii hiili. Ne ovat hiilivetypohjaisia polttoaineita.

Myös vetyä voidaan käyttää suoraan polttoaineena sen lisäksi, että siitä voidaan valmistaa synteettisiä polttoaineita. Vetyä voidaan käyttää myös polttokennossa tuottamaan sähköä.

7.1 Vaihtoehtoisin polttoaineisiin liittyvä teknologia ja turvallisuus meriliikenteessä

Laivan rakenteisiin liittyvät haasteet vaihtoehtoisten polttoaineiden käytössä

Laivan rakenteisiin liittyvät teknologiset haasteet liittyvät polttoaineiden turvallisuuteen, varastointivaatimuksiin ja pienempään energiatiheuteen tai suurempaan tilantarpeeseen säilytysolosuhteissa verrattuna nykyisiin käytettyihin fossiilisiin polttoaineisiin. Siirryttäessä fossiilisista polttoaineista vaihtoehtoisin ympäristöystävällisiin käyttövoimiin, polttoaineiden muut ominaisuudet heikenevät. Ilman siirtymää ei päästötavoitteita kuitenkaan pystytä saavuttamaan.

Taulukko 17 sisältää vertailun polttoaineiden energiatihedden, säiliökapasiteetin tarpeen sekä päästöjen välillä. Kuten alla olevasta taulukosta nähdään, biodiesel vie noin 20 %, LNG 85 %, ammoniakki noin 220 % ja vety 370 %–1500 % enemmän säiliökapasiteettia kuin tavanomainen raskas polttoöljy.

Taulukko 17. Polttoaineiden ominaisuuksia. Mukailten (IEA, ei pvm), (Nair, 2016), (Ramboll, 2022).

Ominaisuus	Raskas polttoöljy	LNG	Bio-metanoli	Biodiesel (RME)	Vety (kaasu) 300bar	Vety (neste) -253°C	Ammoniakki
Energiatiheys (MJ/kg)	40,4	48,2	20,0	37,0	120	120	18,6
Säiliökapasiteetin tarve m ³ /TJ	25,0	46,3	62,9	30,4	406	118	79–86
Päästökerroin	3,1	2,8	0,34	1,9	-	-	-

Suuremman säiliökapasiteetin lisäksi vaihtoehtoiset polttoaineet kuten LNG, vety ja ammoniakki vaativat alemmaa lämpötilaa tai korkeampaa painetta polttoainesäiliöön. Nämä lisäävät tilantarvetta laivalta ja pienentävät aluksen lastinottokykyä.

Esimerkiksi vedyn alhainen höyrystymispiste edellyttää paljon kallista varastointitilaa aluksella. Lisäksi pieniatominen vety haihtuu säiliöstä vähitellen seinänkin läpi. Myös vedyn säilyttäminen -253 °C lämpötilassa tai 300 bar paineessa vaativat säiliöiltä erityisominaisuuksia verrattuna normaaliin öljytankkiin. Näistä syistä vedyn sitominen kuljetinaineisiin kuten hiileen (hiilivety pohjaiset synteettiset polttoaineet) tai tyypeen (ammoniakki), on osoittautumassa käyttöä helpottavaksi ratkaisuksi. Hiilivety pohjaiset synteettiset polttoaineet vastaavat säilytysominaisuuksiltaan karkeasti fossiilisia ja biovastineitaan. Ammoniakin säilyttäminen nesteinä onnistuu jo -33 °C lämpötilassa ja normaalissa ilmanpaineessa. Aineita voidaan säiliötekniikan ja uusien kuljettaja-aineiden kehittyessä käsitellä ja varastoida turvallisemmin ja tehokkaammin.

Taulukko 18 sisältää esimerkkejä polttoaineen säilytyksen vaikutuksesta mahdollisen lastin määrään. Nestemäisen vedyn tapauksessa 4584 kontin vetoinen esimerkkilaiva pystyy kuljettamaan 180 merikonttia vähemmän johtuen polttoaineen vaatimasta lisätilasta verrattuna raskaaseen polttoöljyyn. Vetykaasun tapauksessa kontteja voidaan kuljettaa 372 kpl vähemmän.

Taulukko 18. Polttoaineen säilytyksen vaikutus mahdolliseen lastin määrään aluksella (35 032 DWT, 4584 merikonttia käytettäessä raskasta polttoöljyä), jolla on 5,1 päivän kulkumatka. (Paul Balcombe, 2019; C. Raucci, 2015)

Otsikko	Raskas polttoöljy	LNG	Vety (kaasu) 350bar	Vety (neste) -242°C, 10bar
Polttoaineen kulutus (m ³ /vrk)	83	203	1 186	522
Polttoaineen massa matkalle (t)	421	485	140	140
Tankin tilavuus (m ³)	417	1 195	12 140	3 120
Tankkien massa (t)	-	450	8 584	972
Kontteja jää kyydistä (kpl)	-	96	372	180
Tilavuutta jää kyydistä (m ³)	-	3 700	14 340	6 939
Massaa jää kyydistä (t)	-	1 258	4 878	3 132

Käyttöön liittyvät haasteet vaihtoehtoisten polttoaineiden käytössä

Nestemäisiä biopolttoaineita voidaan käyttää sellaisenaan tai sekoitettuna öljypohjaisiin polttoaineisiin. Niiden käytettävyys on hyvä nykyisessä kalustossa. Kaasumuotoisten biopolttoaineiden osalta käyttöön liittyvänä haasteena on kaasu- ja nestemäisten polttoaineiden eri ominaisuudet ja se, että kaasukäyttöisiä laivoja on nykyisin hyvin vähän, vain 3 % kauppalaivastosta (Solakivi, 2020). Sama kaluston vähyys koskee yhtä lailla myös fossiilisia kaasumaisia vaihtoehtoisia polttoaineita. Kaasulla toimiva kalusto on nuorta, joten kaasupohjaisten biopolttoaineiden hyödyntäminen merenkulussa on tulevaisuudessa teknisesti helpompaa. Kaasun käyttö polttoaineena vaatii kipinäsytytteisen moottorin erona dieselmootoreiden puristussytytykseen.

Vedystä valmistettavien synteettisten polttoaineiden käytettävyys teknisesti vastaa biopolttoaineiden käytettävyyttä. Synteettisten nykyisiä polttoaineita vastaavien polttoaineiden osalta haasteena on niiden kannattava valmistus ja siten kapasiteetin syntyminen kuten luvussa 7.2 on esitetty. Ammoniakkia voidaan käyttää sekoitteena öljypohjaisissa polttoaineissa. Sitä voidaan polttaa myös pelkästään, mutta tämä vaatii muutoksia moottoritekniikkaan. Muun muassa Wärtsilä on testannut vuonna 2021 laivamoottoria 70 % ammoniakkiseoksella Kemia-lehden artikkelin mukaan onnistuneesti (Rantanen, 2022). Ammoniakin osalta laivojen polttoainesäiliöillä on eri vaatimukset kuin perinteisellä öljyllä, koska ammoniakkiakin säilytetään joko korkeassa paineessa tai matalassa lämpötilassa. Ammoniakin säilöminen on kuitenkin huomattavasti helpompaa kuin vedyn. Ammoniakin osalta paine ja lämpötilavaatimukset ovat

kevyemmät, lisäksi ammoniakkimolekyylin koko on suurempi, jolloin se ei pääse haihtumaan yhtä helposti kuin vety.

Vedyn polttaminen suoraan laivoissa on mahdollista minkä lisäksi vetyä voidaan sekoittaa öljyn sekaan poltettavaksi. Vedyn käyttämisen ongelmat kuitenkin liittyvät pääosin vedyn säilyttämiseen, mitä on käsitelty aikaisemmin tässä luvussa. Vetyä voidaan käyttää myös polttokennon avulla sähköntuottamiseen. Polttokennoja on testattu useissa kokeiluissa meriliikenteessä, mutta niiden laajamittainen käyttö ei vielä ole tätä päivää. Polttokennojen käytön etuna on vähäinen melu ja pienet tehohäviöt erityisesti alhaisilla kierroksilla. Tekniikan yleistymisen vaatii vedyn säilyttämisen ongelmien ratkaisua ja vihreän vedyn saatavuuden lisääntymistä. Polttokennojen vety voidaan tuottaa laivalla myös muun muassa ammoniakista, jonka avulla joitain säilyttämisen ongelmia saadaan pienennettyä. Ammoniakiin kuitenkin liittyy muita ongelmia kuten mahdolliset ammoniakkivuodot, jotka ovat vaarallisia ihmisille sekä ympäristölle.

Turvallisuushaasteet vaihtoehtoisten polttoaineiden käytössä

Biopolttoaineiden ja synteettisesti valmistettujen polttoaineiden turvallisuushaasteet ovat verrannolliset nykyisin käytössä oleviin vastaaviin fossiilisiin polttoaineisiin.

Ammoniakin myrkyllisyys on suurin haaste ammoniakin käyttöön liittyen. Myös typpioksidipäästöt polttamisesta ja mahdollinen ympäristön saastuminen vuotojen tapauksessa ovat toistaiseksi ammoniakin ongelmana.

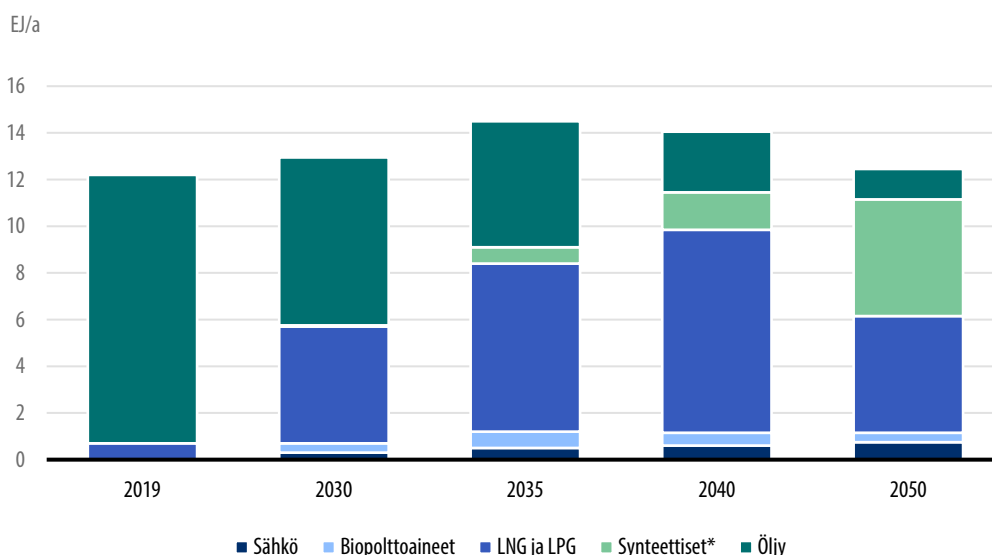
Metanolin säilyttäminen ei vaadi erikoisolosuhteita kuten korkeaa painetta ja matalaa lämpötilaa, mutta sen säilyttäminen myrkyllisyyden ja alhaisen syttymispisteen vuoksi vaatii erityisominaisuuksia säilytystankilta ja polttoaineen syötöltä. Metanolin osalta teknologiakehitys on huomattavasti pidemmällä kuin ammoniakin ja vedyn osalta. Metanolin käytölle laivoilla on annettu myös IMO:n väliaikainen ohjeistus (interim guideline), joka ohjaa metanolin käyttöä meriliikenteen polttoaineena.

Vedyn ja ammoniakin osalta teknologia on kehityksessä huomattavasti aikaisemmassa vaiheessa. Ammoniakin käytöstä polttoaineena IMO on julkaissut ensimmäisen luokitussäännösten. Vedyn osalta kokemusta on huomattavasti vielä ammoniakkia vähemmän eikä luokitusta tai muuta kansainvälistä säännöstöä sen käytöstä ole vielä olemassa. Vedyllä on korkea itsesyttymispiste, joka parantaa sen turvallisuutta polttoaineena. Syttyessään vety palaa tehokkaasti ja on siten vaarallinen. Hapen ja vedyn seos syttyy kipinän vaikutuksesta erittäin helposti. Vety ei myöskään pala näkyvällä liekillä, joten palon havaitseminen on vaikeampaa.

7.2 Vaihtoehtoisten polttoaineiden markkinat

Nykyisellään tavoiteltuja päästövähennystavoitteita ei voida saavuttaa vähähiilisillä fossiililla polttoaineilla eli LNG:llä ja LPG:llä. Luokituslaitos DNV:n arvioidun näkemyksenä on, että maailman meriliikenteessä biopolttoaineita otetaan käyttöön 2025 alkaen ja niiden käyttö on suurimmillaan, kun tieliikenne on sähköistynyt mikä vapauttaa biopolttoaineita meri- ja lentoliikenteen käyttöön. Yhtä aikaa 2025 biopolttoaineiden käyttöönoton yhteydessä meriliikenteen sähköistyminen lähimeriliikenteessä lähtee käyntiin ja saavuttaa nykyisen akkuteknologian mahdollistaman huipun tasaisella kasvulla vuoteen 2050 mennessä. Iso muutos polttoaineportfolioon tulee vetytalouden meriteknologian kypsyessä. Kyseinen muutos vaatii myös ylimäärin asennettua uusiutuvaa sähköntuotantokapasiteettia, jolloin synteettisten polttoaineiden tuotanto tulee kustannustehokkaaksi niinä ajanhetkinä kuin uusiutuvaa sähköä on ylimäärin tarjolla. Kuvio 5 sisältää arvioidun maailman meriliikenteen käyttövoiman kehityksestä.

Kuvio 5. Maailman meriliikenteen energiankulutus käyttövoiman mukaan jaoteltuna. Mukailen lähteestä (DNV GL, 2021). Eroavaisuutena lähteeseen on, että synteettisen osuuden kasvua on aikaistettu vähentäen öljyn osuutta vastaavasti. Vetyteollisuuden kehitys on kiihtynyt alkuperäisen lähteen julkaisun jälkeen.



*Synteettiset sisältävät synteettinen ammoniakki, vety, synteettinen meridiesel, synteettinen LNG ja synteettinen LPG.

Markkinat meriliikenteen vaihtoehtoisille polttoaineille kehittyvät jaksottaisesti. Markkinoiden kehittyminen edellyttää teknologian kehittymistä, kun teknologia on olemassa, on mahdollista syntyä kysyntää polttoaineelle, jolloin voidaan päästä tilanteeseen missä kysyntä ja polttoaineiden tarjonta kohtaavat. Fossiiliset vaihtoehtoiset polttoaineet eivät ratkaise päästöongelmaa ja biopolttoaineiden osalta drop-in polttoaineina teknisiä ongelmia on hyvin vähän, mutta biopolttoaineiden saatavuus ei ole riittävää. Päästöjen vähentämisen kokonaisratkaisun keskiössä onkin synteettisten polttoaineiden sekä vedyn käyttöönotto. Ongelmana on, että uudenlaiseen kalustoon ei investoida, jos ei ole tarjontaa polttoaineesta ja polttoaineen tuotantoon ei investoida, jos ei ole kalustoa, joka sitä käyttäisi.

Isoimmat ajurit muutokselle ovat regulaatio, asiakkaiden vaatimukset kuljetusten päästöttömyydestä sekä pääoman saatavuus investoinneille. Regulaatio ja asiakkaiden vaatimukset ajavat päästöttömyyttä. Pääoman saatavuuden ajurina on liiketoimintasuunnitelmien kannattavuus. Liiketoimintasuunnitelman kannattavuus polttoainetuottajan puolella koostuu suurimmilta osin sähkön hinnasta sekä uusiutuvan sähköntuotannon kehitymisestä ja lopputuotteen varmistetusta kysynnästä. Uusiutuvan sähköntuotannon viimeaikainen ja nähtävillä oleva kehitys ennakoivat keskimääräisen sähkön markkinahinnan laskua pitkällä aikavälillä. Uusiutuvaa tuulivoimaa on suunnitella suuria määriä ja vetytalouden imu tulee luultavasti tukemaan tätä kehitystä. Sähköhinnan kehityksen tukiessa polttoainetuottajien investointeja, on liiketoimintasuunnitelmien kannattavuuden pääasiallisena haasteena lopputuotteen varmistettu kysyntä, mikä vaatii sitovia esisopimuksia varustamoiden kanssa. Vedyn tuotantoprojekteja lähtee käyntiin sitä mukaa kun liiketoimintasuunnitelmat sisältävät uskottavaa kysyntää.

Edellisissä kappaleissa on esitelty meriliikenteen polttoainejakaumaa maailmanlaajuisesti. Meriliikenteen päästöjen vähentämisessä keskeistä on maailmanlaajuinen näkökulma, sillä 80 % kaikista meriliikenteen päästöistä tulee valtamerikuljetuksista. Eri laivakokoluokille on eri ratkaisut päästöjen vähentämiseksi, ja esimerkiksi sähkönkäyttö soveltuu parhaiten kaikkein pienimmille aluksille ja paikalliseen liikenteeseen. Itämeren alueella lähimerenkulku on osa-alue, jossa korostuvat mahdollisuudet sähkön sekä vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöön. Sähkön hyödyntämismahdollisuuksia on käsitelty luvussa 3.2. Itämeren alueella myös synteettisten polttoaineiden ja vedyn tuottamiseen on hyvät edellytykset uusiutuvan sähköntuotannon kasvaessa. Teknologian kehittymisen myötä valikoituu mitä polttoaineita vedystä on tehokkainta valmistaa ja kuljettaa kokonaisuuden näkökulmasta. Tämän selvityksen perusteella ei ole näkyvissä syitä, että jokin tietty polttoaine ei sopisi Suomessa valmistettavaksi.

Todennäköistä on, että puhtaiden polttoaineiden käyttö maailman meriliikenteen energiankäytöstä painottuu Itämeren kaltaisiin ympäristöihin. Kysynnän näkökulmasta

kaikkia vaihtoehtoisia polttoaineita voidaan käyttää yhtä todennäköisesti Itämeren liikenteessä. Maailman meriliikenteeseen verrattuna Itämeren liikenne painottuu enemmän fossiilittomiin vaihtoehtoihin eli bio- ja synteettisiin polttoaineisiin. Selvityksen perusteella mitään käsiteltyä polttoainetta ei voida sulkea pois sopimattomana Itämeren liikenteeseen. Tällä hetkellä synteettisten polttoaineiden osalta kehitys on painottumassa yksinkertaisimpiin synteettisiin polttoaineisiin metanoliin ja ammoniakkiin. Biopolttoaineiden kaltaisten monimutkaisempien hiilivetyjen valmistaminen synteettisesti on ainakin nykyisin huomattavasti kalliimpaa ja energiahävikki suurempi kuin näissä yksinkertaisemmissa yhdisteissä. Polttoainekehityksessä tärkeimpänä on sopivan vedyn kuljetinaineen kehittäminen, joka ratkaisisi tässä luvussa esiteltyjä polttoaineiden teknisiä ja fyysisiä haasteita. Itämeren liikenteessä on paljon yhden päivän kestäviä merimatkoja ja enimmillään matkojen pituudet ovat vain 2,5–3 vuorokautta. Tämä tukee niin sähkön hybridikäytön mahdollisuuksia kuin myös pienemmän energiasisällön polttoaineiden käytön mahdollisuuksia.

Case: Jäänmurtajien uusiminen Ruotsissa

Uusien jäänmurtajien polttoaineeksi Ruotsissa LNG, biodiesel tai etanoli, sekä mahdollisuus akkukäyttöiseen propulsioon.

Jäänmurtajat ovat tärkeitä teollisuudelle, jotta tuotteita saadaan kuljetettua meriteitse myös talvella. Neljä viidestä Ruotsalaisesta jäänmurtajasta lähestyy 50 vuoden ikää. Väylävirasto ja Sjöfartsverket Ruotsissa ovat allekirjoittaneet yhteistyösopimuksen uudensukupolven jäänmurtajan suunnittelemisesta. Suunnittelu päätettiin tehdä yhteishankintana. Marraskuussa 2020 Aker Arctic valittiin suunnittelijaksi. Seuraavassa vaiheessa tehdään tietopyyntö suunniteltujen jäänmurtajien rakentamiseksi.

Vanhojen jäänmurtajien elinkaaren jatkamista arvioitiin mahdollisuutena, mutta lopputuloksena uusien jäänmurtajien tilaaminen valikoitui ensisijaiseksi vaihtoehdoksi.

- Tavoitteena vanhan jäänmurtajakannan modernisointi sekä tulevaisuuden jäänmurtokyvyykkyyden ja kestävä kehityksen vaatimusten saavuttaminen
- Polttoaine; LNG, biodiesel tai etanoli, sekä mahdollisuus akkukäyttöiseen propulsioon
- 32 m leveän käytävän murtaminen mahdollista
- Arvioitu hinta 1,4–2 miljardia SEK per jäänmurtaja

Case: Viking Energyn ammoniakkikonversio

Eidesvikin alus Viking Energy muunnetaan vuoteen 2024 mennessä ammoniakkikäyttöiseksi toimimaan 2 MW polttokennolla

Viking Energy on konversion jälkeen ensimmäinen ammoniakkikäyttöinen alus kaupallisessa liikenteessä. Aluksen voimansiirron sekä ammoniakkin toimitus- ja varastointijärjestelmät toteuttaa Wärtsilä Norway. Polttokennojen toimittaja on Prototech, ja polttoaineen toimittaa Yara.

- 94 m pitkä; 20,6 m leveä
- 230 MNOK budjetti 5 vuoden tutkimusprojektille (merkittävä osuus EU rahoitusta)
- Tavoitteena, että vuoden testijaksolla 60–70 % energiasta tuotetaan ammoniakilla. Tavoitteena on myös demonstroida, että 90 % energiasta voi tulla valitusta teknologiasta.

7.3 Vaihtoehtoisten polttoaineiden tarpeet jakeluinfrastruktuurille

Fit-for-55-ilmastopakettiin kuuluvaan vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönottodirektiivin (AFIR) velvoitteita on maasähkön tarjoamisen osalta käsitelty luvussa 2.2.1. Sama direktiivi velvoittaa TEN-T-ydinverkon satamien järjestää riittävä määrä LNG:n tankkausmahdollisuuksia, siten että laivaliikenne voi sen avulla liikkua verkostossa ilman esteitä 1.1.2025 alkaen. EU:n jäsenvaltioiden tulee määrittää kansallisessa ohjelmassa, mitkä Ten-T-ydinverkon satamien tulee tarjota LNG tankkausmahdollisuutta, jotta saumaton liikenne TEN-T-ydinverkon satamissa onnistuu. Suomessa TEN-T-ydinverkon satamissa on mahdollista tarjota LNG:n tankkausmahdollisuus jo nykyisellään. Tankkaus voidaan suorittaa joko LNG bunkkerialuksesta tai tankkiauton välityksellä satamissa. LNG terminaaleja sijaitsee Porissa, Torniossa sekä syksyllä 2022 kaupalliseen käyttöön valmistuva terminaali Haminassa.

Laivaliikenteessä käytetty öljy on tullut perinteisesti laivoilla Suomeen ja jaeltu sekä laivoilla että kumipyörillä. Vaihtoehtoisista polttoaineista fossiiliset LNG ja LPG ovat öljyä vastaavasti myös tuontitavaraa. Myös niiden jakelua on tehty laivoilla, sekä kumipyörillä. Biopolttoaineiden ja synteettisten polttoaineiden käyttöönoton yhteydessä logistiikkaketjut tulevat muuttumaan. Biopolttoaineiden osalta voidaan hyödyntää vastaavia logistiikkaketjuja, kuin fossiililla polttoaineilla. Synteettisten polttoaineiden osalta valmistus olisi pääosin Suomessa. Kotimaassa valmistettujen polttoaineiden

osalta logistiikkaketju olisi valmistuspaikalta satamiin. Tuotannon sijoittumista ei pystytä vielä ennustamaan, mutta varmaa on, että joko lopputuotetta tai valmistukseen tarvittavia tuotteita tulee kuljettaa satamiin. Todennäköisesti kaikki kuljetusratkaisut toteutuvat ja tuotantolaitoksia tulee olemaan niin satamien yhteydessä kuin uusiutuvan sähköntuotannon yhteydessä. Kehitettävien polttoaineentuotantoprojektien kustannusoptimointi tulee valitsemaan valmistuspaikat ja siten kuljetettavat lopputuotteet tai raaka-aineet. Biopolttoaineiden ja synteettisten polttoaineiden tapauksissa jakelua tullaan edelleen tekemään kumipyörillä tuotantolaitoksilta satamiin ja tarvittaessa myös bunkkerilaivoilla satamissa tai merellä. Välivarastoja satamiin ei haastatteluiden perusteella nähdä tarpeellisiksi tulevaisuuden polttoaineinfralle. Tankkiautot soveltuvat laivojen tankkaukseen hyvin kokonsa puolesta. Bunkkerilaivojen tapauksessa laiva todennäköisesti ottaisi polttoainetta välivarastosta ja tankkaisi aluksia, joko satamissa tai merellä.

Jos synteettisen polttoaineen valmistus tapahtuu satamassa, tarvitaan sähkö sekä mahdollisesti hiilidioksidi kuljetettuna satamaan. Jos synteettinen polttoaine tuotetaan jossain muualla, tulee lopputuote kuljettaa satamaan. Hiiltä sisältävien synteettisten polttoaineiden kohdalla on todennäköistä, että hiilidioksidi joudutaan kuljettamaan valmistuspaikalle, ellei sitten sähköä siirretä hiilidioksidilähteelle ja lopputuotetta kuljeteta satamaan.

Laivaliikenteen tarvitseman määrän synteettistä polttoainetta valmistaminen kuluttaa niin paljon sähköä, että sähkönsiirtoverkko tarvitsee merkittäviä vahvistuksia sähkönsiirron mahdollistamiseksi. Yksi mahdollisuus on siksi valmistaa synteettisiä polttoaineita uusiutuvien tuotantomuotojen läheisyydessä, jolloin sähköverkkoon syötettäisiin sähköä vain markkinahinnan ollessa riittävän korkea. Markkinat muodostavat optimiratkaisun jokaiselle kehitettävälle projektille.

Fingridin mukaan erilaisia tuulivoimahankkeita on kehitteillä noin 150 GW edestä, mikä vastaa kymmenkertaisesti Suomen nykyistä sähköntuotantoa. Vuoden 2021 lopussa tuulivoimakapasiteetti oli noin 3,3 GW. Vaikka vain harva kehitteillä olevista projekteista pääsisi luvitusvaiheeseen, on määrä silti merkittävä ja tukee mahdollisuutta tuottaa synteettisiä polttoaineita sähköllä tulevaisuudessa. Nykyinen sähkönsiirtoverkko ei pysty siirtämään joustavasti tällaista määrää sähköä, ja näin ollen uutta energiansiirtoinfraa tullaan tarvitsemaan tulevaisuudessa. Siirtoinfra voi sisältää sähkönsiirtoa, polttoaineen siirtoa tai esimerkiksi ammoniakkin tai vedyn siirtoa putkessa. Ratkaisut voivat olla paikallisia tai valtakunnallisia.

Infran rooli synteettisten polttoaineiden tuomisessa meriliikenteeseen on merkittävä, muttei määräävä. Tarvittavaa infraa ei pystytä määrittämään etukäteen. Infran kustannus on pieni verrattuna muuhun polttoainetransformaatioon eli itse vetyteollisuuden

syntyyn. Tässä selvitystyössä tehtyjen haastattelujen mukaan siirtoinfra tullaan rakentamaan tarpeeseen eikä tämän nähdä muodostuvan pullonkaulaksi: siirtoinfra ei kannata rakentaa pohjalle mahdollistamaan transformaatiota. Lähtökohtaisesti ei kuitenkaan tiedetä mitä transformaatiota varten tarvitaan, missä polttoaineita tuotetaan tai ensinnäkään, mitä polttoaineita tuotetaan vuonna 2050, ja mitä sitä varten tulisi kuljettaa. Suositeltavaa olisi kuitenkin tehdä yltäosan yleissuunnitelma olemassaolevilla tie-
doilla. Tällä voidaan varautua tarvittavaan synteettisten polttoaineiden tuotantomäärään, jolla päästövähennystavoitteisiin voidaan päästä.

Yleissuunnitelmassa ei tule valita eri satamissa tarjolla olevia polttoaineita vaan tulisi käydä läpi tulevien polttoaineiden jakelun perustapaukset: vety, ammoniakki ja metanoli. Markkinat valitsevat mitä vaihtoehtoja ja miten ne tulevat saataville eri satamiin. Valtion tehtävänä olisi haastatteluiden mukaan tukea, että regulaatiosta tulee riittävän tiukka, jotta tavoitteisiin päästään. Markkinat ratkaisevat sitten tarkasti mitä ja miten päästövähennyksiä toteutetaan. Investointitukia eri teknologioille tulisi olla saatavilla, jotta työkalut muutoksille ovat olemassa. Tärkeää on myös, että valtion toimenpiteet ja regulaatio ovat ennustettavia ja pitkäjänteisiä, jotta varustamot ja satamat uskaltavat toimia niiden mukaisesti.

Haastatteluiden mukaan infraan liittyvä tukimahdollisuus tulisi osoittaa mahdollisimman lähelle uuden polttoaineen kulutusta. Tällöin poistetaan viimeisen mailin kustannusesteet ja siten kannustetaan projektien käynnistämiseen. Uusien laivaliikenteen polttoaineiden tapauksessa viimeisen mailin pehmentäminen tarkoittaisi tukea sataman päähän.

Sähkönsiirrolle rinnakkainen, esimerkiksi vedyn tai ammoniakkin putkisiirto voisi toteutua sijainteihin, joissa on tulevaisuudessa paljon uusiutuvaa sähköntuotantoa. Tällaisia sijainteja tuulivoimaan perustuen on länsirannikolla sekä Lapissa. Nykyinen maa-
kaasuputki ei kulje näillä alueilla, joten sitä ei voida merkittävässä määrin hyödyntää osana verkostoa. Putkisiirto on kustannustehokasta sähkönsiirtoon verrattuna vain kaikkein suurimmassa kokoluokassa. Halkaisijaltaan 1200 mm putki pystyy kuljettamaan energiaa vastaavan määrän kuin noin viisitoista 400 kV sähkölinjaa (Gasgrid, 2022). Vertailussa on huomioitu elektrolyysilaitteiston n. 30 % häviöt, eli vertaillaan energiamäärää, joka tulisi siirtää sähköverkossa vs. samasta sähköstä elektrolyysilaitteistolla tehdyn vedyn siirtoa putkessa.

Yhteenvetona tulevaisuuden meripolttoaineiden jakeluinfratuurin tarpeista voidaan todeta, että suurinta osaa polttoaineita kuljetetaan jo nykyään totutuilla käytännöillä. Ainoastaan vety on täysin uusi ja uutta teknologiaa vaativa polttoaine. Ammoniakkia kuljetetaan kemianteollisuudessa totutuilla käytännöillä, mutta sen kuljettaminen on vaikeampaa kuin perinteisten meripolttoaineiden, ja jos ammoniakki yleistyy meripolttoaineena, on tulevaisuuden mittakaava merkittävästi nykyistä suurempi. Vedyn

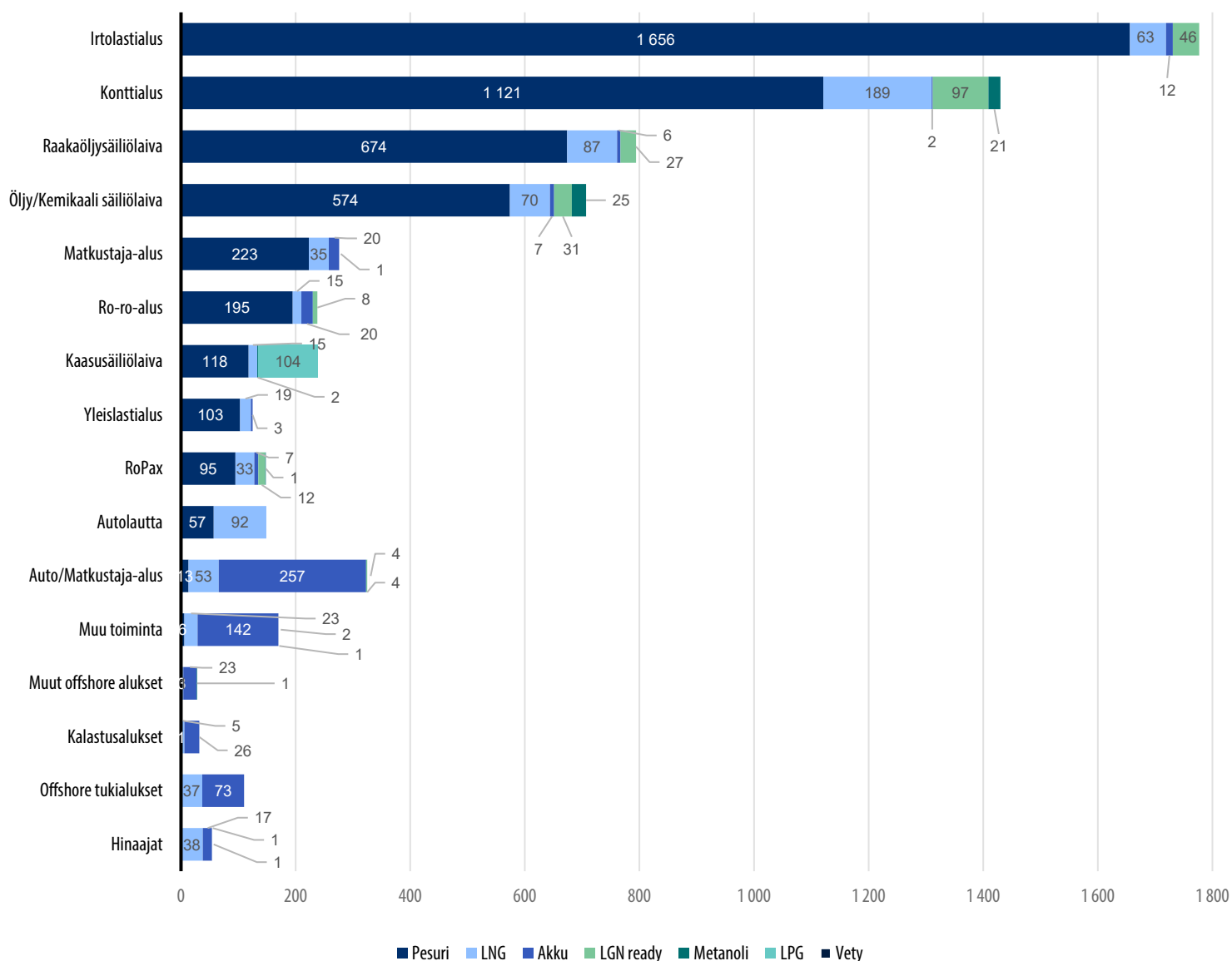
osalta teknologia ei ole vielä jakelun kannalta valmis eikä näin ollen voida tietää, mihin ja millaista vedynkuljetusinfrastruktuuria tarvitaan (esimerkiksi putki). Infra syntyy tarpeeseen markkinavetoisesti. Öljy, LNG, LPG, biopolttoaineet sekä biopolttoaineita vastaavat synteettiset polttoaineet eivät vaadi uudenlaista infraa. Öljytuotteet, metanoli sekä niitä vastaavat biopolttoaineet ja synteettiset polttoaineet toimivat infran kannalta tutulla tavalla verrokkina normaalit öljytuotteet. LNG, LPG sekä vastaavat bio-kaasut ja synteettiset kaasut toimivat myös infran kannalta tuttuun tapaan verrokkina nykyisin käytössä oleva fossiilinen LNG. Kaasumaisten polttoaineiden yleistyessä jakeluinfraa tarvitaan lisää nykyiseen verrattuna. Esimerkkinä haastatteluissa kerrottiin suunnitelmasta jaella bunkkerilaivalla Tanskasta Suomen merialueille ammoniakkia laivojen polttoaineeksi.

On epätodennäköistä, että kaikkia eri vaihtoehtoisia polttoainetta tarjottaisiin saataville jokaisessa satamassa. Oletettavaa on, että polttoaineista valikoituu alueellisesti saataville 1–3 riippuen paikallisista tarpeista, tuotantomahdollisuuksista ja -hinnasta sekä polttoaineen ominaisuuksista käyttötarkoitukseensa. Ei ole näkyvissä poissulkevia syitä, miksi jokin tulevaisuuden polttoaine ei sopisi Itämeren alueen liikenteeseen tai sitä ei voitaisi tuottaa Suomessa. Polttoaineiden saatavuutta Suomen satamissa jakeluinfratuorin kehittymisen näkökulmasta vuosina 2030, 2035, 2040 ja 2050 on käsitelty luvussa 9.

8 Vaihtoehtoisten polttoaineiden käytettävyys olemassa olevassa tonnistossa ja uusissa aluksissa

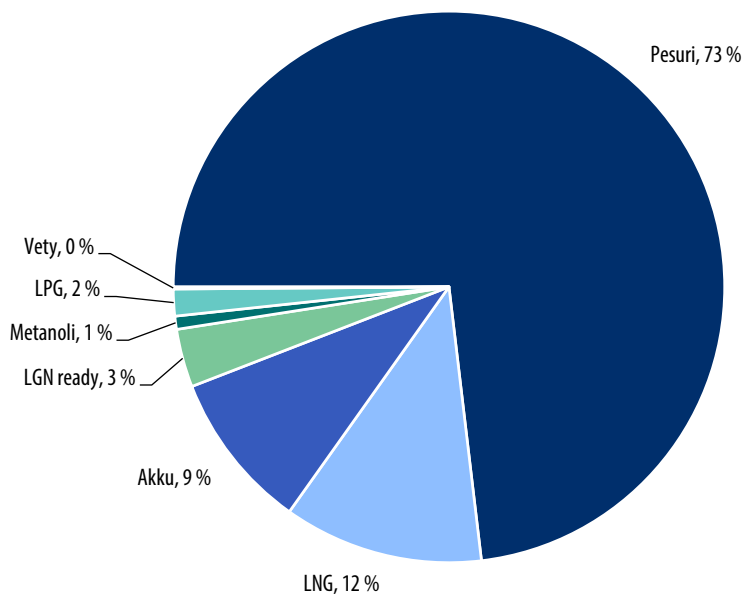
Kuvio 6. Vaihtoehtoisia polttoaineita ja teknologioita hyödyntävien alusten määrät ja osuudet käytössä ja tilauksessa olevilla aluksilla alusluokittain (DNV, 2022).

Laivaliikenteen vaihtoehtoisten polttoaineiden ja teknologioiden nykytilanne



Kuvio 7. Vaihtoehtoisia polttoaineita ja teknologioita hyödyntävien alusten määrät ja osuudet käytössä ja tilauksessa olevilla aluksilla (DNV, 2022).

Laivaliikenteen vaihtoehtoisten polttoaineiden ja teknologian nykytilanne



Tällä hetkellä merenkulussa vaihtoehtoisia polttoaineita käyttäviä aluksia joko tilauksessa tai operoinnissa on hyvin maltillinen määrä: metanolia käyttäviä aluksia on 51 kpl, vetyä hyödyntäviä aluksia 7 kpl ja akkuihin perustuvaa sähköpropulsiota 593 kpl (Kuvio 6 ja Kuvio 7).

Vaihtoehtoisten polttoaineden lisääntyminen on selkeästi eksponentiaalisessa kasvussa kaikilla polttoaineilla. Merkittävin lisäys alusmäärissä on akku- ja LNG-installaatioissa. LNG-installaatiot painottuvat suuriin aluksiin.

8.1 Alusten muutostarpeet

8.1.1 Uudet alukset

Vaihtoehtoiset polttoaineet ovat lämpöarvoltaan alhaisempia, joten saman energiasisällön tankkaaminen alukseen edellyttää suurempaa polttoainesäiliötilavuutta. Uudis-tonniston suunnittelussa on huomioitava uudenlainen polttoainelogistiikka ja rajoituneempi toimintasäde. Alemman lämpöarvon polttoaineen varastointi on huomioitava runkosuunnittelussa ja aluksen tulevan operointialueen määrittelyssä. Lyhyen toimintasäteen ja hiljalleen rakentuvan globaalin polttoainelogistiikan myötä uuden tonniston jälkimarkkina-alueet kaventuvat. Jälkimarkkinan muuttuminen voi tarkoittaa aluksille lyhyempää elinkaarta.

Vaihtoehtoisten polttoaineiden soveltaminen uudisrakentamisessa on telakkateollisuuden toimijoiden mukaan lähtökohtaisesti helposti toteutettavissa tilaajien toiveiden mukaisesti, mikäli vaihtoehtoinen polttoaine on määritetty alukseen jo projektivaiheessa.

Tällä hetkellä telakoilla olevissa suomalaisissa projekteissa kaikissa on huomioitu tulevat päästövähennystavoitteet ja niihin liittyvät teknologiat. Nyt on jo syntynyt käsite ”Hybrid ro-ro vessel”. Tästä on pääteltävissä, että varustamot ovat halukkaita ottamaan uudishankkeiden yhteydessä käyttöön uusimman vähäpäästöisimmän propulsioteknologian.

8.1.2 Olemassa olevat alukset

Käytössä olevien alusten konvertointi uusille polttoaineille on jonkin verran ongelmallisempaa. Polttoaineen vaihtaminen edellyttää pääsääntöisesti polttoainetankkien muuntamista runkotankeista irrallisiksi säiliöiksi, joiden sijoittaminen autokannelle tai sääkansille kuluttaa lastikapasiteettia ja voi tuottaa ongelmia alusten luokituksissa.

Modernin moottoritekniikan ansioista osa aluskannan moottoreista on muunnettavissa ns. monipolttoainemoottoreiksi. Polttoainevaihtoehtojen lisääminen edellyttää toimenpiteitä moottoreihin: joissakin tapauksissa perusmoottori on mahdollista säilyttää ja muutokset koskevat polttoainejärjestelmää, sylinterikansia ja polttoainetankkeja. Mikäli koko moottori on vaihdettava, on polttoainekonversion taloudellinen mielekkäisyys hyvin kyseenalainen ilman merkittävää yhteiskunnan panostusta.

Olemassa olevan tonniston sähköistäminen ei ole yhtä haastavaa kuin polttoainekonversio. Avustavan sähköpropulsion toteuttamisesta on hyviä kokemuksia. Esimerkiksi tutkimusalue Arandan peruskorjauksen yhteydessä toteutettu akkujen lisäys on onnistunut hyvin.

8.2 Turvallisuus

Vaihtoehtoisten polttoaineiden turvallisuusnäkökohdat ovat erilaisia kuin perinteisillä polttoaineilla, mutta tehtyjen haastattelujen perusteella ne ovat hallittavissa luokitusprosesseissa. Aluksilla voidaan käyttää ainoastaan meriliikenteeseen hyväksytyjä laitteita, järjestelmiä ja materiaaleja, joiden tuote- tai järjestelmäkohtaisesta tyyppihyväksynnästä vastaa tuotteen valmistaja tai järjestelmän toimittaja. Esimerkiksi akkujärjestelmillä tulee olla luokituslaitoksen tyyppihyväksyntä Marine-käyttöön.

Alusten luokitusjärjestelmä ja sen prosessi IMO:n julkilausumasta ja turvallisuussäännöksistä lippuvaltioiden säädöksiin antaa perustan vaihtoehtoisten polttoaineiden turvalliseen käyttöön. Vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöönottoon ei ole esteitä turvallisuusnäkökulmasta katsottuna. Ajantasaiset säännöt ja niiden noudattamisen valvonta edellyttävät jatkuvaa kehitystyötä ja tiivistä yhteistyötä toimijoiden välillä.

8.2.1 Vaikutus meriliikenteen luokituksiin

Alusten luokitusprosessi luo perustan aluksen kokonaisturvalliselle operoinnille, joka huomioi ympäristön ja lastin sekä miehistön ja matkustajat. Uusien vaihtoehtoisten polttoaineiden osalta luokitusnäkökohdat kehittyvät jatkuvasti: luokituslaitoksista mm. DNV on tehnyt jo erillisiä luokitusmerkintöjä vaihtoehtoisille polttoaineille.

Kaasu- tai muita matalan leimahduspisteen polttoaineita käyttävien alusten kansainvälinen turvallisuusnäkökohdasto (IGF Code) on pakollinen IMO:n säädös, joka koskee kaikkia kaasumaisia ja muita matalan leimahduspisteen polttoaineita merenkulussa ja kaikkia kaasukäyttöisiä aluksia lukuun ottamatta kaasualuksia. Jälkimmäiset ja niiden alhaisen leimahduspisteen polttoaineiden käyttö kuuluvat nesteytettyä kaasua irtokaasuna kuljettavien alusten rakentamista ja varusteita koskevan kansainvälisen säännösten (IMO IGC Code) piiriin.

IMO jatkaa metanolin ja matalan leimahduspisteen dieselin IGF-koodin ja polttokenojärjestelmien sääntöjen kehittämistä. Muut edellä mainitut polttoaineet eivät ole tällä hetkellä IGF-koodin asialistalla. Tämä on huomioitava nestekaasu- tai vetysovellusten

kehittämisessä lähitulevaisuudessa. Suurimmat haasteet liittyvät ympäristöhyötyihin, polttoaineen yhteensopivuuteen, riittävän polttoaineen saatavuuden merenkulun vaatimuksiin, polttoainekustannuksiin sekä IGF-koodin kansainväliseen sääntömääräykseen. (DNVGL 2022)

Tällä hetkellä vaihtoehtoisten polttoaineiden lisäluokitusvaatimusten tilanne on:

- LNG ja biokaasu – normaali toimintamalli, pitkäaikaiset kokemukset
- Fossiilisen dieselin vaihto biodieseliin – Ei haasteita luokituksen näkökulmasta
- Metanoli – oma luokitusmerkintä on olemassa
 - Matalan leimahdusasteen polttoaine aiheuttaa enemmän teknisiä velvoitteita kuin aineen myrkyllisyys.
 - Myrkyllisyys aiheuttaa myös joitain velvoitteita esim. tilojen tuuletukseen.
 - Edellyttää vielä yksittäisten järjestelmien erillissertifiointin.
- Ammoniakki – Oma luokkamerkintä on olemassa
 - Laajaan käyttöön saattaminen edellyttää IMO:lta toimia.
 - Luokkamerkin saamiselle ammoniakille ei esteitä mutta vaatii erillisen turvallisuusanalyysin.
 - Edellyttää vielä yksittäisten järjestelmien erillissertifiointin.
 - Ammoniakin varastointi ja käsittely on huomioitava siis jo varhaisessa suunnitteluvaiheessa, kuten kaikki polttoaineet aluksella
- Vety – käyttö edellyttää samankaltaisia toimia kuin ammoniakki

Vaikka polttoainekohtaisia luokitusäännöksiä ei ole, uudishankkeet on mahdollista toteuttaa rakennusvaiheessa vaihtoehtoista polttoainetta käyttäviksi tai sellaisiksi, että niissä on mahdollista ottaa myöhemmin käyttöön uusia polttoaineita. Vaihtoehtoisen polttoaineen järjestelmille on mahdollista hankkia hyväksyntäjärjestelmä rakentamisen aikana. Tämä edellyttää luokitusviranomaiselta suunnittelun ja asennuksen jatkuvaa seurantaa.

Case: LNG:n luokituksen syntyminen

Nesteytetty maakaasu LNG on otettu käyttöön meriliikenteessä 2000 luvun alussa.

Ensimmäiset LNG:tä käyttävät alukset on luokitettu ja niiden turvallisuus LNG-järjestelmän osalta on tehty rakentamisen edetessä yksittäistapauksina. Nämä tapaukset ovat olleet perustana nyt voimassa oleville säännöksille, joiden perustan IMO ratifioi LNG:lle n. 15 vuotta myöhemmin. IMO ei vastaa uusien säädösten kehittämisestä vaan muodostaa turvallisuuskokonaisuuden todennettujen käytänteiden mukaisesti.

Toisaalta vanhojen jo käytössä olevien polttoaineiden ohjeistuksien muokkaaminen uusille polttoaineille on nopeampaa kuin kokonaan uuden koodiston kirjoitus. Esimerkiksi ammoniakille tehdään parhaillaan koodistoa muiden polttoaineiden pohjalta.

8.3 Tonniston uudistumisnopeus

Suomen varsinaisen kauppalaivaston keskimääräinen ikä vuoden 2021 päättyessä oli noin 24 vuotta. Kun ikä suhteutetaan bruttovetoisuuteen, saadaan keskimääräiseksi iäksi 23,7 vuotta. Suuret alukset ovat siis keskimäärin selvästi uudempia kuin pienemmät alukset. Bruttovetoisuuteen suhteutettuna uusimmat alukset olivat säiliöaluksia, joiden keski-ikä oli vain kolme vuotta. Seuraavaksi uusimpia olivat irtolasialukset 8 vuoden sekä ro-ro-lastialukset ja ro-ro-matkustaja-alukset 17 vuoden suhteutetulla iällä. Vanhimpia olivat matkustaja-alukset, joiden bruttovetoisuuteen suhteutettu keski-ikä oli 60 vuotta.

Suomen kauppalaivaston uusiutumisenopeutta rajoittaa jäävahvisteisten laivojen vähäisyys markkinoilla. Pienet varustamot kuten Prima, Nathalie ja Meriaura tilaavat pääsääntöisesti aluksensa jälkimarkkinoilta. 2010-luvun jälkeen on rakennettu vain vähän Itämeren-liikenteeseen sopivia, riittävällä jääluokituksella varustettuja aluksia. Uuteen tonnistoon investointi on kuitenkin haasteellista erityisesti rahoituksen saatavuuden vuoksi (Suomen varustamoyhdistys ry, 2022).

Bruttovetoisuuteen suhteutettu keski-ikä on kohtuullisen matala, noin 14,5 vuotta. Tämä tarkoittaa, että kauppalaivaston volyymikapasiteetti on elinkaarensa puolivälissä, jolloin Suomen kauppalaivasto on oletettavasti uusiutunut lähes kokonaan vuoteen 2050 mennessä.

Aluksille toteutetaan tekninen peruskorjaus noin 15 vuoden välein (RMC, 2022) Suomalaisen kauppalaivaston keski-ikä perusteella peruskorjauksia toteutetaan noin

50 %:lle kauppalaivastosta vuoteen 2050 mennessä ja 50 % tonnistosta uudistuu kokonaan.

Nykykäytännön mukaisesti peruskorjauksissa toteutetaan alusten energiatehokkuutta parantavia muutoksia propulsiojärjestelmiin tai aluksiin tehdään valmiuksia mm. polttoainemuutoksiin. Nämä toimenpiteet alentavat alusten päästöjä merkittävästi.

Aiemmin peruskorjausikää lähestyvät alukset ovat siirtyneet alusten ns. jälkimarkkinoille mukavuuslippumaihin. Globaalit energiatehokkuusvaatimukset ja päästövähennystavoitteet ovat aiheuttaneet jälkimarkkinoiden kaventumisen, joka puolestaan aiheuttaa suomalaisen aluskannan keski-ikänsä kääntymisen maltilliseen kasvuun. Toisaalta tämä kehitys avaa mahdollisuuden syvemmille peruskorjauksille, joissa on mahdollista toteuttaa laajamittaisia muutostoimenpiteitä propulsiojärjestelmiin ja polttoainetankkeihin.

8.4 Vaihtoehtoisten polttoaineiden ja tuulipropulsion soveltuvuus ja kysyntä Itämeren alueella

Vaihtoehtoiset polttoaineet ja propulsiomenetelmät soveltuvat eri tavalla erilaisille liikennetarkoituksiin tarkoitetuille alustyypeille. Soveltuvuuden eri liikennetarkoituksiin ja liikennealueille määrittää aluksen kapasiteetti kuljettaa polttoainetta mukanaan tai asennettu akkukapasiteetti.

Vaihtoehtoisten polttoaineiden käytettävyys on hyvä Suomen vesialueilla. Eri polttoaineiden käytettävyttä rajoittaa enemmän niiden saatavuus kuin soveltuvuus meriliikenteen polttoaineeksi.

Asiantuntijoiden näkemyksen mukaan tuulipropulsion kehitysnäkymä on haasteellinen Itämeren alueella. Tuulipropulsion kysyntää lisää sen avulla saatava noin 10–30 %:n polttoainesäästö.

Vaihtoehtoisten polttoaineiden kysyntää Itämeren alueella ohjaa ensisijaisesti polttoaineiden saatavuus ja niiden hinta. Kysyntää vauhdittaa jonkin verran rahdin omistajien ympäristö- ja vastuullisuustavoitteet. Mikäli vaihtoehtoisten polttoaineiden saatavuus on kohtalainen, niin rahoitusmarkkinan dynamiikka ohjaa rahoitusta siirtymään vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöön.

9 Vaihtoehtoisten polttoaineiden jakeluinfrastruktuurin näkymät vuosille 2030, 2035, 2040 ja 2050

9.1 TEN-T-ydinverkon satamat

Polttoaineiden saatavuuteen vaikuttavat monet tekijät. Biopohjaisten polttoaineiden kestäväksi luokiteltavien raaka-aineiden saatavuus on rajallinen. Metanolin, vedyn ja ammoniakkin saatavuuteen vaikuttavat eniten yhteiskunnan ohjaavat toimenpiteet – päästöttömän sähkön saatavuus polttoainetuotantoon on avainasemassa.

Taulukko 19. Vaihtoehtoisen polttoaineiden jakeluinfran olemassaolo sekä polttoaineiden saatavuus satamissa vuosina 2030, 2035, 2040 ja 2050.

Vuosi	Otsikko	Bio Diesel	Bio LNG	Bio metanoli	Vety	Ammoniakki
2030	Jakeluinfra	+++	+++	+++	+	+
	Saatavuus	-	-	-	-	-
2035	Jakeluinfra	+++	+++	+++	++	++
	Saatavuus	-	-	+	+	+
2040	Jakeluinfra	+++	+++	+++	++	++
	Saatavuus	-	-	++	++	++
2050	Jakeluinfra	+++	+++	+++	+++	+++
	Saatavuus	-	-	+++	+++	+++

+++ Hyvä saatavuus hyvä / Kattava jakeluinfra

++ Kohtalainen saatavuus / Kohtalainen jakeluinfra

+ Saatavilla / Valttava jakeluinfra

- Saatavuus heikko / Ei jakeluinfraa

Vaihtoehtoisten polttoaineiden saatavuuteen ja sen kehitykseen satamissa vaikuttaa niiden aiheuttama tarve jakeluinfrainvestointeihin sekä erityisesti kunkin polttoaineen saatavuus markkinoilta.

Tällä hetkellä nestemäisille ja kaasumaisille polttoaineille on Suomessa olemassa tuotanto-, varastointi- ja jakeluinfrastruktuuri, mikä perustuu sekä maantie- ja rautatie sekä merikuljetuksiin. (Katso kappale 7.3 Vaihtoehtoisten polttoaineiden tarpeet jakeluinfrastruktuurille.) Polttoaineiden jakeluinfra kehittyy kysynnän myötä. Jakeluinfran nykytila ei kuitenkaan estä vaihtoehtoisten polttoaineiden käytön yleistymistä Suomeen suuntautuvassa vesiliikenteessä.

Vaihtoehtoisten polttoaineiden saatavuus on ensisijain este niiden käytön yleistymiselle: kestävästi tuotettujen biokaasun ja biodieselin raaka-aineiden saatavuus on hyvin rajallinen ja niille on suuri kysyntä sekä maantieliikenteen lämmöntuotannon polttoaineena. Tämä selittää taulukossa 19 esitetty nollakasvu biopolttoaineiden saatavuudelle.

Case: Ammoniakin tankkaamisverkosto Skandinaviaan

Yara suunnittelee ensimmäistä ammoniakin tankkausverkostoa Skandinaviaan vuodelle 2024

Tankkausverkosto olisi tarkoitus toteuttaa ensivaiheessa 15 tankkaustermiinalilla (kelluvia ja maalle sijoitettavia), jotka Yara on esitellnyt Azane Fuel Solution:lla. Azane Fuel Solution on saanut tukea Norjan "Green Initiative" ohjelmalta sekä apurahaa "Innovation Norway:lla" sekä "Norwegian Research Council:lla" ensimmäisen pilotti yksikön rakentamiseen. Tankkausverkostoon on suunnitteilla niin maalle rakennettavia kuin kelluvia bunkkereita. Bunkkereiden sijaintia ei ole vielä päätetty, mutta verkoston tavoitteena on mahdollistaa liikennöinti ammoniakkikäyttöisillä laivoilla Skandinaviassa.

- 15 tankkaustermiinalia Skandinaviaan.
- Kehitteillä kelluva ja maalle rakennettava termiinali
- Isokokoinen maatermiinali voisi toimia kelluvien tankkausasemien välivarastona
- Mahdollista täyttää tankkiautoilla, tankkereilla sekä proomuilla
- Mahdollista tankata aluksia, sekä lastata ammoniakkia tankkiauton kyytiin

9.2 Muut satamat

Vaihtoehtoisten polttoaineiden jakeluinfra laajenee TEN-T-verkoston ulkopuolisiin satamiin oletettavasti hitaammin. Jakeluinfran laajenemisen edellytyksenä, ilman TEN-T-verkostolle asetettujen tavoitteiden laajentamista myös muihin satamiin, ovat sata-

missa ja niiden läheisyydessä olevien kaupunkien ja teollisuuden vastuullisuustavoitteet. Toinen merkittävä ajuri on rahdin omistajien ja lopputuotteiden käyttäjien asettamat vaatimukset logistiikkaketjun hiilijalanjäljelle.

Vaihtoehtoisten polttoaineiden jakeluverkoston kysyntäperusteinen laajeneminen alkaa markkinoilta esimerkiksi logistiikkaketjun "Green Corridor" -vaatimuksien täyttämällä.

10 Yhteenveto ja johtopäätökset

10.1 Akkujen hyödyntäminen vesiliikenteessä

Kansainvälisessä merenkulussa potentiaali akkujen hyödyntämiseen propulsiokäytössä on rajoittunutta, eikä tämän hetken teknologiakehitys ennakoivasti akkujen potentiaalilla kasvua syvänmeren merenkulkuun tai keskipitkille reiteille. Alusten näkökulmasta suurimpia teknisiä haasteita akkujen hyödyntämisessä ovat alusten suuri tehontarve, akkujen energiatiheys, akkujen vaikutukset alusten lastinottokykyyn, latausajat sekä akkujen lyhyt käyttöikä. Keskeinen haaste akkujen hyödyntämisessä vesiliikenteessä on satamien maasähkötärjestelmien yhteensopivuus alusten latausjärjestelmien kanssa. Nykytilanteessa, missä maailmanlaajuisesti kattavaa ja yhtenäistä latausjärjestelmää ei ole, rajoittuu akkujen hyödyntäminen vakioituille reiteille, missä tekniset järjestelyt voidaan sopia sataman ja varustamon välillä jo aluksen ja laitteiston suunnitteluvaiheessa.

Akkujen hyödyntäminen meriliikenteessä propulsiokäytössä rajoittuu lähtökohtaisesti lyhyen matkan merenkulkuun, alusten energiatehokkuuden parantamiseen ja alusten operointiin satama-alueilla. Suomen aluskannan sähköistymispotentiaalin voidaan kuitenkin arvioida olevan kansainvälistä meriliikennettä korkeampi Itämeren lyhyiden etäisyyksien seurauksena. Suomen aluskannan sähköistymistä tukee myös aluskannan korkea keski-ikä, minkä johdosta tässä työssä esitettyjen arvioiden mukaan vuoteen 2050 mennessä 50 % Suomen varsinaisen kauppalaivaston aluksista on käynyt läpi mittavan peruskorjauksen ja 50 % laivastosta on kokonaan uudistunut. Tässä selvitystyössä tehtyjen alan toimijoiden haastattelujen mukaan, yleinen näkemys on, että erilaisia akkuratkoisuuksia tulisi integroida merkittävään osaan Suomen varsinaisen kauppalaivaston aluksista vuoteen 2050 mennessä.

Vesiliikenteen akkujen hyödyntämiseen liittyen jatkotarkasteluna tulisi tutkia akkujen omaa hiilijalanjälkeä sekä sitä, millä edellytyksillä akkuja hyödyntäen voidaan varmistaa hiilidioksidipäästöjen väheneminen vesiliikenteessä, kun otetaan huomioon myös akkujen tuotannosta aiheutuvat päästöt.

10.2 Sähköverkot

Raportissa esitetyt kontti- ja risteilyalusten maasähkötärjestelmät, satamien sähköiset lastinkäsittelylaitteet ja uusiutuvan energian hankkeet voivat vaatia hyvin suuria ja

äkillisiä sähköisen infran investointeja. Satamia tulisikin aina tarkastella kokonaisuuk-
sina, jotka sisältävät paitsi laivat, lastinkäsittelylaitteet ja varastoinnin, myös mahdolli-
set uusiutuvan energian tai teollisuuden hankkeet sekä maa-ajoneuvoille tarkoitetut
latauspisteet. Sähköistyshankkeiden suunnitteluun tulisi ottaa mukaan kaikki toimijat,
joilla voi olla samankaltaisia tarpeita lähivuosina, ja toteutuksissa tulisi tehdä riittäviä
varauksia kaapeloinneille ja muulle sähkönjakeluinfralle, jotta vältetään päällekkäisiltä
investoinneilta ja toistuvilta työmailta satamissa.

Sähköistyshankkeet tulisi aloittaa riittävän aikaisin: uuden sähköaseman rakentami-
nen tai laajentaminen kestää suunnitteluineen tyypillisesti 2–3 vuotta, ja kokonaan uu-
den suurjännitteisen ilmajohdon rakentaminen 5–8 vuotta (Fingrid, 2022). Sähköverk-
koyhtiöiden näkökulmasta tehtävien investointien tulisi olla pitkäikäisiä suhteellisen
pitkien takaisinmaksuaikojen vuoksi.

Sähkömarkkinalain 508/2013 18 § ja 20 § vaatimukset sähkömarkkinaosapuolten yh-
denvertaisesta kohtelusta asettavat rajoituksia satamien sähköverkkoinvestointien tu-
kemiselle. Verkkoyhtiöt eivät voi antaa satamille alennuksia sen enempää rakentamis-
kustannuksissa kuin sähkön siirtomaksuissakaan. Haastattelujen perusteella varteen-
otettavimpana tukimuotona pidettiin satamille suunnattuja suoria investointitukia
maasähkölaitteistojen rakentamiseen.

Maasähkijärjestelmät voivat vaatia suuritehoista sähköliittymää, jonka rakentamis-
kustannukset ja käytön perusmaksut ovat korkeat. Alusten käyttämät energiamäärät
ovat liittymän tehoon suhteutettuna hyvin pieniä, joka tekee maasähköstä kallista. Oli-
sikin selvitetävää, voidaanko alusten tai sataman lastinkäsittelylaitteiden vaatimia het-
kittäisiä huipputehoja kattaa esimerkiksi satamaan rakennettavalla akustolla. Milloin
akuston tehoa ei tarvita sataman tarpeisiin, voisi akusto osallistua kantaverkon sää-
tösähkömarkkinoille tuottaen koko ajan tulovirtaa investointien kuolettamiseen. Säh-
köverkkoyhtiöiden haastatteluissa tuli esille myös mahdollisuus alempaan sähkönsiir-
ron tehomaksuun tapauksissa, joissa satama mahdollistaa maasähkөөn kytketyn lai-
van käyttämisen tarvittaessa kysyntäjoustona.

10.3 Vaihtoehtoiset polttoaineet

Vaihtoehtoiset polttoaineet voidaan jaotella fossiilisiin-, bio- ja synteettisiin polttoainei-
siin. Vaihtoehtoisilla fossiililla polttoaineilla tarkoitetaan öljyä vähähiilisempiä LNG:tä,
LPG:tä ja metanolia. Näiden käyttäminen vähentää päästöjä, mutta ne eivät mahdol-
lista liikenteen hiilineutraaliteettitavoitteen täyttymistä. LNG:n päästövähennyspotenti-
aali on lähteestä riippuen vain 5–30 % verrattuna raskaaseen polttoöljyyn.

Meriliikenteeseen soveltuvia biopolttoaineita ovat muun muassa bio-LNG, biometa-noli, biometaani, biodiesel sekä muut monimutkaisemmat hiilivedyt. Merkittävänä haasteena biopolttoaineiden hyödyntämisessä meriliikenteessä on niiden riittävyys. Maailman kauppalaivasto käyttää useamman kymmenkertaisen määrän polttoainetta verrattuna nykyiseen biopolttoaineiden tuotantoon. Tuotantoa on vaikea lisätä nyky-teknologialla ja maankäytöllä niin paljoa, että biopolttoaineet voisivat ratkaista meriiliikenteen päästötavoitteet.

Meriliikenteen päästöjen vähentämisen kokonaisratkaisun keskiössä on synteettisten polttoaineiden käyttöönotto. Synteettisten polttoaineiden pääraaka-aineena toimii vety, josta voidaan jatkojalostaa biopolttoaineiden kaltaisia synteettisiä polttoaineita meriliikenteen tarpeisiin ja jota voidaan myös käyttää meriliikenteen polttoaineena sel-laisenaan tai polttokennoissa tuottaen sähköä. Vedystä valmistettuja polttoaineita ovat muun muassa synteettiset LNG, metanoli ja diesel. Vetyä itsessään voidaan valmistaa fossiilisista raaka-aineista tai sähkön avulla vedestä elektrolyysillä. Myös ammoniakki on meriliikenteen näkökulmasta potentiaalinen synteettinen polttoaine, jonka raaka-aineena toimii ilmasta saatava typpi. Ammoniakkia voidaan polttaa nykyisissä diesel-moottoreissa seoksena, puhtaan ammoniakkin hyödyntäminen edellyttää kuitenkin tek-nisiä muutoksia moottoriin. Kaikkien eri synteettisten polttoaineiden laajamittaisen käyttöönoton haasteena on niiden kannattava valmistus ja siten kapasiteetin syntyminen.

Sähköintensiivisen valmistusketjun myötä, synteettisten polttoaineiden tuotantonäky-mät ovat vahvasti riippuvaisia sähköntuotannon kasvunäkymistä. Fingridin mukaan, erilaisia tuulivoimahankkeita on meneillään noin 150 GW edestä, joka on kymmenen kertaa enemmän kuin Suomen nykyinen sähköntuotanto. Vaikka vain harva kehitteillä olevista projekteista yltää luvitusvaiheeseen, on määrä silti merkittävä ja tukee mah-dollisuutta tuottaa synteettisiä polttoaineita sähköllä tulevaisuudessa. Nyt käynnissä olevien tuulivoimahankkeiden myötä kasvava tuotanto luo merkittäviä haasteita myös sähkönsiirtoverkolle ja uutta energiansiirtoinfraa tullaan tarvitsemaan tulevaisuudessa. Synteettiset polttoaineet voivat kuitenkin vastata osasta energiansiirtotarpeesta. Tule-vaisuuden energiansiirtoinfrastruktuuri voikin sisältää sähkönsiirtoa, polttoaineen siir-toa ja esimerkiksi ammoniakkin tai vedyn siirtoa putkessa. Ratkaisut voivat olla paikalli-sia tai valtakunnallisia.

Vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöön liittyy myös laivojen rakenteita koskevia tek-nologisia haasteita. Laivojen rakenteisiin liittyviä haasteita ovat polttoaineiden turvalli-suus, varastointivaatimukset ja polttoaineiden pienempi energiatiheys tai suurempi ti-lantarve säilytysolosuhteissa, verrattuna nykyisiin käytettyihin fossiilisiin polttoaineisiin. Siirryttäessä fossiilisista polttoaineista vaihtoehtoihin ympäristöystävällisiin käyttövoi-miin, polttoaineiden muut ominaisuudet heikkenivät. Ilman siirtymää ei kuitenkaan pystytä saavuttamaan tavoiteltuja päästötavoitteita.

Synteettisten polttoaineiden tuotannon sijoittumista ei pystytä vielä ennustamaan, mutta varmaa on, että joko lopputuotetta tai valmistukseen tarvittavia tuotteita tulee kuljettaa satamiin. Todennäköisesti kaikki kuljetuskombinaatiot toteutuvat ja tuotantolaitoksia tulee olemaan niin satamien yhteydessä kuin uusiutuvan sähköntuotannon yhteydessä. Tulevien polttoaineen tuotantoon liittyvien projektien kustannusoptimointi tulee valitsemaan valmistuspaikat ja siten kuljetettavat lopputuotteet tai raaka-aineet.

Suurinta osaa polttoaineita kuljetetaan jo nykyään totutuilla käytännöillä. Öljy, LNG, LPG, biopolttoaineet sekä biopolttoaineita vastaavat synteettiset polttoaineet eivät vaadi uudenlaista infraa. Öljytuotteet sekä metanoli sekä niitä vastaavat biopolttoaineet ja synteettiset polttoaineet toimivat infran kannalta tuttuun tapaan. LNG, LPG sekä vastaavat biokaasut ja synteettiset kaasut toimivat myös infran kannalta tuttuun tapaan. Ammoniakkia kuljetetaan kemianteollisuudessa totutuilla käytännöillä, mutta sen kuljettaminen on perinteisiä meripolttoaineita haastavampaa. Lisäksi, jos ammoniakki yleistyy meriliikenteen polttoaineena, on tulevaisuuden kuljetusmittakaava merkittävästi nykyistä suurempi. Ainoastaan vety on täysin uusi ja uutta teknologiaa vaativa polttoaine. Vedyn osalta teknologia ei vielä ole jakelun kannalta valmis, ja näin ollen ei tiedetä mihin ja millaista vedynkuljetusinfrastruktuuria tarvitaan. Infra syntyy tarpeeseen markkinavetoisesti.

Päästöjen vähentämiseksi on keskeistä tarkastella maailmanlaajuisia näkökulmaa, missä 80 % meriliikenteen päästöistä tapahtuu valtamerikuljetuksissa. Itämeren alueella lähimerenkulku on kuitenkin osa-alue, jossa korostuvat mahdollisuudet sähkön sekä vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöön. Todennäköistä on, että puhtaiden polttoaineiden käyttö maailman meriliikenteen energiankäytöstä painottuu Itämeren kaltaisiin ympäristöihin. Kaikkia vaihtoehtoisia polttoaineita tullaan todennäköisesti käyttämään Itämeren liikenteessä. Ei ole näkyvissä poissulkevia syitä, miksi jokin polttoaine jäisi pois Itämeren alueen liikenteestä kokonaan. Polttoainekehityksessä tärkeimpänä on sopivan vedyn kuljetinaineen kehittäminen, joka ratkaisisi polttoaineiden teknisiä, fyysisiä ja kustannuksiin liittyviä haasteita.

10.4 Päästöttömän sisävesi- ja meriliikenteen edistäminen

Tässä työssä on tunnistettu neljä merkittävää ajuria päästöttömän meriliikenteen kehittymiselle: meriliikenteen polttoainekustannusten madaltaminen, regulaatio, rahdin omistajien vaikutus ja rahoitusmarkkinat.

- **Meriliikenteen polttoainekustannusten madaltaminen:** Meriliikenteen energiatehokkuustoimet parantavat alusten polttoainehyötysuhdetta, joka näkyy suoraan alusten alenevina polttoainekustannuksina. Näkymä kohoaville fossiilisten polttoaineiden kokonaishinnoille (päästöoikeusmaksu tai hiilisisältömaksu) kannustaa varustamoja alentamaan olemassa olevan aluskannan polttoaineen kulutusta ja tekemään muutoksia polttoainejärjestelmiin, joissa voi käyttää fossiilisten polttoaineiden lisäksi päästöttömiä polttoaineita.
- **Regulaatio:** Kansalliset ja EU:n päästövähennystavoitteet sekä IMO:n julkilausumat edellyttävät meriliikenteen toimijoita tekemään päästöjä pienentäviä toimenpiteitä olemassa olevalle aluskannalle. Tavoitteet edellyttävät myös koko meriklusterilta toimenpiteitä, joilla uudet alukset voivat vastata voimassa oleviin ja lähitulevaisuudessa voimaan tuleviin luokitussääntöihin. Myös kaupunkien päästövähennystavoitteet edistävät satamatoimijoiden päästöjä pienentäviä toimia.
- **Rahdin omistajien vastuullisuustavoitteet ja tuotteiden elinkaaren aikainen hiilijalanjälki:** Rahdin omistajien ympäristö- ja vastuullisuustavoitteet sekä vaateet rahdattavien tuotteiden elinkaaren hiilijalanjäljen pienentämisestä luovat kysyntää ”low-carbon” logistiikalle.
- **Rahoitusmarkkina:** Rahoitusmarkkinalla läntiset pankit ovat sitoutuneempia päästövähennyksiin. Rahan hintaan vaikuttaa rahoitettavan kohteen päästökuormitus. Rahoituslaitokset joutuvat raportoimaan niiden rahoittamien kohteiden ympäristövaikutuksista. Mitä pienempi rahoitettavan kohteen ympäristövaikutus on, sitä pienempi on kohteen rahoituskustannus.

Nämä tunnistetut ajurit eivät kaikissa tilanteissa riitä kannustamaan varustamoja ja satamayhtiöitä päästövähennystoimenpiteiden ja sähköistymistä edistävien toimenpiteiden toteuttamiseen. Sähköistymisen edistämiseksi valtiovalta on harkittava erilaisia rahoitusinstrumentteja satamayhtiöille ja varustamoille.

Varustamoiden näkökulmasta rahoituksen saanti on tällä hetkellä konkreettisenä esteenä monissa päästövähennyksiin tähtäävissä investoinneissa. Rahoitusongelma koskee erityisesti pieniä varustamoja, jotka joutuvat päästövähennysvaatimusten kiristyessä uudistamaan koko aluskantansa tai konvertoimaan olemassa olevan aluskantansa vähäpäästöisemmäksi. Valtiovalta voi tukea varustamoiden päästövähennystoimia monin keinoin. Yksi keino on ohjata valtiontakaukset ja energiatehokkuutta parantavien investointien suora energiatehokkuustuki peruskorjauksissa tehtäviin alusten energiatehokkuutta parantaviin toimenpiteisiin, erityisesti sähkön käyttöä propulsiossa lisääviin toimenpiteisiin. Tämä tuki-instrumentti olisi kohdennettava erityisesti pienille jäävahvistetuille aluksille, joiden bruttovetoisuus on yli 400, mutta alle 5000 tonnia. Tämä tonnisto ei ole toistaiseksi IMO:n ja EU-sääntelyn piirissä, jolloin niihin tehtävät päästöjä alentavat muutokset eivät yleisty, ainakaan nopeasti. Pientonniston rahoitus-

ja investointituet mahdollistavat merkittävän suomalaisen kauppamerenkulun päästöjen aleneman – näitä aluksia on lukumääräisesti eniten Suomen kauppalausrekisterissä.

Jos valtiovallan vuotuinen lisäpanostus pientonniston energiatehokkuuden parantamiseen olisi vuosittain 10 M€, niin peruskorjausten yhteydessä näiden alusten päästöt pienenisivät 15–20 % välittömästi ja vaihtoehtoisten polttoaineiden saatavuuden yleistyessä päästöt alenisivat edelleen ilman lisäpanostuksia. Toisin sanoen peruskorjauksen yhteydessä aluksiin luodaan valmius hyödyntää markkinoille tulevia uusia päästöttömiä polttoaineita.

Toinen varustamoille suunnattava tukimuoto olisi alentaa väylä- ja viranomaismaksuja vähäpäästöisiltä aluksilta. Vähäpäästöisille aluksille voitaisiin maksaa palautuksina esimerkiksi 50 % perityistä väylämaksuista. Vastaavanlainen maksujen palautusjärjestely voitaisiin toteuttaa myös muista aluksiin kohdistuvista viranomaismaksuista.

Lähimerenkulun sähköistymisen edistämiseksi tehtävät toimenpiteet ovat ensisijaisesti liikenteen tilaajaorganisaatioiden vastuulla ja toimeenpantavissa. Sisällytettäessä hankintakriteeristöön aluksen propulsiojärjestelmä (täyssähkö tai hybridi) luo markkina kysytyn kaltaisen tarjonnan. Vaikka tämän kaltainen hankintamenettely voi aiheuttaa merkittäviä investointitarpeita liikennöinnille, voidaan kustannusnousua hillitä pienenevillä liikennöinnin aikaisilla muuttuvilla kustannuksilla, mikäli sisävesi- ja meriliikenteessä käytettävään sähköön sovelletaan 0-veroa. Myös sopimusteknisillä toimilla kuten sopimusten kestolla ja maksumenettelyillä voidaan tukea lauttojen, loskien ja saariston yhteysliikenteen sähköistymistä.

Satamayhtiöille suunnattu rahoitus voidaan toteuttaa esimerkiksi satamakäyntimaksuihin suunnatulla epäsuoralla tuella. Eli esimerkiksi tuella, jossa satamalle korvataan erotus sähköistetyn laituripaikan ja tavanomaisen laituripaikan käyntimaksuissa. Näin satama kykenee toteuttamaan tarvittavat sähköverkkoinvestoinnit siten, että sähköistetyn laituripaikan käyntimaksut vierailleville aluksille pysyvät kilpailukykyisinä.

Kansainvälinen päästösääntely vaikuttaa useissa tapauksissa maasähkön kannattavuuteen kriittisesti. Esimerkkitapauksista kaikki eivät kuitenkaan käänny maasähkön kannattavuudelle edes päästöoikeuden hintatasolla 300 €/tCO₂. Myös maasähkön 0-vero lisää sen kannattavuutta, ja on kriittinen useissa esimerkeissä (Luku 4.3) tehden maasähköstä kannattavamman kuin apukoneilla tuotetun sähkön. Mitä enemmän sähköä kulutetaan maasähköliitännästä, sitä paremmin se pystyy kattamaan investointikulut ja sähkönsiirron tehomaksun. Myös paikkakuntien välillä kannattavuudessa on merkittävää eroa riippuen siitä, miten sähkönsiirto on hinnoiteltu.

Vaihtoehtoisten polttoaineiden käytön edistämistoimet tulisi osoittaa mahdollisimman lähelle uuden polttoaineen kulutusta. Tällöin poistetaan viimeisen mailin kustannukset ja siten kannustetaan projektien käynnistymistä. Käytännössä tämä tarkoittaisi tuen kohdentamista satamien päähän. Vaihtoehtoisten polttoaineiden jakeluinfratruktuurin muodostumiseksi tulisi laatia valtakunnallinen yleissuunnitelma vedyn, ammoniakin ja metanolin jakelun järjestämisestä Suomen satamissa. Yleissuunnitelmassa tulisi määrittää satamien jakeluinfran muodot eri polttoaineilla (jakeluputkistot/bunkkerivarastot) ja niiden rakentumisjärjestys, sekä kuhunkin satamaan ensisijaisesti tuotavat polttoaineet. Yleissuunnitelman laatimisen jälkeen tulisi laittaa käyntiin niiden poliittisten toimien (rahoitus, liiketoimintavastuut) valmistelu, joilla sitoutetaan kansallinen päätöksenteko jakeluinfran muodostumiseen. Vastaavanlainen yleissuunnitelma voitaisiin luoda myös koskien satamien sähköistämistä määrittäen millä ratkaisuilla tehokkain sähköistäminen kussakin satamassa voitaisiin toteuttaa.

10.4.1 Muita lisäselvityksiä

Tässä luvussa on listattuna selvityksen aikana havaitut lisäselvitysmahdollisuudet.

- Synteettisten polttoaineiden käytön kasvihuonekaasutaseen selvittäminen. Erityisesti ammoniakkiin liittyen tätä olisi tärkeää tutkia tarkemmin. Selvityksessä tulisi huomioida myös muut kasvihuonekaasut kuin hiilidioksidi ja typpi. Ilokaasun syntymistä ja vaikutuksia tulisi selvittää tarkemmin polttoaineen ympäristöystävällisyyden kokonaiskuvan ymmärtämiseksi.
- SEEMP soveltamisen laajentaminen olemassaolevien laivojen osalta siten, että isojen korjausten yhteydessä tulisi saavuttaa tietty vertailutaso päästötehokkuudessa. Analogia tälle löytyy rakennusten energiatehokkuuspuolelta. Tiettyyn vertailutasoon tähdättäessä olisi mahdollista saada myös kannusteeksi valtion tukea.
- Tasapuolinen päästömaksu eri kokoluokan laivoille voisi olla tonni/maili perusteinen päästömaksu. Mitä vähemmän per kuljetettu tonni tulee päästöjä, sitä parempi. Päästölaskenta olisi sidottu kuljetettavaan tuotteeseen. Kansainväliseen regulaatioon vaikuttaminen voi olla vaikeaa, mutta olisiko mahdollista perustaa esimerkiksi Joutsenmerkin tai elektrooniikan energiatehokkuusluokkien kaltainen Green corridor merkki kuvaamaan tuotteen kuljetuksen ympäristöystävällisyyttä.
- Olisiko valtion yhtiöiden mahdollista vaatia kuljetuksilleen green corridoria yritys vastuun nimissä?
- Meriliikenteen päästötavoitteiden lisäkulojen rahoittamismahdollisuudet eri näkökulmista. Mikä on viennin edistämisen mahdollisuus kantaa ympäristöystävällisyyspyrkimysten lisäkustannuksia?

- Päästökauppa ja Fuel EU Maritime eivät koske bruttovetoisuudeltaan alle 5000 t aluksia. Miten aukko täytetään? Haastatteluiden perusteella puolet Itämeren liikenteestä on tätä kokoluokkaa pienempää. Voitaissiinko pieniin aluksiin vaikuttaa osin esimerkiksi kunnallisilla päästövoitteilla tai kannustimilla?
- Maasähkön hinnoittelun yhdistäminen esimerkiksi ympäristömaksuun tai alusjätemaksuun. Maksuun sisältyisi aina tietty määrä maasähköä, jolloin käyttämättä jättäminen olisi kalliimpaa. Kannattaisiko tällaista läheslymistä edistää ja miten se tulisi tehdä?

11 Toimenpidesuosituksset

Ohessa tunnistettuja toimenpiteitä, joilla Suomen valtiovalta voi edistää sisävesi- ja meriliikenteen päästöjen vähenemistä ja näin saavuttaa se taso, jolla on mahdollista saavuttaa tulevien EU-lainsäädännön velvoitteet Suomessa:

1. Luotaisiin valtakunnallinen yleissuunnitelma meriliikenteen sähköistymisen edellyttämän infrastruktuurin ja vaihtoehtoisten polttoaineiden jakeluinfrastruktuurin muodostumiseksi. Yleissuunnitelmassa määritetään satamien jakeluinfran muodot eri polttoaineilla (jakeluputkistot/bunkkerivarastot) ja niiden rakentumisjärjestys, sekä kuhunkin satamaan ensisijaisesti tuotavat polttoaineet. Yleissuunnitelmassa määritetään tehokain ratkaisu ja tarvittava uusi infrastruktuurin.
 - **Vastuuministeriö:** LVM
 - **Toimella edistetään:** Maasähkön ja vaihtoehtoisten polttoaineiden tarjonnan yleistymistä

2. Ohjattaisiin valtioneuvostot ja energiatehokkuutta parantavien investointien suora energiatehokkuustuki peruskorjauksissa tehtäviin alusten energiatehokkuutta parantaviin toimenpiteisiin. Tuki ja valtioneuvostot kohdennetaan erityisesti sähkön käyttöä propulsiossa lisääviin toimenpiteisiin. Tämä tuki-instrumentti olisi kohdennettava erityisesti pienille jäävahvistetuille aluksille, joiden bruttovetoisuus on yli 400, mutta alle 5000 tonnia.
 - **Vastuuministeriöt:** LVM, VM ja TEM.
 - **Toimella edistetään:** Pienten alle 5000 tn alusten sähköistymistä ja vaihtoehtoisten polttoaineiden käytön yleistymistä

3. LVM suosittelisi kunnille, että satamiin liittyvät kunnalliset päästötavoitteet ja kannustimet ulotetaan aluksille, joiden bruttovetoisuus on yli 400, mutta alle 5000 tonnia.
 - **Vastuuministeriöt:** LVM
 - **Toimella edistetään:** Pienten alusten maasähkön käyttö ja sähköistyminen

4. Kannustettaisiin varustamoja siirtymään vähäpäästöisempiin aluksiin alentamalla väylä- ja viranomaismaksuja vähäpäästöisiltä aluksilta. Vähäpäästöisille aluksille maksetaan palautuksina esimerkiksi 50 % perityistä väylämaksuista. Vastaavanlainen maksujen palautusjärjestely voidaan toteuttaa myös muista aluksiin kohdistuvista viranomaismaksuista.
 - **Vastuuministeriö:** LVM
 - **Toimella edistetään:** Koko aluskannan päästöjen vähenemistä
5. Uudistettaisiin satamamaksurakenteita siten, että ne sisältävät kannustimia maasähkön käyttöön. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi sisällyttämällä tietty määrä maasähköä ympäristömaksuun tai alusjätemaksuun.
 - **Toimella edistetään:** Maasähkön käyttöä koko aluskannassa
6. Valtiovalta ohjaisi julkisen liikenteen tilaajaorganisaatioiden (ELY-keskukset, kunnat ja kaupungit) hankintakriteeristöä siten, että kriteeristöissä edellytetään aluksen propulsiojärjestelmän olevan täyssähkö tai hybridi. Sopimuksissa tulisi myös kiinnittää huomiota sopimusteknisiin seikkoihin, kuten sopimusten keston ja maksumenettelyihin, joilla voidaan tukea lauttojen, lossien ja saariston yhteysliikenteen sähköistymistä.
 - **Vastuuministeriö:** TEM
 - **Toimella edistetään:** Lauttojen, lossien ja saariston yhteysliikenteen sähköistyminen
7. Sisävesi- ja meriliikenteessä maasähköön sovellettaisiin 0-veroa, joka tekee maasähköstä kannattavamman useissa tapauksissa kuin apukoneilla tuotettu sähkö.
 - **Vastuuministeriö:** VM
 - **Toimella edistetään:** Maasähkön käyttöä koko aluskannassa
8. Tuettaisiin satamayhtiöitä satamainfran sähköistämisen investoinneissa. Tämä voidaan toteuttaa epäsuoralla tuella, missä satamayhtiölle korvataan esimerkiksi erotus sähköistetyn laituripaikan ja tavanomaisen laituripaikan käyntimaksuista jolloin maksut vieraileville aluksille pysyvät kilpailukykyisinä.
 - **Vastuuministeriö:** TEM
 - **Toimella edistetään:** Maasähkön tarjonnan yleistymistä

9. Investointituki satamille energiatehokkuuteen, vaihtoehtoisten polttoaineiden infraan sekä maasähköön.
 - **Vastuuministeriö:** TEM
 - **Toimella edistetään:** Maasähkön ja vaihtoehtoisten polttoaineiden tarjonnan yleistymistä

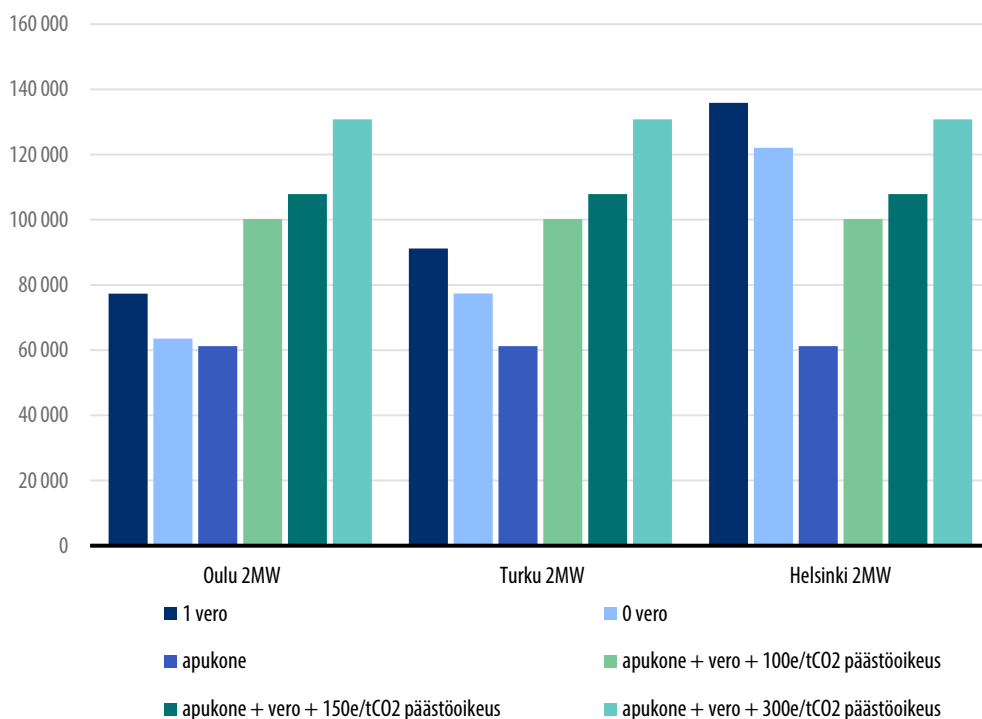
10. LVM esittäisi, että Valtio ja muut julkiset hankintaorganisaatiot rahdinomistajana edellyttää kuljetuksiltaan joutsenmerkin tai energiatehokkuusluokkien kaltaisen green corridor merkin kuvaamaan tuotteen kuljetuksen ympäristöystävällisyyttä.
 - **Vastuuministeriö:** LVM
 - **Toimella edistetään:** Meriliikenteen päästöjen vähenemistä

11. LVM esittäisi ministeriöiden välisen työryhmän perustamista, jossa meriliikenteen päästötavoitteiden lisäkulojen rahoittamismahdollisuuksina käytetään eri hallinnonalojen rahoitusinstrumenttejä, kuten vienninedistämistä.
 - **Vastuuministeriö:** LVM
 - **Toimella edistetään:** Meriliikenteen päästöjen vähenemistä

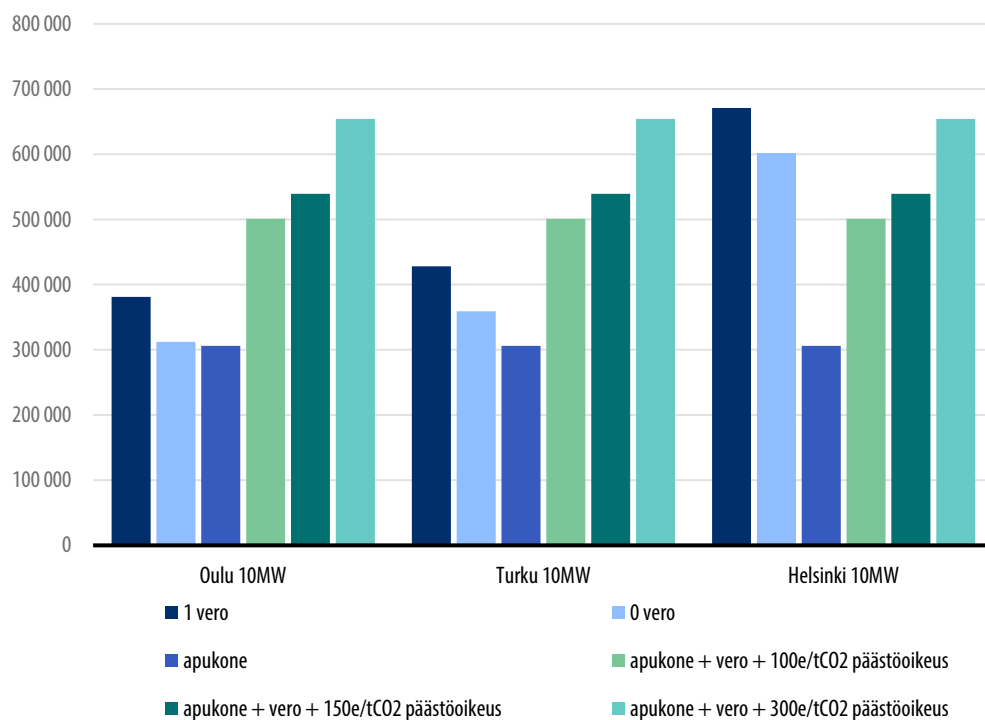
Liite – Kuvaajat lukuun 4.3

Kuvio 8 havainnollistaa 2 MW maasähkölaitoksen ja Kuvio 9 10 MW maasähkölaitoksen käyttöä. Molemmissa tapauksissa apukoneilla tuotettu sähkö on kannattavinta nykytilanteessa. Oulun satamassa pelkkä maasähkön 0-vero toisi maasähkön kustannuksen lähelle apukoneilla tuotetun sähkön kustannusta, muttei vielä kannattavammaksi. Polttoainevero sekä meriliikenteen liittäminen päästökauppaan tekisi maasähköstä kannattavimman molemmissa Oulussa ja Turussa. Helsingissä maasähkö tulisi kannattavaksi vasta 0 veron sekä polttoaineveroveron poiston tapauksessa tilanteessa, että päästöoikeuden hinta olisi 300 €/tCO₂.

Kuvio 8. Maasähkön muuttuvat kustannukset vuodessa kolmella paikkakunnalla nykyisellä verokannalla sekä suunnitellulla 0-verolla verrattuna apukoneella tuotettuun sähkөө nykytilanteessa sekä suunnitellulla polttoaineverolla ja 100 €/tCO₂, 150 €/tCO₂ sekä 300 €/tCO₂ päästöoikeudella. Vertailussa kokoluokaltaan 2 MW huipputehoa käyttävä maasähkölaitos.

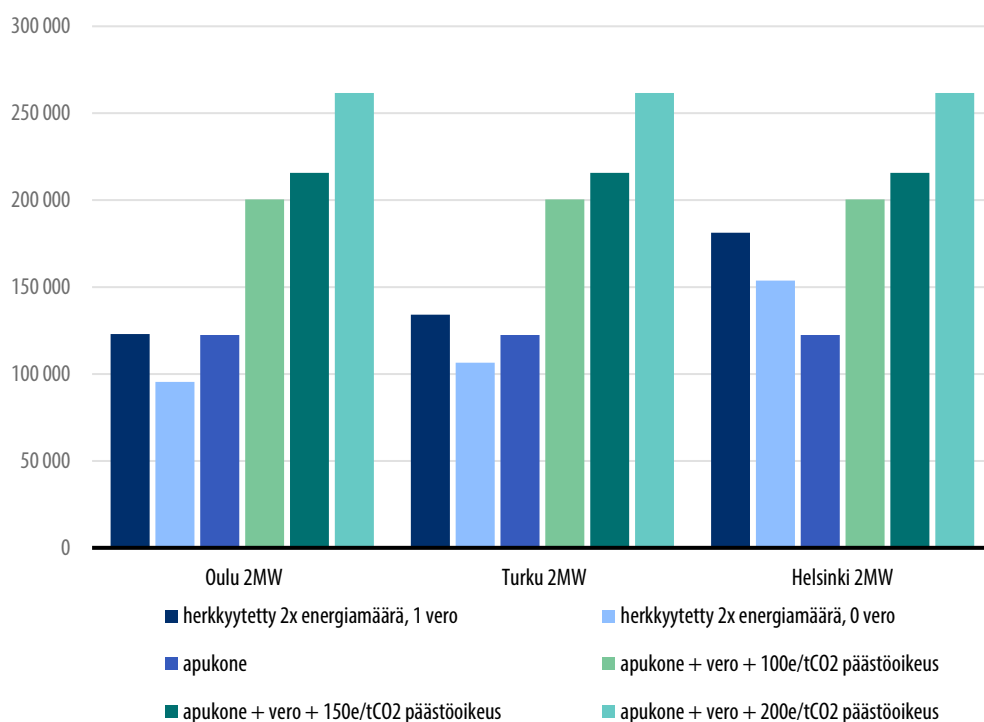


Kuvio 9. Maasähkön muuttuvat kustannukset vuodessa kolmella paikkakunnalla nykyisellä verokannalla sekä suunnitellulla 0-verolla verrattuna apukoneella tuotettuun sähkөөn nykytilanteessa sekä suunnitellulla polttoaineverolla ja 100 €/tCO₂, 150 €/tCO₂ sekä 300 €/tCO₂ päästöoikeudella. Vertailussa kokoluokaltaan 10 MW huipputehoa käyttävä maasähköliityntä.

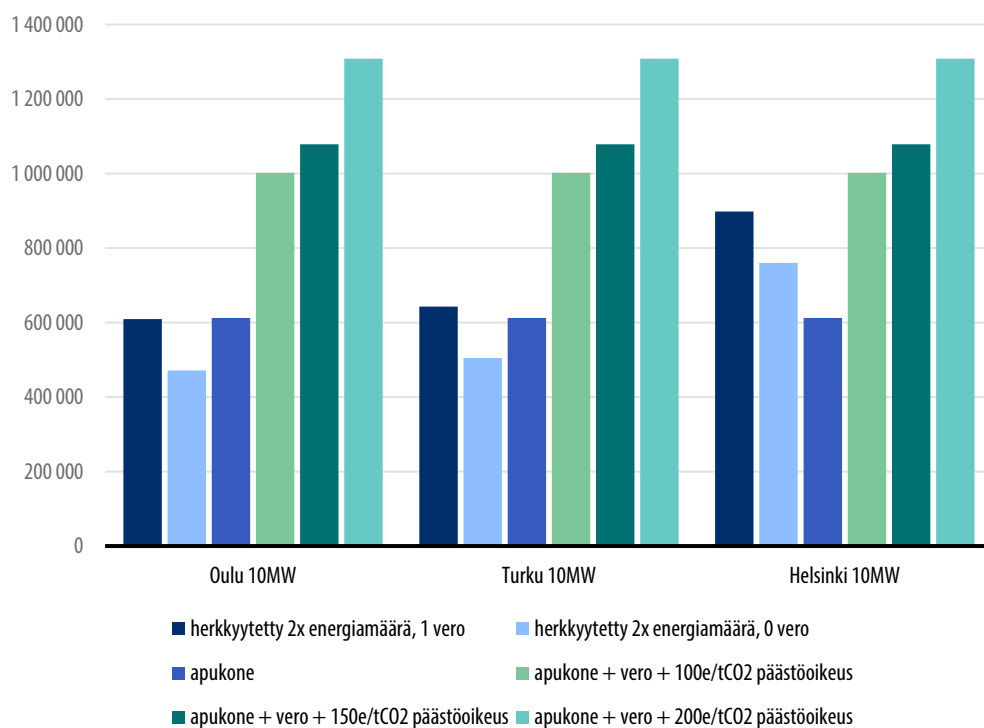


Kuvio 10 ja Kuvio 11 osoittavat, että energiamäärän kasvaessa (herkkytyksessä tuplattu edellisiin kuviin verrattuna) maasähkön kannattavuus parantuu ja nyt sekä Oulussa että Turussa maasähkö tulee kannattavaksi jo 0-veron tapauksessa. Meripolttoaineen verovapauden poistuminen sekä päästökauppaan liittäminen tekee herkkytyillä energiamäärillä myös Helsingissä maasähkön kannattavimmaksi niin 1. veroluokassa kuin 0-veron tapauksessa jo 100 €/tCO₂ päästöoikeuden hintatasolla.

Kuvio 10. Maasähkön muuttuvat kustannukset vuodessa kolmella paikkakunnalla nykyisellä verokannalla sekä suunnitellulla 0-verolla verrattuna apukoneella tuotettuun sähkön nykytilanteessa sekä suunnitellulla polttoaineverolla ja 100 €/tCO₂, 150 €/tCO₂ sekä 300 €/tCO₂ päästöoikeudella. Vertailussa kokoluokaltaan 2 MW huipputehoa käyttävä maasähköllyöntä. Kuviossa käytetyn maasähkön määrä on herkkytyksenä kaksinkertaistettu.

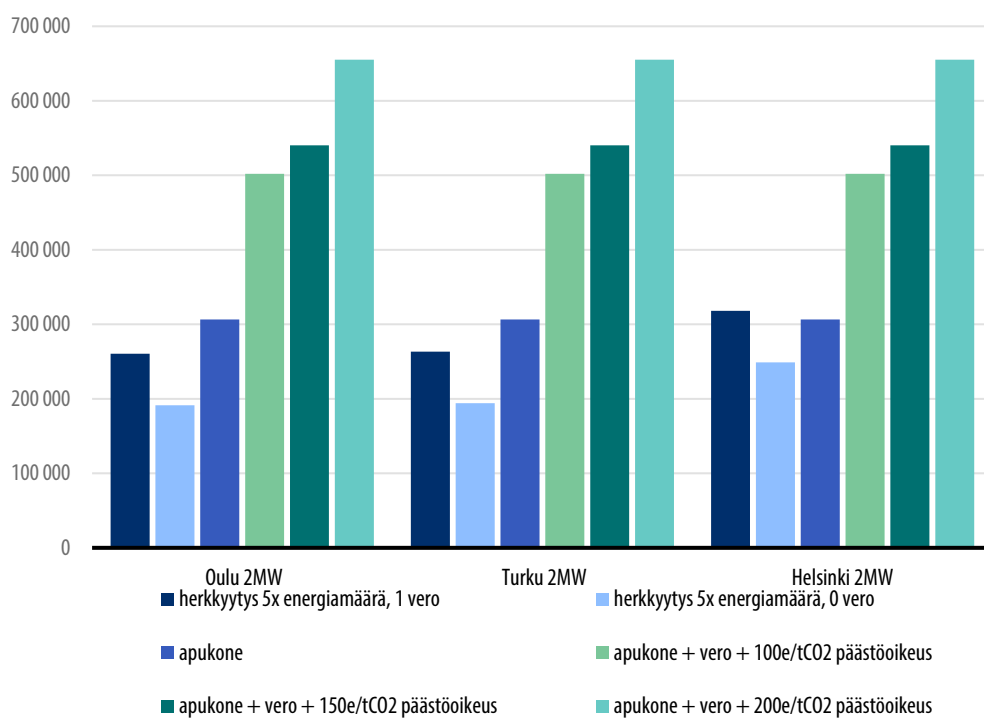


Kuvio 11. Maasähkön muuttuvat kustannukset vuodessa kolmella paikkakunnalla nykyisellä verokannalla sekä suunnitellulla 0-verolla verrattuna apukoneella tuotettuun sähkөөn nykytilanteessa sekä suunnitellulla polttoaineverolla ja 100 €/tCO₂, 150 €/tCO₂ sekä 300 €/tCO₂ päästöoikeudella. Vertailussa kokoluokaltaan 10 MW huipputehoja käyttävä maasähköliityntä. Kuviossa käytetyn maasähkön määrä on herkkyytyksenä kaksinkertaistettu.

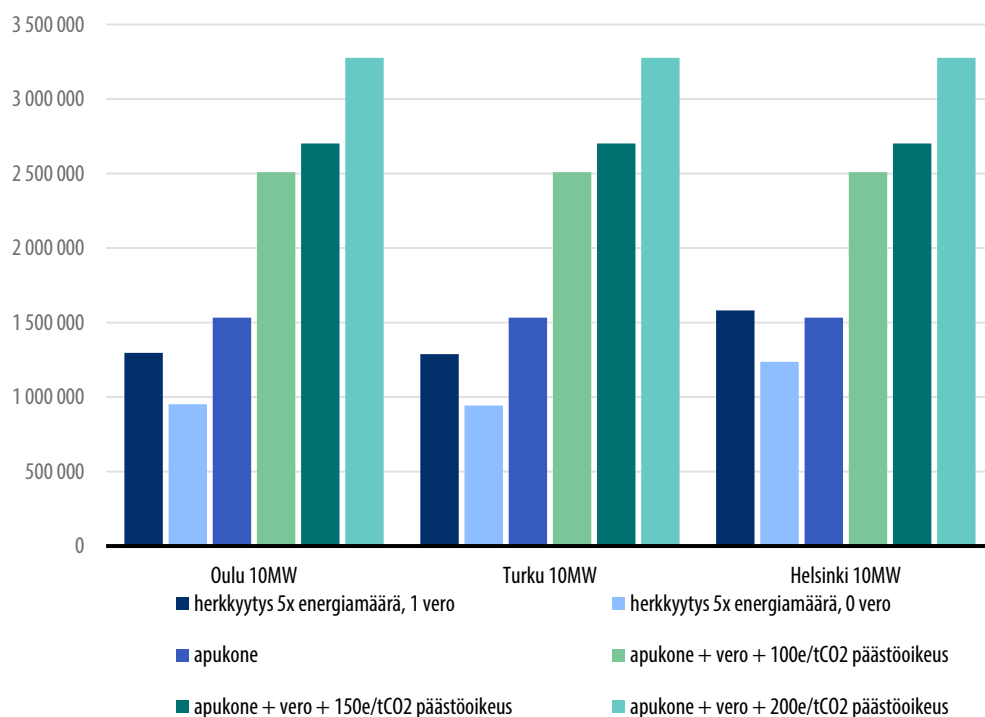


Kokonaisenergiämäärää herkkyytettäessä viisinkertaiseksi 2 MW tapauksessa (Kuvio 12) sekä 10 MW tapauksessa (Kuvio 13) maasähkö on kannattavaa jo nykyisellään Oulussa ja Turussa. Helsingissä apukoneen tuotanto on hiukan kannattavampi, mutta tilanne muuttuu jo pelkästään maasähkön siirtyessä 0-veroon. Kokonaisenergiämäärän kasvaessa näin paljon jakaantuvat maasähkön kiinteät kustannukset riittävän isolle määrälle, että kilpailukykyä apukonesähköön verrattuna syntyy.

Kuvio 12. Maasähkön muuttuvat kustannukset vuodessa kolmella paikkakunnalla nykyisellä verokannalla sekä suunnitellulla 0-verolla verrattuna apukoneella tuotettuun sähkön nykytilanteessa sekä suunnitellulla polttoaineverolla ja 100 €/tCO₂, 150 €/tCO₂ sekä 300 €/tCO₂ päästöoikeudella. Vertailussa kokoluokaltaan 2 MW huipputehoa käyttävä maasähköllyöntä. Kuviossa käytetyn maasähkön määrä on herkkyytyksenä viisinkertaistettu.

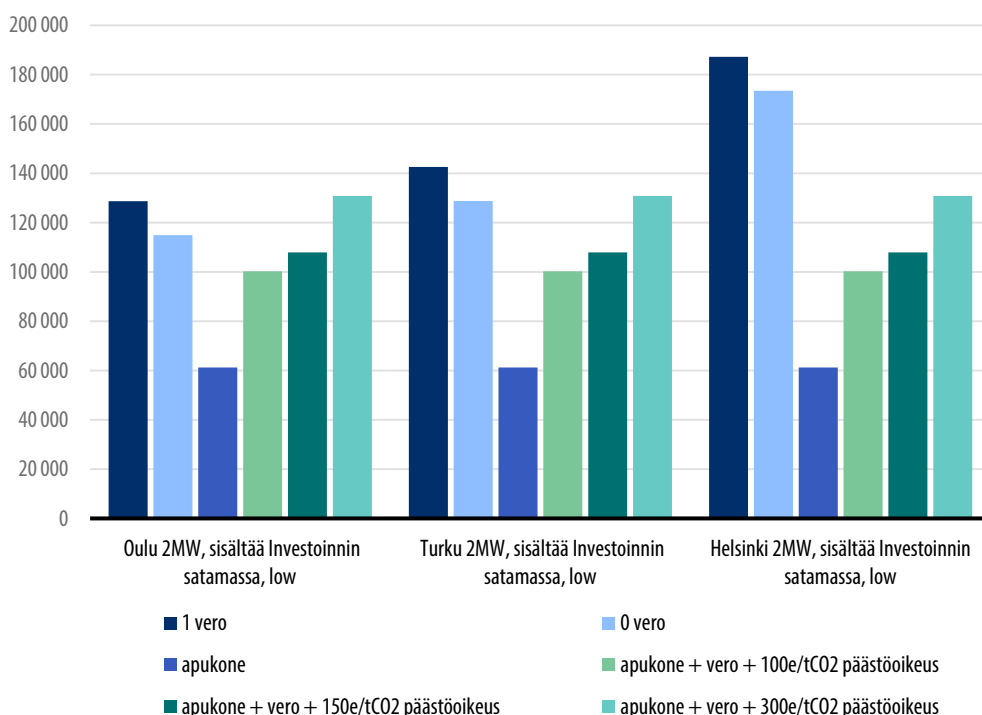


Kuvio 13. Maasähkön muuttuvat kustannukset vuodessa kolmella paikkakunnalla nykyisellä verokannalla sekä suunnitellulla 0-verolla verrattuna apukoneella tuotettuun sähkөөn nykytilanteessa sekä suunnitellulla polttoaineverolla ja 100 €/tCO₂, 150 €/tCO₂ sekä 300 €/tCO₂ päästöoikeudella. Vertailussa kokoluokaltaan 10 MW huipputehoa käyttävä maasähkölaitos. Kuviossa käytetyn maasähkön määrä on herkkyytyksenä kaksinkertaistettu.

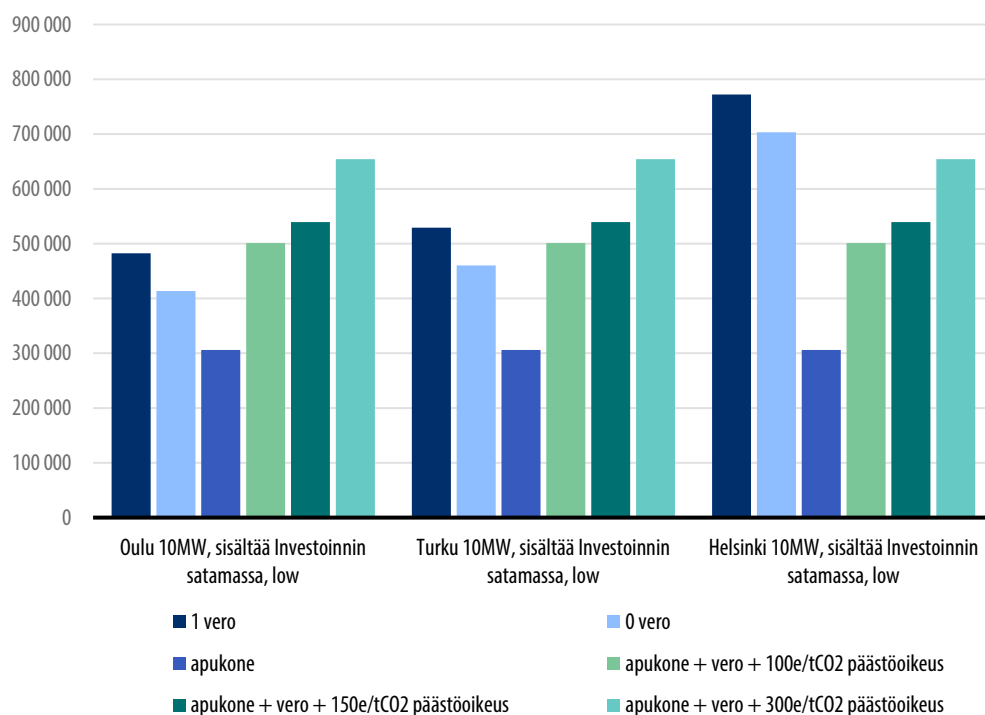


Kuvio 14 perusteella 2 MW maasähkölaitteiston investoinnin matala-skenaario tekee apukoneilla tuotetun sähkön kannattavimmaksi esimerkkitapauksissa vähintään 150 €/tCO₂ päästöoikeuden hintatasoon asti. Turussa kaikilla tutkituilla toimenpiteillä päästään juuri ja juuri maasähkön kannattavuuteen, mutta Helsingissä ei. Kuvio 15 perusteella (10 MW tapaus) Oulussa maasähkö tulee kannattavammaksi meripolttoaineen verovapauden poistolla sekä päästökaupan hintatasolla 100 €/tCO₂. Turussa tarvitaan lisäksi 0-vero maasähkölle, jotta 10 MW järjestelmän maasähkö tulee kannattavimmaksi. Helsingin tapauksessa apukoneilla tuotettu sähkö pysyy kustannustehokkaimpana vielä yli 300 €/tCO₂ päästöoikeuden hintatason yli.

Kuvio 14. Maasähkön muuttuvat kustannukset vuodessa sekä investoinnin annuiteetti kolmella paikkakunnalla nykyisellä verokannalla sekä suunnitellulla 0-verolla verrattuna apukoneella tuotettuun sähkseen nykytilanteessa sekä suunnitellulla polttoaineella ja 100 €/tCO₂, 150 €/tCO₂ sekä 300 €/tCO₂ päästöoikeudella. Vertailussa kokoluokaltaan 2 MW huipputehoa käyttävä maasähkölaitteisto. Investoinnin matala-skenaario.

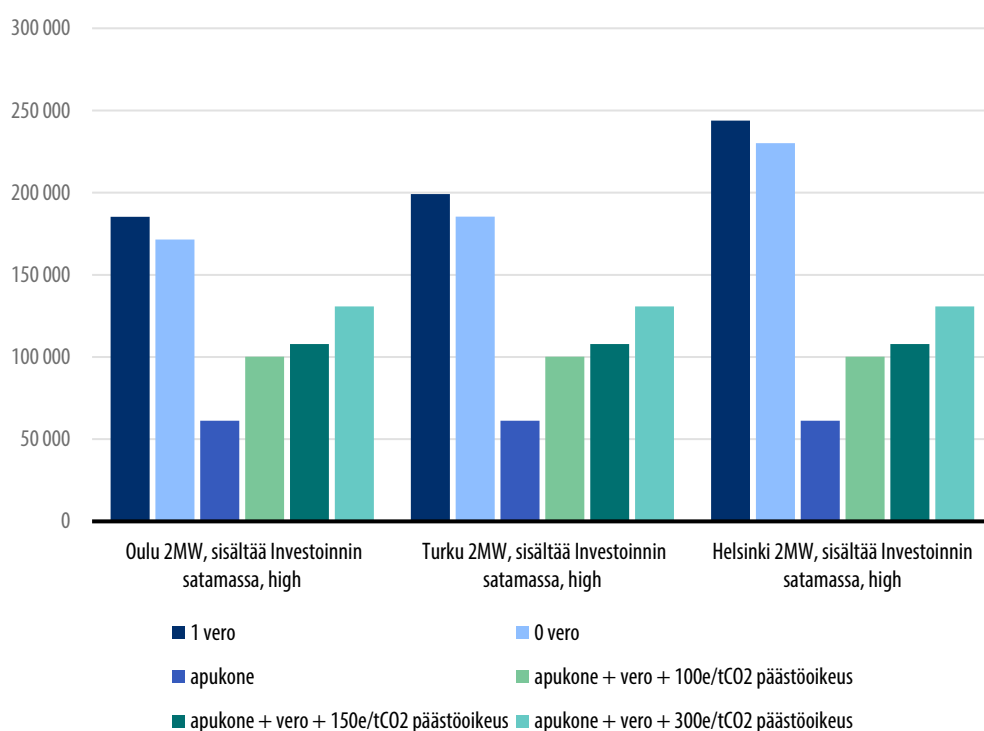


Kuvio 15. Maasähkön muuttuvat kustannukset vuodessa sekä investoinnin annuiteetti kolmella paikkakunnalla nykyisellä verokannalla sekä suunnitellulla 0-verolla verrattuna apukoneella tuotettuun sähkөөn nykytilanteessa sekä suunnitellulla polttoaineverolla ja 100 €/tCO₂, 150 €/tCO₂ sekä 300 €/tCO₂ päästöoikeudella. Vertailussa kokoluokaltaan 10 MW huipputehoja käyttävä maasähkölaitos. Investoinnin matala-skenaario.

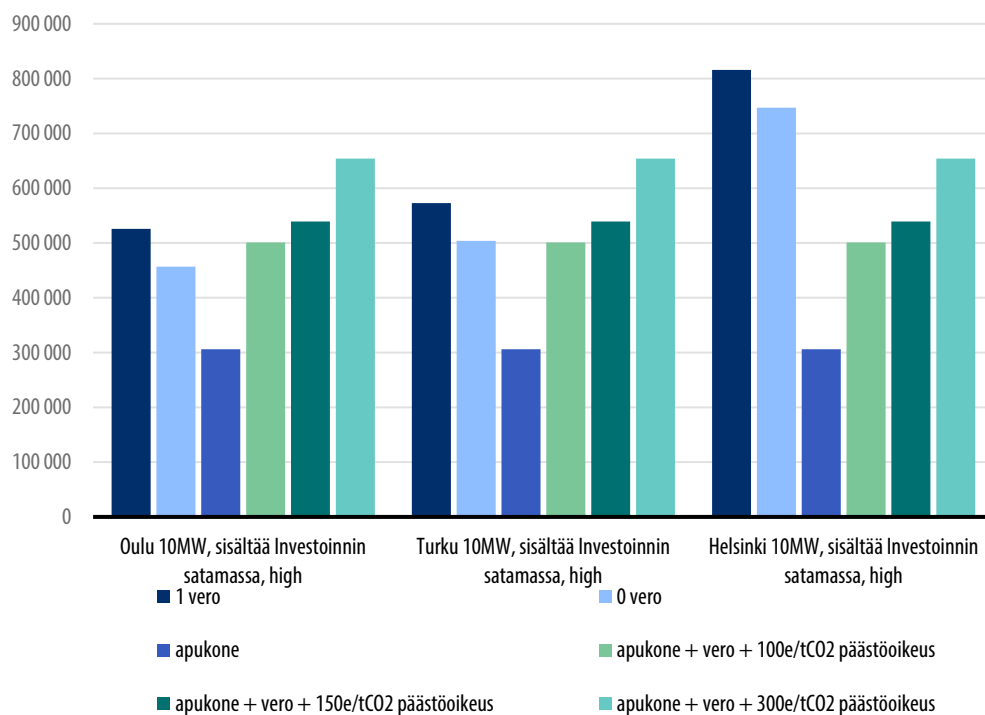


Kuvio 16 perusteella 2 MW maasähkölaitteiston korkea-investointiskenaariossa apukoneella tuotettu sähkö on edullisinta kaikissa esimerkeissä. Kuvio 17 perusteella 10 MW maasähkölaitteiston korkea-investointikustannuksella Oulussa maasähköstä tulee kustannustehokkaampaa ja Turussa päästään samaan kustannukseen maasähkön 0 veron vaikutuksesta verrattuna apukonesähköön sisältäen meripolttoaineen verovapauden poiston ja päästöoikeuden hinnan 100 €/tCO₂. Helsingissä apukonesähkö säilyy kustannustehokkaimpana kaikissa lasketuissa skenaarioissa.

Kuvio 16. Maasähkön muuttuvat kustannukset vuodessa sekä investoinnin annuiteetti kolmella paikkakunnalla nykyisellä verokannalla sekä suunnitellulla 0-verolla verrattuna apukoneella tuotettuun sähköön nykytilanteessa sekä suunnitellulla polttoaineverolla ja 100 €/tCO₂, 150 €/tCO₂ sekä 300 €/tCO₂ päästöoikeudella. Vertailussa kokoluokaltaan 2 MW maasähkölaitteisto ja investoinnin korkea-skenaario.

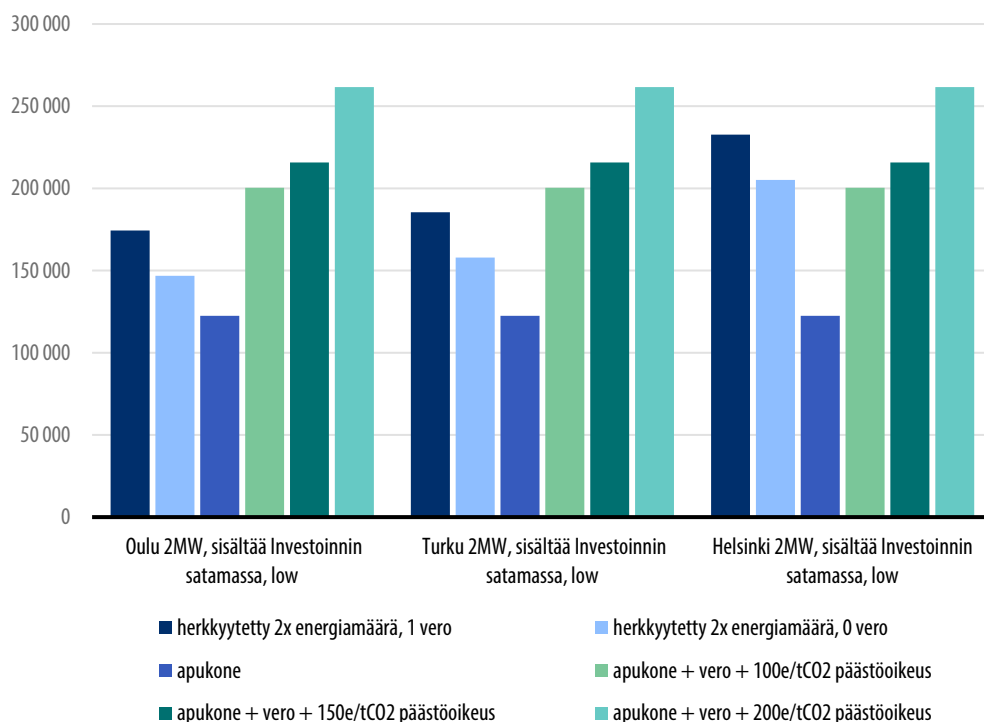


Kuvio 17. Maasähkön muuttuvat kustannukset sekä investoinnin annuiteetti kolmella paikalla kunnalla nykyisellä verokannalla sekä suunnitellulla 0-verolla verrattuna apukoneella tuotettuun sähkөөn nykytilanteessa sekä suunnitellulla polttoaineverolla ja 100 €/tCO₂ päästöoikeudella. Vertailussa 10 MW maasähköljärjestelmä ja investoinnin korkea-skenaario.

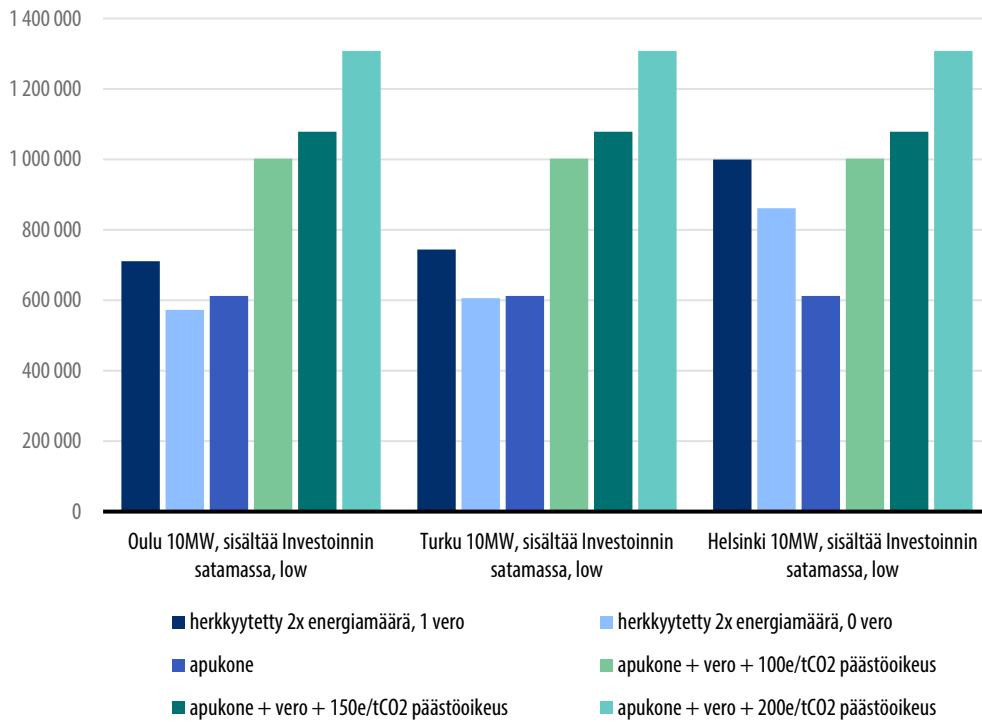


Kuvio 18 perusteella 2 MW huipputehon tapauksessa herkkyytetty energiamäärä (2x) huomioiden investoinnin matala-skenaario muuttaa tilanteen päinvastaiseksi Oulussa ja Turussa verrattuna Kuvio 14 energiankulutuksen perustapaukseen. Oulussa ja Turussa maasähkö on kannattavampaa herkkyytettyllä energiamäärällä. Helsingissä 0-vero maasähkölle laskee kustannukset samalle tasolle kuin apukonesähkö poistetulla polttoaineverovapaudella sekä päästöoikeuden kustannuksella 100 €/tCO₂. Kuvio 19 vastaavasti havainnollistaa 10 MW tapausta: Oulussa ja Turussa pelkkä 0-vero riittäisi muuttamaan maasähkön kannattavammaksi. Helsingin tapauksessa kannattavuuteen vaaditaan 0-vero, meripolttoaineiden verovapauden poisto ja päästökauppa hintatasolla 100 €/tCO₂.

Kuvio 18. Maasähkön muuttuvat kustannukset vuodessa sekä investoinnin annuiteetti kolmella paikkakunnalla nykyisellä verokannalla sekä suunnitellulla 0-verolla verrattuna apukoneella tuotettuun sähkөөn nykytilanteessa sekä suunnitellulla polttoaineverolla ja 100 €/tCO₂, 150 €/tCO₂ sekä 300 €/tCO₂ päästöoikeudella. Vertailussa 2 MW maasähkijärjestelmä ja investoinnin matala-skenaario. Kuviossa käytetty maasähkön määrä on herkkyytyksenä kaksinkertaistettu.

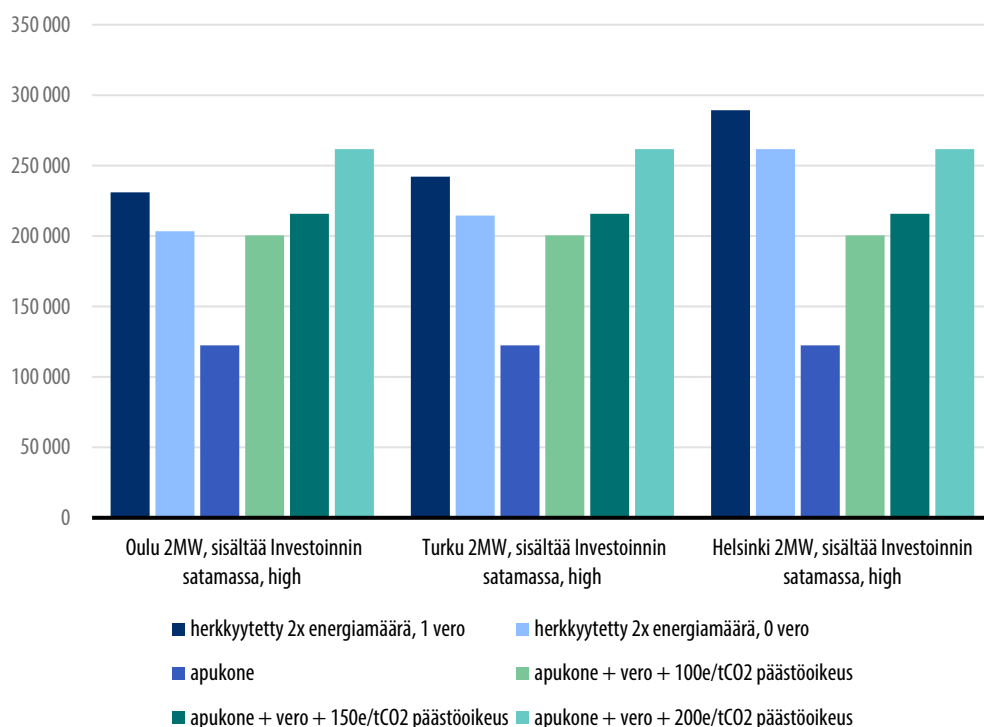


Kuvio 19. Maasähkön muuttuvat kustannukset sekä investoinnin annuiteetti kolmella paikalla kunnalla nykyisellä verokannalla sekä suunnitellulla 0-verolla verrattuna apukoneella tuotettuun sähkөөn nykytilanteessa sekä suunnitellulla polttoaineverolla ja 100 €/tCO₂, 150 €/tCO₂ sekä 300 €/tCO₂ päästöoikeudella. Vertailussa 10 MW maasähköljärjestelmä ja investoinnin matala-skenaario. Kuviossa käytetyn maasähkön määrä on herkkyytyksenä kaksinkertaistettu.

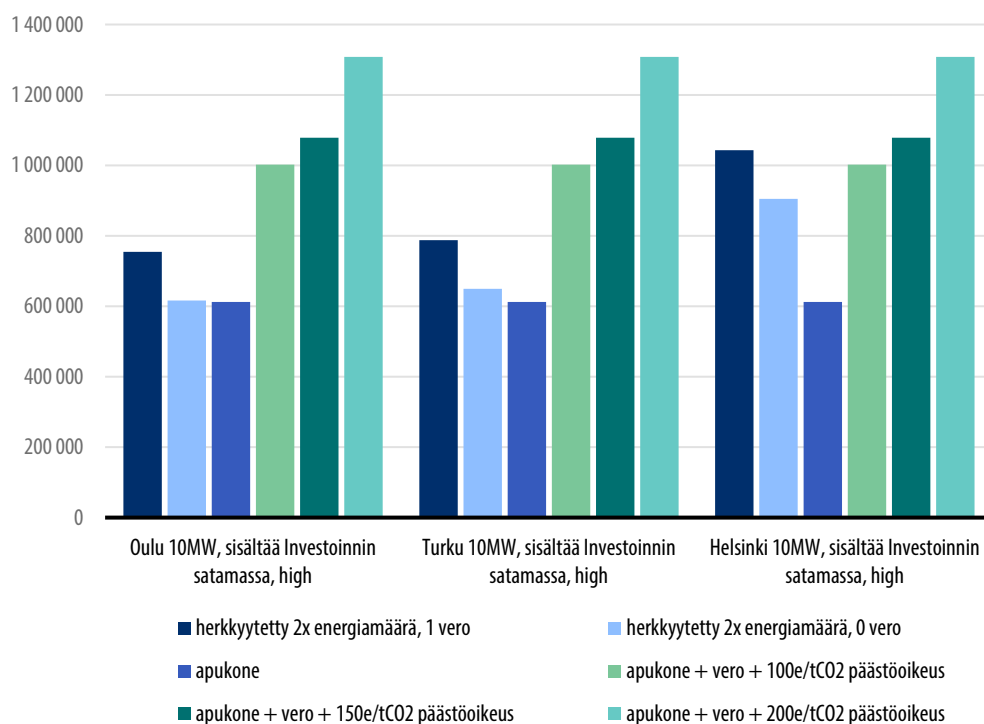


Kuvio 20 perusteella 2 MW huipputehon tapauksessa herkkyytetty energiamäärä (2 x) huomioiden investoinnin ”korkea”-skenaarion mukaisesti tekee apukoneilla tuotetun sähkön kannattavimmaksi Oulussa ja Turussa 100 €/tCO₂ päästöoikeuden hinnalla. Helsingissä vaaditaan 300 €/tCO₂ päästöoikeuden taso sekä 0 vero maasähkölle, jotta maasähkön hinta olisi sama kuin apukoneilla tuotettu sähkön hinta. Kuvio 21 mukaan 10 MW maasähköljärjestelmän tapauksessa 0-vero tekee maasähköstä suunnilleen saman hintaista Oulussa ja Turussa nykyisin apukoneilla tuotetun sähkön kanssa. Meripolttoaineen verovapauden poisto ja päästökauppaan liittäminen tekee maasähköstä selkeästi edullisempaa. Helsingin tapauksessa kannattavuuteen vaaditaan 0-vero, meripolttoaineen verovapauden poisto sekä päästökauppa hintatasolla 100 €/tCO₂.

Kuvio 20. Maasähkön muuttuvat kustannukset sekä investoinnin annuiteetti kolmella paikalla nykyisellä verokannalla sekä suunnitellulla 0-verolla verrattuna apukoneella tuotettuun sähkseen nykytilanteessa suunnitellulla polttoaineeverolla ja 100 €/tCO₂, 150 €/tCO₂ sekä 300 €/tCO₂ päästöoikeudella. Vertailussa 2 MW maasähköljärjestelmä ja investoinnin korkea-skenario. Kuviossa käytetyn maasähkön määrä on herkkyytyksenä kaksinkertaistettu.

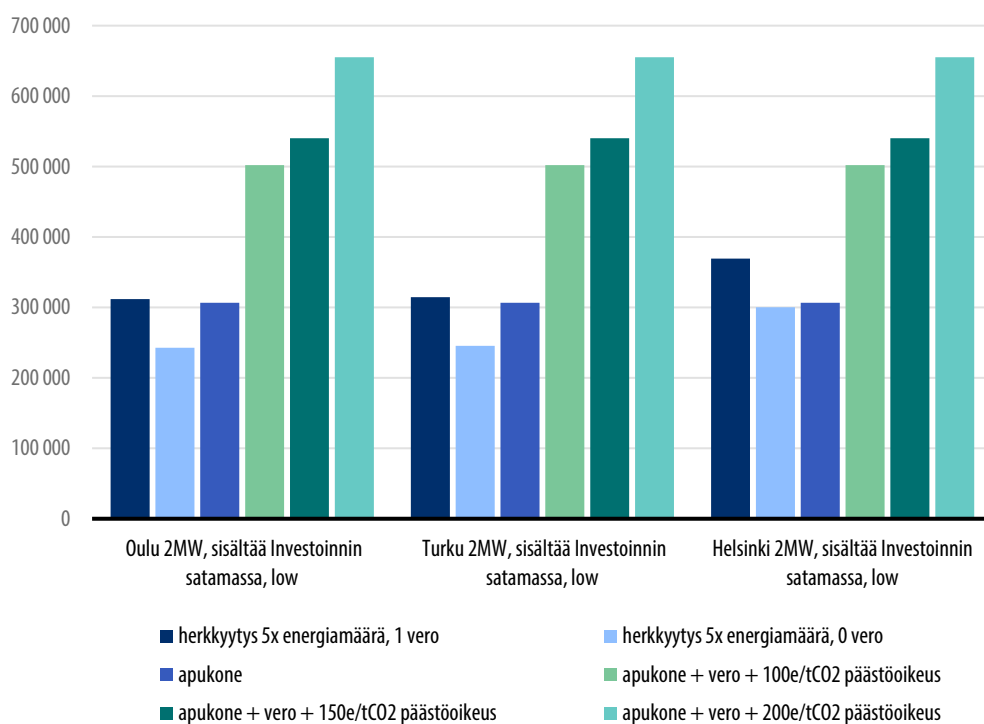


Kuvio 21. Maasähkön muuttuvat kustannukset vuodessa sekä investoinnin annuiteetti kolmella paikkakunnalla nykyisellä verokannalla sekä suunnitellulla 0-verolla verrattuna apukoneella tuotettuun sähkөөn nykytilanteessa sekä suunnitellulla polttoaineverolla ja 100 €/tCO₂, 150 €/tCO₂ sekä 300 €/tCO₂ päästöoikeudella. Vertailussa 10 MW maasähköljärjestelmä ja investoinnin korkea-skenaario. Kuviossa käytetyn maasähkön määrä on herkkyytyksenä kaksinkertaistettu.

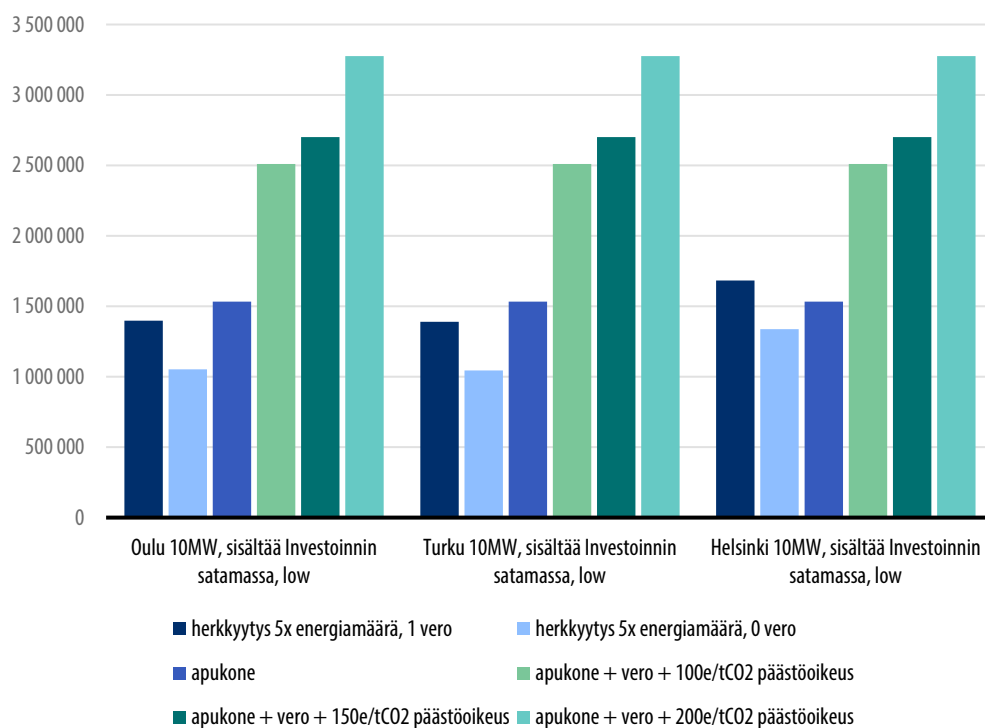


Kokonaisenergiämäärää herkkytettiin myös viisinkertaiseksi 2 MW tapauksessa (Kuvio 22) sekä 10 MW tapauksessa (Kuvio 23) huomioiden investointikustannus low skenaarion mukaisena. 2 MW tapauksessa maasähkö tulee kannattavaksi kaikilla paikkakunnilla, maasähkön 0-veron avulla. 10 MW tapauksessa maasähkö on jo nykyisellään kannattavaa Turussa ja Oulussa, ja 0-vero tekee maasähköstä kannattavaa myös Helsingissä.

Kuvio 22. Maasähkön muuttuvat kustannukset vuodessa sekä investoinnin annuiteetti kolmella paikkakunnalla nykyisellä verokannalla sekä suunnitellulla 0-verolla verrattuna apukoneella tuotettuun sähköön nykytilanteessa sekä suunnitellulla polttoaineverolla ja 100 €/tCO₂, 150 €/tCO₂ sekä 300 €/tCO₂ päästöoikeudella. Vertailussa 2 MW maasähköjärjestelmä ja investoinnin matala-skenaario. Kuviossa käytetyn maasähkön määrä on herkkytyksenä viisinkertaistettu. Viisinkertainen energiämäärä mahdollistaa maasähkön investointikustannusten kantokyvyn jo pelkällä 0-vero muutoksella nykyiseen verrattuna.

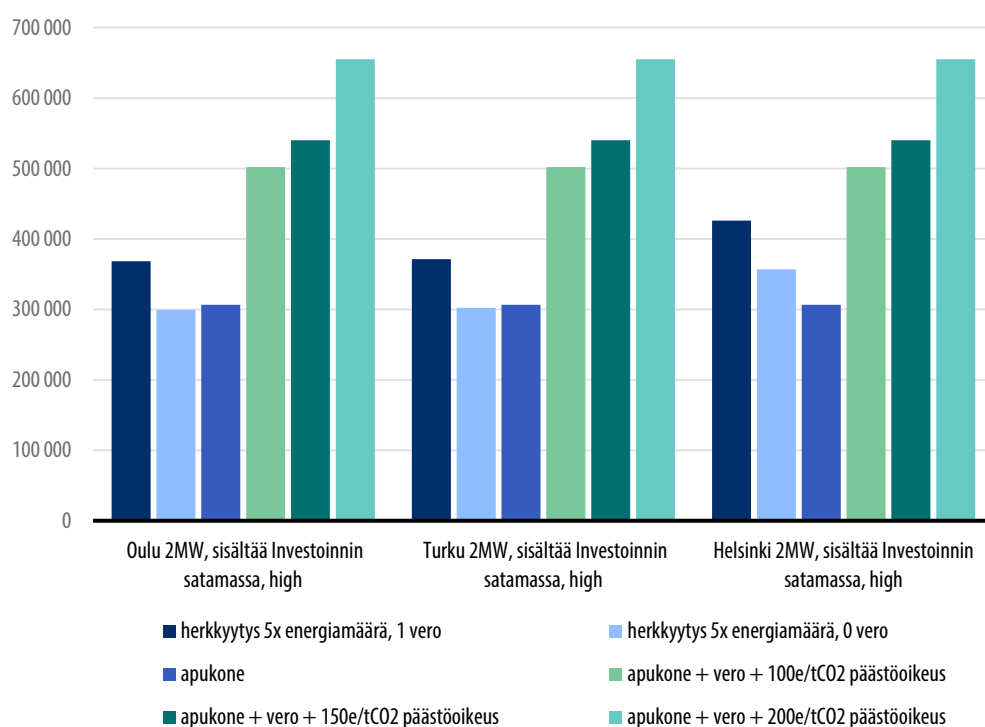


Kuvio 23. Maasähkön muuttuvat kustannukset sekä investoinnin annuiteetti kolmella paikalla kunnalla nykyisellä verokannalla sekä suunnitellulla 0-verolla verrattuna apukoneella tuotettuun sähkөөn nykytilanteessa sekä suunnitellulla polttoaineverolla ja 100 €/tCO₂, 150 €/tCO₂ sekä 300 €/tCO₂ päästöoikeudella. Vertailussa 10 MW maasähköljärjestelmä ja investoinnin matala-skenaario. Kuviossa käytetyn maasähkön määrä on herkkyytyksenä viisinkertaistettu.

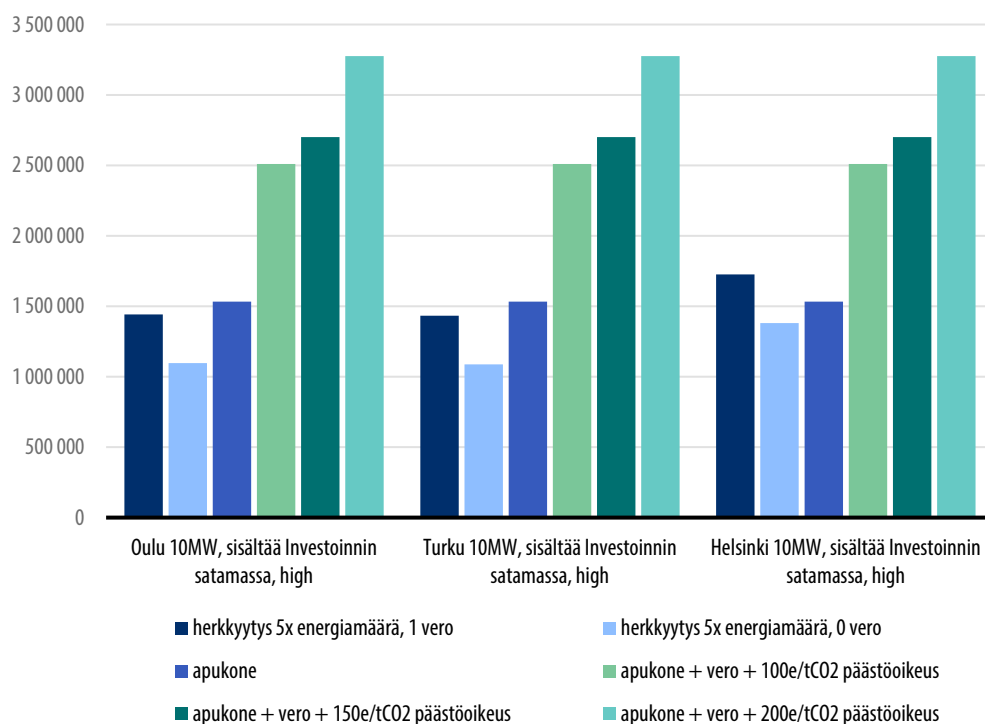


Viimeisenä kokonaisenergiämäärää herkkytettiin viisinkertaiseksi 2 MW tapauksessa (Kuvio 24) sekä 10 MW tapauksessa (Kuvio 25) huomioiden investointikustannus high skenaarion mukaisena. 2 MW tapauksessa maasähkön kustannus tulee Oulussa ja Turussa apukoneen sähkön kustannuksen kanssa samalle tasolle maasähkön 0-veron avulla. Helsingissä tarvitaan myös polttoaineveron poisto sekä päästökauppa avuksi, jotta kannattavuutta maasähkölle löytyisi. 10 MW tapauksessa maasähkö on jo nykyisellään kannattavaa Turussa ja Oulussa, ja 0-vero tekee maasähköstä kannattavaa myös Helsingissä.

Kuvio 24. Maasähkön muuttuvat kustannukset sekä investoinnin annuiteetti kolmella paikkakunnalla nykyisellä verokannalla sekä suunnitellulla 0-verolla verrattuna apukoneella tuotettuun sähkөөn nykytilanteessa suunnitellulla polttoaineverolla ja 100 €/tCO₂, 150 €/tCO₂ sekä 300 €/tCO₂ päästöoikeudella. Vertailussa 2 MW maasähköljärjestelmä ja investoinnin korkea-skenario. Kuviossa käytetyn maasähkön määrä on herkkytyksenä viisinkertaistettu.



Kuvio 25. Maasähkön muuttuvat kustannukset vuodessa sekä investoinnin annuiteetti kolmella paikkakunnalla nykyisellä verokannalla sekä suunnitellulla 0-verolla verrattuna apukoneella tuotettuun sähkөөn nykytilanteessa sekä suunnitellulla polttoaineverolla ja 100 €/tCO₂, 150 €/tCO₂ sekä 300 €/tCO₂ päästöoikeudella. Vertailussa 10 MW maasähköljärjestelmä ja investoinnin korkea-skenaario. Kuviossa käytetyn maasähkön määrä on herkkyytyksenä viisinkertaistettu.



Lähteet

Alakangas, E., 2000. VTT Tiedotteita, Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia, Espoo: VTT Energia.

Bhutada, G., 2022. Mapped: EV Battery Manufacturing Capacity, by Region. Visual Capitalist.

C. Raucci, J. C. S. S. D. L. F. R. R., 2015. HYDROGEN ON BOARD SHIP: A FIRST ANALYSIS OF KEY PARAMETERS AND IMPLICATIONS. Glasgow, International Conference on Shipping in Changing Climates 2015.

Craig, B., 2020. The Future of Batteries in the Marine Sector: What Lies Beyond the Horizon?, s.l.: s.n.

DNV GL, 2021b. Maritime Forecast to 2050. Energy Transition Outlook 2021.

DNV GL, 2021. Energy Transition Outlook 2021.

DNV GL, 2021. Maritime Forecast to 2050. Energy Transition Outlook 2021.

DNV, 2022. Battery Statistics. [Online] Available at: <https://afi.dnv.com/Statistics?repld=2>

DNV, 2022. Updating statistics. [Online] Available at: <https://afi.dnv.com/Statistics> [Haettu 22 April 2022].

Energiavirasto, 2016. Verkkokomponenttien määritykset 2016-2023. [Online] Available at: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj1vo6h5vn2AhXyRPEDHeTSBbwQFnoECAoQAQ&url=https%3A%2F%2Fenergiavirasto.fi%2Fdocuments%2F11120570%2F12766832%2FVerkkokomponentit-ja-yksikk%25C3%25B6hinnat-2016-2023.xlsx%2F7bd40be6-74> [Haettu 4 4 2022].

Energiavirasto, 2022. Päästöoikeuksien huutokauppa, Toteutuneet huutokaupat. [Online] Available at: <https://energiavirasto.fi/huutokauppa> [Haettu 2022].

Ericsson, P. & Fazlagic, I., 2008. Shore-side power supply. Göteborg: Chalmers University of Technology.

Euroopan komissio, 2021b. COM(2021) 563 Final, energiatuotteiden ja sähkön verotusta koskevan unionin kehityksen uudistamisesta.

Euroopan komissio, 2021c. COM(2021) 551 final, Ehdotus, EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI.

Euroopan komissio, 2021. COM(2021) 559 final, Ehdotus, EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON ASETUS, vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta ja Euroopan.

Euroopan Komissio, 2021. Ehdotus Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus unionin suuntaviivoista Euroopan laajuisen liikenneverkon kehittämiseksi. s.l.:Euroopan Komissio.

Euroopan komissio, 2021. EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON ASETUS uusiutuvien ja vähähiilisten polttoaineiden käytöstä meriliikenteessä sekä direktiivin.

Falk, J., 2021. Wind in the Sails. OurWay, March, p. 24.

FinFerries Oy, 2021. Lauttojen hiilidioksidipäästöjä pienennetään akkutekniikalla. [Online] Available at: <https://www.finferries.fi/ajankohtaista/lehdistotiedotteet/lauttojen-hiilidioksidipaastoja-pienennetaan-akkutekniikalla.html> [Haettu 21 4 2022].

FinFerries, 2022. Hybridilautta Esite Elektra: Electrifying Finnish ferry service. [Online] Available at: <https://www.finferries.fi/media/elektra-technical-data.pdf> [Haettu 11.4.2022].

Fingrid, 2022. Fingrid - Rakentamisen vaiheet. [Online] Available at: <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/suunnittelu-ja-rakentaminen/hankkeen-vaiheet/> [Haettu 4 4 2022].

Finnlines, 2022. Ferry Trips. [Online] Available at: <https://www.finnlines.com/ferry-trips> [Haettu 25 4 2022].

Gasgrid, F., 2022. Intermediate report: Energy transmission infrastructure as enabler of hydrogen economy and clean energy system. [Online] Available at: https://gasgrid.fi/wp-content/uploads/Fingrid-Gasgrid_Intermediate-report_Energy-transmission-infrastructure-as-enabler-of-hydrogen-economy-and-clean-energy-system.pdf [Haettu 24 April 2022].

HE, 236/2014. HE 236/2014, Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi yksityisistä yleisistä satamista annetun lain sekä kunnallisista satamajärjestyksistä ja

liikennemaksuista annetun lain kumoamisesta. [Online] Available at: <https://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2014/20140236>

Helen Oy, 2021. Helsinki sulkee Hanasaaren voimalaitoksen lähes kaksi vuotta etuajassa. [Online] Available at: <https://www.helen.fi/uutiset/2021/helsinki-sulkee-hanasaaren-voimalaitoksen-lahes-kaksi-vuotta-etuajassa> [Haettu 12 4 2022].

Hokkanen, S., 2022. Liikenne- ja viestintäministeriö, Perusmuistio. [Online] Available at: <https://www.eduskunta.fi/F1/vaski/Liiteasiakirja/Documents/EDK-2022-AK-16556.pdf> [Haettu 18 May 2022].

IEA, ei pvm Fuel information: Ammonia. [Online] Available at: https://www.iea-amf.org/content/fuel_information/ammonia#properties [Haettu 21 04 2022].

International Maritime Organization (IMO), 2021. Further shipping GHG emission reduction measures adopted. [Online] Available at: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/MEPC76.aspx>

International Maritime Organization, IMO, 2022b. Initial IMO GHG Strategy. [Online] Available at: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-green-house-gas-emissions-from-ships.aspx>

International Maritime Organization, IMO, 2022. Energy Efficiency Measures. [Online] Available at: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Technical-and-Operational-Measures.aspx>

Lassi Liikanen, K. I. J. L. S. P. O. T., 2014. Kansikuva. Ulkomatala, 5 May.

Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021. Valtioneuvoston periaatepäätös meri- ja sisävesiliikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 2021:12, p. 32.

Liikenne- ja Viestintäministeriö, 2022. Hallitus linjasi kantojaan Euroopan komission TEN-T-asetusehdotuksesta. [Online] Available at: <https://www.lvm.fi/-/hallitus-linjasi-kantojaan-euroopan-komission-ten-t-asetusehdotuksesta-1665631>

Marine Traffic, 2022. Ampere. [Online] [Haettu 11.4.2022].

Meriaura, 2022. Meriaura (Jussi Mälkiä, Riinu Walls) [Haastattelu] (9 May 2022).

Mikkola, N., Randall, L. & Hagberg, A., 2016. Ampere, The world's first electric ferry. Green growth in Nordic regions – 50 ways to make it happen.

Nair, A., 2016. Alternative Fuels for Shipping: Potential for reductions in CO2 emissions, Financial viability for ship owners and, Optimized fleet mix design for policymakers, Rotterdam: Center for Maritime Economics and Logistics, Erasmus University Rotterdam.

Napa Ltd, 2022. How the Fit For 55 legislation will affect the shipping industry – and how you can prepare. [Online] Available at: <https://www.napa.fi/eu-fit-for-55-for-ship-ping/> [Haettu 4 4 2022].

Neste, C., 2020. Neste Renewable Diesel Handbook, Espoo: Neste Corporation.

Norsepower Oy Ltd, 2022. Riski Tuomas, Toimitusjohtaja, Norsepower Oy Ltd [Haastattelu] (3.3. 2022).

Oy, V., 2022. LIPASTO - Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä. [Online] Available at: <http://lipasto.vtt.fi/>

Oy, V., ei pvm LIPASTO - Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä. [Online] Available at: <http://lipasto.vtt.fi/>

Paul Balcombe, J. B. C. L., 2019. How to decarbonise international shipping: options for fuels, technologies and policies. Energy Conversion and Management, February.

Ramboll, 2021. Pohjanmaan alueen satamien uudentyypisten maasähkölaitteiden toteutettavuus, Vaasa: Merinova.

Ramboll, 2022. Calculation database. s.l.:s.n.

Rantanen, K., 2022. Kemia Lehti. [Online] Available at: <https://www.kemia-lehti.fi/am-moniakki-avittaa-vihreaa-siirtymaa/> [Haettu 22 April 2022].

Reusser, C. A. & Pérez, J. R., 2020. Evaluation of the Emission Impact of Cold-Ironing Power Systems, Using a Bi-Directional Power Flow Control Strategy. Sustainability, 13(1), p. 16.

RMC, 2022. Laurilehto Mika, Myyntijohtaja, Rauma Marine Constructions Oy (RMC), [Haastattelu] (2.3. 2022).

Solakivi, T. K. V. K. T. O. L., 2020. Merenkulun päästövähennyskeinojen vaikutukset varustamoliiketoimintaan ja logististen ketjujen toimintaan., s.l.: Tukkk:n julkaisuja.

Stena Line, 2021. Lautalla Hankoon ja Nynäshamniin. [Online] Available at: <https://www.stenaline.fi/reittimme/nynashamn-hanko> [Haettu 25 4 2022].

Suomen varustamoyhdistys ry, 2022. Tiina Tuurnala, Mats Björkendahl, Suomen varustamoyhdistys ry [Haastattelu] 2022.

Sähköverkkoyhtiöt, 2022. Sähköverkkoyhtiöiden haastattelu [Haastattelu] (3 2022).

Thepsithar, P., 2020. Alternative fuels for international shipping. s.l.:Maritime Energy & Sustainable Development (MESD), Centre of Excellence.

Tilastokeskus, 2022. Polttoaineluokitus 2022, s.l.: Tilastokeskus.

Tilastokeskus, 2022. Suomen varsinaisen kauppalaivaston bruttovetoisuus kasvoi vuonna 2021. [Online] Available at: https://www.stat.fi/til/klaiv/2021/klaiv_2021_2022-02-25_tie_001_fi.html

Traficom, 2020. Portnet. [Online] [Haettu 4 2021].

Traficom, 2021. Euroopan laajuinen liikenneverkko TEN-T. [Online] Available at: <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/liikennejarjestelma/euroopan-laajuinen-liikenneverkko-ten-t>

Uudenkaupungin Työvene Oy, 2021. News, a sustainable bridge made of ferries. [Online] Available at: <https://www.tyovene.com/en/news>

Valio, J., 2019. Akkuekosysteemi - nykytilaselvitys, s.l.: Pirkanmaan liitto.

Valtioneuvosto, 2021. IMO:ssa neuvotellaan vuoteen 2050 asetetun päästövähennystavoitteen kiristämisestä. [Online] Available at: https://valtioneuvosto.fi/en/-/imo-negotiations-on-higher-emission-reduction-targets-for-2050?languageId=fi_FI

Valtioneuvosto, 2021. Valtioneuvoston U-kirjelmä U 53/2021 vp. Valtioneuvoston kirjelmä eduskunnalle komission ehdotuksesta Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukseksi vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta ja direktiivin 2014/94/EU kumoamisesta, s.l.: s.n.

Varsinais-Suomen ELY-keskus, 2015. Tiedotteet 2015: Parainen-Nauvo lauttapaikalle parempi palvelutaso uudella lautalla (Varsinais-Suomen ELY-keskus). [Online] Available at: <https://www.ely-keskus.fi/-/parainen-nauvo-lauttapaikalle-parempi-palvelutaso-uudella-lautalla-varsinais-suomen-ely-keskus->

Vikan, J. I., 2020. Maritimt Magazin. [Online] Available at: <https://maritimt.com/en/magasin/first-newbuild-order-rotor-sails> [Haettu 29 April 2022].

VTT Oy, 2022. LIPASTO - Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä. [Online] Available at: <http://lipasto.vtt.fi/>

Väylävirasto, 2021. Liikennöinti Saimaan kanavassa. [Online] Available at: <https://vayla.fi/vaylista/vesivaylat/kanavat/saimaan-kanava/liikennointi-saimaan-kanavassa> [Haettu 25 4 2022].

Yara, 2021. Yara to start operating the world's first fully emission-free container ship. [Online] Available at: <https://www.yara.com/corporate-releases/yara-to-start-operating-the-worlds-first-fully-emission-free-container-ship/>

Yara, 2022. Yara Birkeland. [Online] Available at: <https://www.yara.com/news-and-media/press-kits/yara-birkeland-press-kit/>

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

lvm.fi