



# **Kalastuksen vihreä siirtymä**

*Tutkimusraportti 31.01.2025*

Jussi Aaltonen

Kalle Hakonen

Tuomas Salomaa

Kari T. Koskinen

## TIIVISTELMÄ

Tämä raportti käsittelee kalastusalusten hiilineutraaleja polttoaineita ja energianlähteitä sekä niihin liittyviä teknisiä ja taloudellisia näkökulmia ammattikalastuksessa käytettävissä aluksissa. Raportissa tarkastellaan erilaisia vaihtoehtoja, kuten biopolttoaineita, synteettisiä polttoaineita, sähköisiä ratkaisuja, tuulivoimaa ja ydinvoimaa. Lisäksi käsitellään hiilidioksidin talteenottojärjestelmiä ja niiden potentiaalia vähentää päästöjä.

Raportin keskeiset havainnot ovat seuraavat:

Kalastusalusten hiilineutraaliuden saavuttaminen edellyttää monipuolista lähestymistapaa, jossa yhdistetään useita eri teknologioita ja polttoaineita. Biopolttoaineet ja synteettiset polttoaineet tarjoavat potentiaalisia vaihtoehtoja perinteisille fossiilisille polttoaineille, mutta niiden tuotanto- ja jakeluinfrastruktuuri on vielä kehittymätön. Sähköiset ratkaisut, kuten akkuteknologia ja polttokennot, voivat tarjota merkittäviä etuja erityisesti pienemmissä aluksissa, mutta niiden käyttöönotto vaatii merkittäviä investointeja. Tuulivoima ja aurinkovoima voivat toimia lisäenergianlähteinä, mutta ne eivät yksinään riitä alusten energian tarpeisiin. Pienydinreaktorit tarjoavat suuren potentiaalinen merenkulussa, mutta niiden käyttöönotto kaupallisessa merenkulussa on vielä kaukana. Hiilidioksidin talteenottojärjestelmät voivat vähentää alusten hiilidioksidipäästöjä, mutta ne vaativat vielä kehitystä ja investointeja.

Energiatohokkuuden parantaminen on keskeinen osa hiilineutraaliuden saavuttamista. Tämä voidaan saavuttaa sekä operatiivisen toiminnan kehittämällä että teknisillä parannuksilla, kuten rungon ilmavoitelulla, tuuliväistisellä propulsiolla ja lämmön talteenotolla. Erilaisten pilottiprojektien ja kokeilujen avulla voidaan kerätä arvokasta tietoa eri teknologioiden ja polttoaineiden toimivuudesta käytännössä, mikä auttaa tunnistamaan parhaat ratkaisut ja kehittämään niitä edelleen.

Vetytalous ja sen jatkojalosteet, kuten synteettiset polttoaineet, ovat keskeisessä asemassa tulevaisuuden hiilineutraalissa merenkulussa. Vedyn tuotannon ja jakelun kehitys on ratkaisevan tärkeää, jotta vetyyn perustuvat ratkaisut voivat yleistyä. Kalastusaluksille voidaan määrittää erilaisia kehityspolkuja, jotka huomioivat alusten koon, käyttöympäristön ja käyttötavan. Esimerkiksi meritroolareille sopii hybriditroolari, joka yhdistää sähköiset ja hiilineutraalit tehonlähteet, kun taas sisävesitroolareille biometani on lupaava vaihtoehto. Pienten perämootorialusten kohdalla sähköistäminen ja biometani ovat potentiaalisia kehityspolkuja.

Yhteenvedona voidaan todeta, että kalastusalusten hiilineutraaliuden saavuttaminen vaatii monipuolista ja joustavaa lähestymistapaa, jossa yhdistetään eri teknologioita ja polttoaineita. Tämä edellyttää merkittäviä investointeja infrastruktuuriin ja teknologian kehittämiseen, mutta tarjoaa samalla mahdollisuuden vähentää merkittävästi kalastusalusten hiilidioksidipäästöjä ja edistää kestävästä merenkulkua. Lisäksi kansainvälinen yhteistyö, säännöstely ja koulutus ovat keskeisiä tekijöitä onnistuneessa siirtymässä kohti hiilineutraalia merenkulkua.

<b>TIIVISTELMÄ .....</b>	<b>2</b>
<b>1 JOHDANTO.....</b>	<b>5</b>
1.1 Merenkulun hiilidioksidipäästöt.....	5
1.2 Vaihtoehtoiset polttoaineet merenkulussa.....	6
1.3 Merenkulun päästömääräykset ja ilmastotavoitteet .....	7
<b>2 KALASTUSALUKSET SUOMESSA.....</b>	<b>9</b>
<b>3 VAIHTOEHTOISET HIILINEUTRAALIT ENERGIANLÄHTEET MERENKULUSSA.....</b>	<b>11</b>
3.1 Vety .....	11
3.2 Synteettiset polttoaineet .....	12
3.3 Biopolttoaineet .....	12
3.4 Sähkö.....	12
3.5 Muut energianlähteet.....	12
3.6 Vaihtoehtoisen energianlähteen valintaan liittyvät tekijät .....	13
<b>4 DIESELMOOTTORIEN VAIHTOEHTOISET POLTTOAINEET .....</b>	<b>14</b>
4.1 Biodiesel.....	15
4.2 Metaanipolttoainekaasut.....	15
4.3 eDiesel.....	16
4.4 Ammoniakki.....	16
4.5 Dimetyylieetteri.....	17
4.6 Vety .....	18
4.7 Metanoli .....	19
<b>5 OTTOMOOTTORIEN VAIHTOEHTOISET POLTTOAINEET .....</b>	<b>21</b>
5.1 Metanoli .....	21
5.2 Etanoli .....	22
5.3 eFuel.....	22
5.4 Metaanipohjaiset polttoainekaasut .....	23
5.5 Vety .....	23
<b>6 SÄHKÖISET RATKAISUT .....</b>	<b>24</b>
6.1 Polttokenno.....	24
6.2 Hybridivoimalinjat .....	24
6.3 Akut.....	25
<b>7 TUULIVOIMA .....</b>	<b>26</b>
7.1 Purje .....	26
7.2 Flettner-roottori .....	26

7.3	Tuulisähkö.....	27
<b>8</b>	<b>MUUT ENERGIARATKAISUT.....</b>	<b>28</b>
8.1	Aurinkovoima.....	28
8.2	Ydinvoima.....	28
<b>9</b>	<b>HIILIDIOKSIDIN TALTEENOTTOJÄRJESTELMÄT .....</b>	<b>30</b>
<b>10</b>	<b>HIILINEUTRAALIEN POLTTOAINEIDEN JAKELU- SEKÄ TUOTANTOINFRASTRUKTUURI JA HINTA .....</b>	<b>31</b>
10.1	Tuotanto- ja jakeluinfrastruktuurit.....	31
10.2	Tulevaisuuden tuotantovolyymit .....	32
10.3	Tulevaisuuden hintakehitys .....	33
<b>11</b>	<b>VETYTALouden KEHITYSNÄKYMÄT SUOMESSA .....</b>	<b>34</b>
<b>12</b>	<b>HIILINEUTRAALIEN VAIHTOEHTOJEN PÄÄSTÖT .....</b>	<b>37</b>
<b>13</b>	<b>KALASTUSALUSTEN ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN .....</b>	<b>39</b>
<b>14</b>	<b>KEHITYSPOLUT RASKAASSA MERENKULUSSA .....</b>	<b>41</b>
<b>15</b>	<b>KALASTUSALUSTEN HIILINEUTRAALIEN POLTTOAINEIDEN JA ENERGIANLÄHTEIDEN TEKNINEN VERTAILU.....</b>	<b>43</b>
<b>16</b>	<b>KALASTUSALUSTEN HIILINEUTRAALIEN POLTTOAINEIDEN JA ENERGIANLÄHTEIDEN KUSTANNUSVERTAILU .....</b>	<b>46</b>
<b>17</b>	<b>EHDOTUS KEHITYSPOLUKSI KALASTUSALUKSISSA .....</b>	<b>50</b>
17.1	Meritroolareiden kehitys.....	50
17.2	Sisävesitroolareiden kehitys .....	52
17.3	Pienten perämoottorialusten kehitys.....	53
17.4	Kalastus­alusten voimalinjojen kehitys .....	54
<b>18</b>	<b>JOHTOPÄÄTELMÄT .....</b>	<b>55</b>
	<b>LIITE 1 ENERGIANLÄHTEIDEN OMINAISUUDET .....</b>	<b>56</b>
	<b>LIITE 2 VERTAILUTAULUKKO .....</b>	<b>56</b>

# 1 JOHDANTO

Suomessa on laadittu toimialakohtaiset vähähiilisyystiekartat, jotka auttavat eri toimialoja saavuttamaan hiilineutraaliuden vuoteen 2035 mennessä. Tiekartassa mainittuja toimialoja ja niillä tehtäviä toimenpiteitä ovat muun muassa:

**Energia:** Suurimmat päästövähennykset odotetaan energiasektorilta, jossa uusiutuvan energian käyttöä lisätään merkittävästi.

**Liikenne:** Liikenteen sähköistäminen ja kestävien biopolttoaineiden käyttö ovat keskeisiä toimia.

**Teollisuus:** Teollisuuden päästöjä vähennetään muun muassa energiatehokkuutta parantamalla ja uusia teknologioita käyttämällä.

**Rakentaminen:** Rakennusektorilla keskitytään energiatehokkaisiin rakennuksiin ja vähähiilisiin rakennusmateriaaleihin.

**Maatalous:** Maataloudessa pyritään vähentämään päästöjä esimerkiksi parantamalla lannoitteiden käyttöä ja lisäämällä hiilensidontaa.

**Jätehuolto:** Jätehuollossa keskitytään kierrätyksen lisäämiseen ja kaatopaikkapäästöjen vähentämiseen.

Edellä mainittujen toimialojen lisäksi myös muut sektorit, kuten palvelut ja logistiikka, osallistuvat hiilineutraaliustavoitteiden saavuttamiseen.<sup>1,2</sup>

Ammattikalastuksen hiilineutraaliustavoitteet ovat osa edellä mainittua tavoitetta vähentää ilmastonmuutoksen vaikutuksia. Suomessa ja muualla maailmassa pyritään siihen, että ammattikalastus, kuten muutkin toimialat, saavuttavat hiilineutraaliuden vuoteen 2035 mennessä. Hiilineutraaliuden saavuttaminen vaatii merkittäviä muutoksia kalastusalalla, kuten siirtymistä vähäpäästöisiin aluksiin, energiatehokkuuden parantamista ja kestävien kalastuskäytäntöjen omaksumista.

Hiilineutraaliustavoitteet voidaan saavuttaa laskemalla toiminnan aiheuttamat hiilidioksidipäästöt nollaan tai kompensoimalla päästöt hankkimalla hiilinieluja ja sitomalla hiilidioksidia.<sup>3</sup>

## 1.1 Merenkulun hiilidioksidipäästöt

Merenkulun osuus maailmanlaajuisista hiilidioksidipäästöistä on merkittävä. Laivaliikenne tuottaa noin 3 % globaaleista hiilidioksidipäästöistä. Vuonna 2018 kansainvälisen laivaliikenteen osuus oli 2,89 %, mikä vastasi 1056 miljoonaa tonnia hiilidioksidia. Ilman lisätoimia meriliikenteen osuus voi kasvaa jopa 17 %:iin vuoteen 2050 mennessä. Tämä korostaa tarvetta tehokkaille päästövähennystoimille, kuten energiatehokkuuden parantamiselle ja vaihtoehtoisten polttoaineiden käytölle.<sup>4</sup>

Troolikalastuksen polttoaineen kulutuksesta syntyvät vuotuiset hiilidioksidipäästöt ovat noin 207 miljoonaa tonnia, mikä vastaa noin 20 % kaupallisen merenkulun kokonaispäästöistä. Polttoaineenkulutuksesta aiheutuvia päästöjä suurempi hiilidioksidipäästöjen lähde on kuitenkin

<sup>1</sup> Mikko Paloneva ja Saana Takamäki, ”Yhteenveto toimialojen vähähiilitiekartoista”, sarjajulkaisu (työ- ja elinkeinoministeriö, 22. lokakuuta 2020), <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162494>.

<sup>2</sup> Jussil, ”Suomen hiilineutraaliustavoite vuodelle 2035 on mahdollinen, mutta toimia on nopeutettava – Ilmastopaneeli laski Suomelle päästövähennyspolun”, *Ilmastopaneeli* (blog), 4. lokakuuta 2019, <https://ilmastopaneeli.fi/suomen-hiilineutraaliustavoite-vuodelle-2035-on-mahdollinen-mutta-toimia-on-nopeutettava-ilmastopaneeli-laski-suomelle-paastovahennyspolun/>.

<sup>3</sup> Jyri Seppälä ym., ”Hiilineutraaliustavoite – Valtiot, alueet ja kunnat” (Suomen ilmastopaneeli, 9. lokakuuta 2019).

<sup>4</sup> ”Fourth Greenhouse Gas Study 2020”, viitattu 24. tammikuuta 2025, <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>.

pohjatroulauksen häiritsemästä sedimentistä vapautuva hiilidioksidi, jota vapautuu vuotuisesti noin 370 miljoonaa tonnia.<sup>5,6,7</sup>

## 1.2 Vaihtoehtoiset polttoaineet merenkulussa

Nesteytetty maakaasu on vähäpäästöisin saatavilla oleva fossiilinen polttoaine (vähentää kasvihuonekaasupäästöjä enemmillään 21 % perinteisiin laivapolttoaineisiin verrattuna). Suomessa nesteytettyä maakaasua on hyvin saatavilla meriliikenteen tarpeisiin.

Bio-pohjaisia polttoaineita on nykyään rajoitetusti saatavilla meriliikenteen käyttöön. LNG-käyttöiset laivat voivat käyttää polttoaineenaan myös nesteytetty biometania (liquefied biogas LBG). Kahden suomalaisen aluksen vuosina 2019–2020 käyttämä bioöljy on Suomessa tuotettu VG Marine EcoFuel.

Laivan hyödyntäessä sähköverkosta saatavaa sähköä akuissa tai maasähkönä satamassa sähkön käytön aiheuttamien kasvihuonekaasujen määrä riippuu siitä, miten sähkö on tuotettu. Maasähköä akkujen lataukseen on tarjolla vain muutamissa Suomen satamissa.

Tuulivoimaa käytetään apuvoimana vähentämässä muiden polttoaineiden kulutusta. Siitä saatava hyöty vaihtelee laivalle asennetuista laitteista ja laivan reitillä vallitsevista tuuliolosuhteista riippuen.

Taulukko 1 on esitetty Suomenalusrekisterissä vuosina 2019–2022 olleet vaihtoehtoisia polttoaineita käyttävät alukset.

Taulukko 1 Suomen rekisterissä olevat vaihtoehtoisia polttoaineita käyttävät laivat<sup>8</sup>

Polttoaine/ käyttövoima	2019	2020	2021	2022
<b>Nesteytetty maakaasu (LNG)</b>	1 matkustaja-autolautta 2 kappaletavara-alusta 1 vartiolaiva 1 jäänmurtaja <b>yht. 5</b>	1 matkustaja-autolautta 2 kappaletavara-alusta 1 jäänmurtaja 1 vartiolaiva <b>yht. 5</b>	2 matkustaja-autolauttaa 2 kappaletavara-alusta 1 jäänmurtaja 1 vartiolaiva <b>yht. 6</b>	3 matkustaja-autolautta 2 kappaletavara-alusta 1 vartiolaiva 1 jäänmurtaja 1 ro-ro-alus <b>yht. 8</b>
<b>Nesteytetty biokaasu (LBG)</b>		1 kappaletavara-alus <b>yht. 1</b>		
<b>Bioöljy</b>	2 kappaletavara-alusta <b>yht. 2</b>	2 kappaletavara-alusta <b>yht. 2</b>		
<b>Maasähkö</b>	4 matkustaja-autolauttaa 1 ro-ro-lastialus <b>yht. 5</b>	5 matkustaja-autolauttaa 1 ro-ro-lastialus <b>yht. 6</b>	4 matkustaja-autolauttaa 1 ro-ro-lastialus <b>yht. 5</b>	4 matkustaja-autolauttaa 1 ro-ro-lastialus <b>yht. 5</b>
<b>Sähköverkosta ladattavat akut</b>	1 maantielautta <b>yht. 1</b>	1 maantielautta <b>yht. 1</b>	1 maantielautta <b>yht. 1</b>	1 maantielauttaa 1 matkustaja-autolautta <b>yht. 2</b>
<b>Tuulivoima (Roottori-purjeet)</b>	1 matkustaja-autolautta 1 ro-ro-lastialus <b>yht. 2</b>	1 matkustaja-autolautta 1 ro-ro-lastialus <b>yht. 2</b>	1 matkustaja-autolautta 1 ro-ro-lastialus <b>yht. 2</b>	1 ro-ro-lastialus <b>yht. 1</b>
<b>Yhteensä</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>13</b>	<b>15</b>

<sup>5</sup> Michael Le Page, "Seabed Trawling Found to Be a Major Source of Global CO2 Emissions", New Scientist, viitattu 24. tammikuuta 2025, <https://www.newscientist.com/article/2412752-seabed-trawling-found-to-be-a-major-source-of-global-co2-emissions/>.

<sup>6</sup> "The Trouble with Trawling: The Massive Carbon Footprint of Bottom Trawling", *Envirobites* (blog), 6. maaliskuuta 2024, <https://envirobites.org/2024/03/06/the-trouble-with-trawling-the-massive-carbon-footprint-of-bottom-trawling/>.

<sup>7</sup> Robert W R Parker ja Peter H Tyedmers, "Fuel consumption of global fishing fleets: current understanding and knowledge gaps", *Fish and Fisheries* 16, nro 4 (joulukuuta 2015): 684–96, <https://doi.org/10.1111/faf.12087>.

<sup>8</sup> "Meriliikenteen kasvihuonepäästöt ja vaihtoehtoiset käyttövoimat", Tieto Traficom, 31. tammikuuta 2023, <https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/meriliikenteen-kasvihuonepaastot-ja-vaihtoehtoiset-kayttovoimat>.

Suomen varsinaisen kauppalaivaston koko oli vuoden 2022 helmikuussa 671 alusta, joten vaihtoehtoisia polttoaineita hyödyntävät alukset edustivat 2,2 %:a kauppalaivastosta. Nykyinen (joulukuu 2024) kauppalaivaston aluslukumäärä on 624 alusta.<sup>9,10</sup>

Suomen tilanne on hieman parempi kuin maailmanlaajuinen tilanne, jossa n. 0,9 %:a koko maailman kauppalaivastosta käyttää vaihtoehtoisia polttoaineita. Telakkojen tämän hetken tilauskannasta koko maailmassa n. 17,3 % on vaihtoehtoisia polttoaineita käyttäviä aluksia. Viimeisen 12 kuukauden uusista tilauksista taas 21 % on ollut vaihtoehtoisia polttoaineita käyttäviä aluksia. Käytössä olevissa aluksissa suosituimmat vaihtoehtoiset polttoaineet ovat LNG ja LPG. Tilauskannassa taas suosituimmat ovat LNG ja metanoli.<sup>11</sup>

### 1.3 Merenkulun päästömääräykset ja ilmastotavoitteet

EU:ssa bruttovetoisuudeltaan yli 400 GT aluksiin, joita suomalaisen kalastuslaivaston avomerialuksista iso osa on, kohdistuu jo vuoden 2025 alusta tiettyjä määräyksiä. Keskeisiä määräyksiä ovat:

**Monitoring, Reporting, and Verification (MRV) Regulation** – Tämä asetus koskee ensisijaisesti 5 000 GT:n ja sitä suurempia aluksia. Kuitenkin 1. tammikuuta 2025 alkaen se kattaa myös offshore-alukset ja yleisrahtialukset, joiden GT on alle 5 000 GT mutta ei alle 400 GT.

**EU Emissions Trading System (ETS)** – Samoin kuin MRV-asetus, EU:n ETS:n laajennus meriliikenteeseen kohdistuu pääasiassa 5 000 GT:n ja sitä suurempiin aluksiin. Kuitenkin se kattaa myös offshore-alukset ja yleisrahtialukset, joiden vetoisuus on alle 5 000 GT mutta ei alle 400 GT, alkaen vuodesta 2025.

Vaikka EU:n ensisijainen painopiste on suuremmissa aluksissa, pienempiin aluksiin kiinnitetään yhä enemmän huomiota kattavan ympäristönsuojelun varmistamiseksi.<sup>12,13</sup>

EU tason ilmastotavoitteiden keskeinen sisältö on koottu Fit for 55-pakettiin, joka on ehdotuspaketti, jonka tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 55 % vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoden 1990 tasoon. Tämä aloite on osa laajempaa Euroopan vihreän kehityksen ohjelmaa, jonka tavoitteena on tehdä EU:sta ilmastoneutraali vuoteen 2050 mennessä.

**EU Emissions Trading System (ETS)** – Uudistukset, joiden tarkoituksena on tehdä ETS:stä kunnianhimoisempi, mukaan lukien sen laajentaminen meriliikenteeseen ja tiettyjen alojen ilmaisjakelun asteittainen poistaminen.

**Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)** – Mekanismi, joka estää hiilivuotoa asettamalla hiilen hinnan tiettyjen tavaroiden tuonnille.

**Effort Sharing Regulation** – Asettaa sitovat päästövähennystavoitteet jokaiselle EU:n jäsenvaltiolle sektoreilla, joita ETS ei kata, kuten liikenne, rakennukset ja maatalous.

**Renewable Energy Directive** – Nostaa EU:n uusiutuvan energian tavoitteen 40 %:iin vuoteen 2030 mennessä.

**Energy Efficiency Directive** – Asettaa sitovan tavoitteen vähentää energiankulutusta 36-39 % vuoteen 2030 mennessä.

<sup>9</sup> Olli Kajava, ”Tilastokeskus - Kauppalaivasto” (Tilastokeskus), viitattu 25. tammikuuta 2025, [https://stat.fi/til/klaiiv/2022/02/klaiiv\\_2022\\_02\\_2022-03-09\\_tie\\_001\\_fi.html](https://stat.fi/til/klaiiv/2022/02/klaiiv_2022_02_2022-03-09_tie_001_fi.html).

<sup>10</sup> ”Varsinaiseen kauppalaivastoon kuului 624 alusta joulukuussa 2024 | Tilastokeskus”, 13. tammikuuta 2025, <https://stat.fi/julkaisu/cm1exbjs4prpb06w2ox84qwkf>.

<sup>11</sup> ”Alternative Fuels Insight”, viitattu 25. tammikuuta 2025, <https://afi.dnv.com/statistics/16486173-4f14-4cc5-b9f6-f2f4b4c47a15>.

<sup>12</sup> ”New EU Rules Aiming to Decarbonise the Maritime Sector Take Effect - European Commission”, viitattu 26. tammikuuta 2025, [https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/new-eu-rules-aiming-decarbonise-maritime-sector-take-effect-2025-01-10\\_en](https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/new-eu-rules-aiming-decarbonise-maritime-sector-take-effect-2025-01-10_en).

<sup>13</sup> ”Reducing Emissions from the Shipping Sector - European Commission”, viitattu 26. tammikuuta 2025, [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/reducing-emissions-shipping-sector\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/reducing-emissions-shipping-sector_en).

**Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR)** – Velvoittaa vaihtoehtoisten polttoaineiden lataus- ja tankkausinfrastruktuurin käyttöönoton.

**FuelEU Maritime and ReFuelEU Aviation Regulations** – Edistävät kestävien polttoaineiden käyttöä meri- ja ilmailualoilla.

Näillä toimenpiteillä on tarkoitus varmistaa oikeudenmukainen, kustannustehokas ja kilpailukykyinen siirtyminen vähähiiliseen talouteen.<sup>14,15</sup>

Ilmastotavoitteiden osalta Suomella on EU-tason tavoitteiden mukainen kansallinen ilmasto- ja energiastrategia, joka ohjaa kohti 60 % vähennystä kasvihuonekaasupäästöissä vuoteen 2030 mennessä ja hiilineutraaliuden saavuttamiseen vuoteen 2035 mennessä.<sup>16</sup>

---

<sup>14</sup> "Fit for 55 - The EU's Plan for a Green Transition", Consilium, viitattu 26. tammikuuta 2025, <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/fit-for-55/>.

<sup>15</sup> "Delivering the European Green Deal - European Commission", 14. heinäkuuta 2021, [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en).

<sup>16</sup> Riku Huttunen ym., "Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia", sarjajulkaisu (Työ- ja elinkeinoministeriö, 9. syyskuuta 2022), <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/164321>.



## 2 KALASTUSALUKSET SUOMESSA

Suomessa oli kalastusalusrekisterissä vuonna 2023 3228 alusta, joista aktiivikäytössä oli 1148 alusta. Valtaosa aluksista on alle 12 m pituisia. Suuria 24 m pituisia aluksia rekisterissä on 19 kappaletta, joista aktiivisia on 15 alusta. Suomen ammattikalastajaliiton ja EU kalastusalusrekisterin mukaan laivasto on erittäin ikääntynyttä. Alusten keski-ikä on 42 vuotta, niistä nuorin on 31 vuotta vanha ja vanhin 61 vuotta vanha.<sup>17</sup>

Pääosa kalastusyrietyksistä toimii merellä. Merellä toimivia yrityksiä on 341 kappaletta ja sisävesillä toimivia 147 kappaletta. Sisävesillä tapahtuva kalastus on hieman työvoimaintensiivisempää. Merellä henkilöstöä on 172 henkeä ja sisävesillä 86. Kalastuksen kokonaistuloksesta valtaosa syntyy merellä (36 M€ vs. 13 M€), joskin merikalastuksen suuremmat kustannukset näkyvät tuloksessa (6 M€ vs. 2 M€).<sup>18</sup>

Tyypilliset kalastusaluukset voidaan jaotella karkeasti kolmeen kategoriaan:

1. Silakkatrollari
  - Vesilinjapituus +30 m avomerellä ja +20 m rannikolla
  - Teho 1000–2000 kW
2. Sisävesitrollari muikun kalastukseen
  - Vesilinjapituus max. 12 m
  - Teho 120–300 kW
3. Sisävesi ja rannikkokalastuksessa käytettävä perämoottorialus
  - Vesilinjapituus 6–8 m
  - Teho 25–50 kW

Tyypillisesti näiden kokoluokkien aluksien moottoritekniikka on:

1. Silakkatrollari
  - Propulsiodiesel
    - Nopeakäyntinen (yli 1000 rpm)
    - Keskinopea (200–1000 rpm) käyntinen laivadiesel
  - Apudieselit
    - Nopeakäyntinen (yli 1000 rpm)
  - Voimalaitteeseen liittyvät nestesäiliöt
    - MGO n. 50–60 m<sup>3</sup>
    - DEF (urea) n. 5–6 m<sup>3</sup>
    - Voiteluöljy n. 4–5 m<sup>3</sup>
2. Sisävesitrollari muikun kalastukseen
  - Propulsiodiesel
    - Nopea käyntinen (yli 1000 rpm) merodiesel
  - Voimalaitteeseen liittyvät nestesäiliöt
    - Diesel n. 1–2 m<sup>3</sup>
3. Sisävesi ja rannikkokalastuksessa käytettävä perämoottorialus
  - Ulkolaitamoottori
    - Nelitahtinen ottomoottori
  - Voimalaitteeseen liittyvät nestesäiliöt
    - Bensiini n. 0,05–0,3 m<sup>3</sup>

---

<sup>17</sup> ”Kaupallinen kalastus merellä”, Luonnonvarakeskus, viitattu 24. tammikuuta 2025, <https://www.luke.fi/fi/tilastot/kaupallinen-kalastus-merella>.

<sup>18</sup> Joonas Valve ja Jari Setälä, ”Kalatalouden toimialakatsaus 2022”, ei pvm.

Aluksissa käytettävä moottoritekniikka sanelee niissä käytössä olevan konehuonetilan, mikä taas määrittelee vaihtoehtoiset voimalinjaratkaisut, mikäli alustyypin perusrakennetta tai kokoa ei muuteta.

Aktiivikäytössä olevien alusten ikä kertoo, että alalla olisi voimakkaita paineita uudistaa aluskantaa. Kalastuskiintiöiden koko ja niihin liittyvät epävarmuudet sekä päästö- ja teknisten vaatimusten kehitykseen liittyvät epävarmuudet ovat kuitenkin merkittävästi hidastaneet aluskannan uusiutumista. Avomeritroolareiden kehitys ei kuitenkaan ole ollut täysin pysähdyksissä vaan niitä on suunniteltu, mutta toistaiseksi ne ovat jääneet suunnitelman asteelle. Suunnitelmat tarjoavat kuitenkin oivallisen pohjan kehitykselle, kun sille avautuu mahdollisuus.

Myös vaihtoehtoisten energiaratkaisujen suhteen on aloitettu kehitystyö Suomen ammattikalastajaliitto ry:n vuonna 2023 teettämän esiselvityksen muodossa.<sup>19</sup>

---

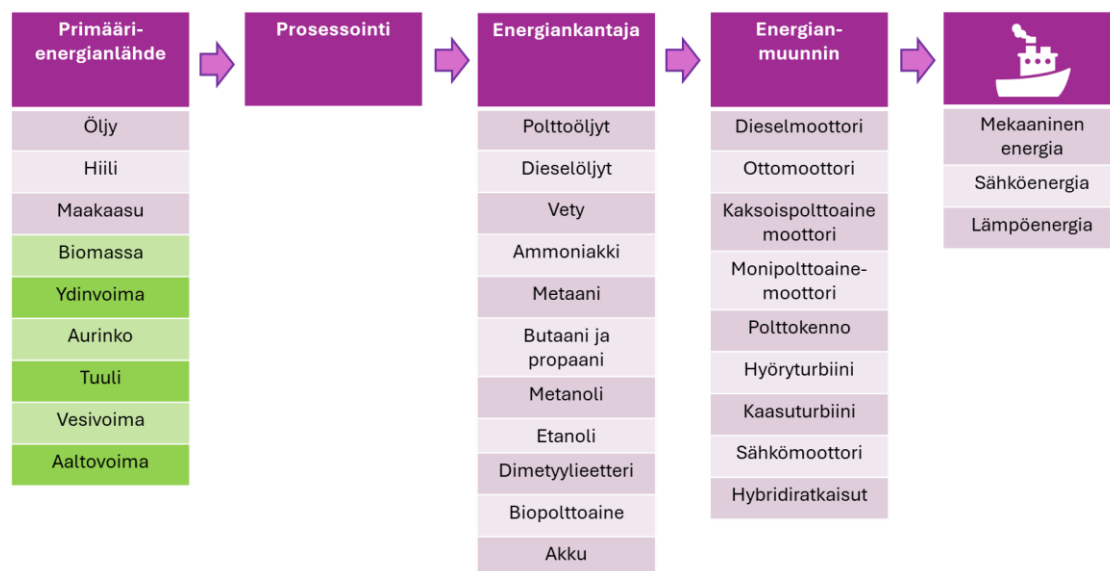
<sup>19</sup> Niklas Rönberg, "Kalastusaluksien uudet vähäpäästöiset energiaratkaisut" (Suomen Ammattikalastajaliitto SAKL – Finlands Yrkesfiskarförbundet FYFF ry, 31. maaliskuuta 2023), [https://sakl.fi/wp-content/uploads/KALASTUSALUKSIEN-UUDET-VAHAPAASTOISET-ENERGIARATKAISUT\\_FINAL.pdf](https://sakl.fi/wp-content/uploads/KALASTUSALUKSIEN-UUDET-VAHAPAASTOISET-ENERGIARATKAISUT_FINAL.pdf).

## 3 VAIHTOEHTOISET HIILINEUTRAALIT ENERGIANLÄHTEET MERENKULUSSA

Vaihtoehtoiset hiilineutraalit energianlähteet voidaan jaotella vihreään energiaan, johon kuuluvat uusiutuvan energian lähteet kuten tuuli- ja aurinkoenergia sekä biomassapohjainen energia, ydinenergiaan, uusiutuvilla energian lähteillä tuotettuun vetyyn ja synteettisiin polttoaineisiin, jotka tuotetaan vedystä. Jaottelu voidaan tehdä myös energianlähteen hyödyntämistavan mukaan, jolloin energianlähteet voidaan jakaa polttoaineisiin ja muihin energianlähteisiin. Hiilineutraalit polttoaineet taas voidaan jaotella bio- ja synteettisiin polttoaineisiin.<sup>20</sup>

Lisäksi vaihtoehtoisena hiilivapaana energianlähteenä voidaan pitää sähköä, jos sen tuotantotapa ei aiheuta hiilidioksidipäästöjä. Sähköä voidaan hyödyntää akkujen avulla ja satamassa ollessa maasähköliitynnästä sekä hybridiratkaisuna esimerkiksi polttokennon yhteydessä.

Käyttövoiman tuottamiseen liittyy aina energiaketju, joka lähtee primäärienergianlähteestä, joka prosessoidaan käyttökelpoiseksi energiankantajaksi ja muunnetaan energianmuuntimella laivassa käytettäväksi mekaaniseksi, sähkö- ja lämpöenergiaksi (Kuva 1).



Kuva 1 Laivoissa yleisesti käytettäviin voimalinjoihin liittyvä energiaketju

Kuva 1 primäärienergian lähteissä fossiiliset primäärienergianlähteet on esitetty violetilla ja vihreällä on esitetty hiilineutraalit energian lähteet. Suurin osa hiilineutraaleista primäärienergian lähteistä on käytännössä hyödynnettävissä vain sähkönä, joka ladataan akkuihin, tai jolla tuotetaan vetyä, joka käytetään sinällään tai jatko-prosessoidaan synteettiseksi polttoaineeksi.

### 3.1 Vety

Vetyä valmistetaan elektrolyysillä vedestä, tai fossiilisesta öljystä ja maakaasusta, joka on yleisin tuotantomuoto nykyisin. Elektrolyysillä tuotettua vetyä voidaan luonnehtia sähköenergiavastoiksi johtuen sen valmistusmenetelmästä. Vedestä tuotettu vety on hiilineutraalia, mikäli sen tuotantoon käytetty sähkö on tuotettu hiilineutraalisti. Vetyä voidaan käyttää suoraan polttoaineena polttomoottoreissa ja sitä voidaan käyttää myös polttokennossa tuottamaan sähköä.

<sup>20</sup> Ari Lampinen, ”Uusiutuvan liikenne-energian tiekartta”, publication (Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu, 2009), <http://www.theseus.fi/handle/10024/127014>.

## 3.2 Synteettiset polttoaineet

Synteettisiä polttoaineita voidaan luonnehtia lähinnä sähköenergiavarastoiksi johtuen niiden raaka-aineesta ja valmistusmenetelmistä. Niitä voidaan valmistaa vedystä ja hiilidioksidista, jolloin saadaan synteettisiä hiilivetyypohjaisia polttoaineita. Polttoaine voi perustua myös muihin vedyn kuljettajiin, kuten tyypeen, jolloin saadaan esimerkiksi synteettistä ammoniakkia. Vetyä valmistetaan elektrolyysillä vedestä, tai fossiilisesta öljystä ja maakaasusta, joka on yleisin tuotantomuoto nykyisin.

Fossiilisia- ja biopolttoaineita vastaavia synteettisiä polttoaineita kutsutaan synteettiseksi LNG:ksi (eLNG), metanoliksi (eMetanoli), dieseliksi (eDiesel) jne. Näitä voidaan käyttää suoraan korvaavana tai sekoitteena nykyisissä moottoreissa. Vaihtoehtoiseen vedyn kuljettajaan perustuvaa ammoniakkia voidaan myös polttaa dieselmoottoreissa sekoitettuna. Pelkän ammoniakkin käyttäminen nykyisissä dieselmoottoreissa ei ole mahdollista ilman laajoja teknisiä muutoksia.

## 3.3 Biopolttoaineet

Biopolttoaineet ovat biomassasta valmistettuja polttoaineita. Meriliikenteen käyttöön soveltuvia uusiutuvista lähteistä valmistettavia biopolttoaineita ovat muun muassa bioLNG, biometanoli, biometaanoli sekä biodiesel. Biopolttoaineita voidaan hyödyntää pääosin suoraan olemassa olevissa moottoreissa 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.

## 3.4 Sähkö

Sähköä voidaan hyödyntää sekundaarienergianlähteenä. Se voidaan varastoida akkuihin, jotka ladataan sähköverkosta, tai se tuotetaan paikallisesti hyödyntäen jotakin primäärienergian lähdettä, esimerkiksi vetyä polttokennossa. Sähkön hiilineutraalius riippuu sähkön primäärienergianlähteestä. Suomessa sähkö tuotettiin vuonna 2022 47,9 % sähköstä uusiutuvan energian avulla. Koko Euroopan tasolla osuus oli 23 %.<sup>21</sup>

## 3.5 Muut energianlähteet

Muita mahdollisia hiilineutraaleja energianlähteitä ovat tuuli-, aurinko- ja ydinenergia. Tuuli- ja aurinkoenergia ovat soveltuvia lähinnä lisäenergian lähteiksi, mutta ydinenergialla on hyvin suuri potentiaali merenkulussa.

Tuulipropulsion potentiaali merenkulussa on suuri, mutta käytettävyyttä rajoittaa, että tuulta voidaan hyödyntää avustavana propulsiomuotona koska energian saatavuus ei ole jatkuvaa ja taattua. Tämän vuoksi aluksella on oltava täysitehoinen rinnakkainen propulsiojärjestelmä. Tällä hetkellä esikaupallisessa käytössä on kolme teknologiaa: leijapurje, siipipurje ja Flettner-roottori. Tuulipropulsion kaikki ratkaisut ovat vielä kehitysvaiheessa. Tekniseltä valmiusasteeltaan pisimmällä on Flettner-roottori<sup>22</sup>.

Ydinreaktoreita on käytetty sotilasmerenkulussa ja jäänsärkijöissä pitkään ja menestyksekkäästi, mutta ne eivät ole löytäneet sijaa kaupallisessa merenkulussa huolimatta siitä, että niitä testattu paljon aina 60-luvulta lähtien<sup>23</sup>. Ilmastotavoitteet ovat kuitenkin nostaneet teknologian kiinnostavuutta uudelleen myös kaupallisen merenkulun sovelluksissa<sup>24</sup>.

<sup>21</sup> ”Uusiutuva energia: Euroopan kunnianhimoiset tavoitteet”, Aiheet | Euroopan parlamentti, 19. kesäkuuta 2018, <https://www.europarl.europa.eu/topics/fi/article/20171124STO88813/uusiutuva-energia-euroopan-kunnianhimoiset-tavoitteet>.

<sup>22</sup> ”Norsepower Main Page”, Norsepower Rotor Sails™ | Wind Propulsion, viitattu 18. tammikuuta 2025, <https://www.norsepower.com/>.

<sup>23</sup> ”NS Savannah Association | Preserving the Worlds First Nuclear Powered Merchant Ship”, NS Savannah Assn, viitattu 18. tammikuuta 2025, <https://www.ns-savannah.com>.

<sup>24</sup> ”The Case for Nuclear Cargo Ships - IEEE Spectrum”, viitattu 18. tammikuuta 2025, <https://spectrum.ieee.org/nuclear-powered-cargo-ship>.

Aurinkoenergian hyödyntämien propulsiossa on vaikeaa tarvittavan suuren aurinkopaneelipinta-alan vuoksi, mutta sitä voidaan hyödyntää vihreänä apuenergianlähteenä täydentämässä muita energianlähteitä vastaavalla tavalla kuin aurinkoenergiaa hyödynnetään rakennustekniikassa<sup>25</sup>.

### 3.6 Vaihtoehtoisen energianlähteen valintaan liittyvät tekijät

Energianlähteen valintaan vaikuttaa luonnollisesti se, millainen sen hinta on tulevaisuudessa, ja mitä kyseisen energiamuodon käyttö maksaa verrattuna esimerkiksi nyt käytössä oleviin polttoaineisiin. Hinta verrattuna nykyiseen on kuitenkin liian kapea näkökulma koska lainsäädännölliset ja muut määräykselliset muutokset ajavat muutosta ja siten muutos on riippumaton siihen liittyvistä kustannustekijöistä.

Muutosta pitää tarkastella teknistaloudellisena kokonaisuutena, jossa on huomioitava seuraavat seikat:

**Energiatiheys** – Kuinka paljon polttoainetta pitää varastoida laivalle, jotta saavutetaan riittävä toiminta-aika, ja kuinka paljon menetetään lastitilaa? Mitkä ovat muutoksen taloudelliset vaikutukset?

**Primäärienergianlähde** – Mikä on polttoaineen ensisijainen energialähde ja kuinka paljon syntyy päästöjä, kun primäärienergianlähde jalostetaan polttoaineeksi?

**Valmistus- ja tuotantoteknologia** – Onko polttoaineelle kehitetty jo kaupallinen valmistus- ja tuotantoteknologia, tai onko sellainen kehitteillä. Voiko polttoainetta jo ostaa?

**Luokituskysymykset** – Polttoaineen käyttöön liittyvä säädöstö. Onko sen käyttö luvallista ja turvallista?

**Varastointi laivalla ja satamassa** – Miten polttoaine säilytetään laivassa? Millaisen infrastruktuurin sen varastointi vaatii satamiin?

**Jakelulogistiikka** – Miten jakelu satamiin ja loppukäyttäjälle on toteutettavissa?

**Moottoritekniikan tekninen valmiusaste** – Onko moottoreita kaupallisesti saatavana ja mitä ne maksavat verrattuna muihin vaihtoehtoihin?

Teknologiakehitys tulee muuttamaan kaikkia yllä lueteltuja tekijöitä. Jos polttoainetta ei tänään vielä tuoteta, varastoida tai jaella, tilanne voi olla erilainen muutaman vuoden kuluttua.

<sup>25</sup> Yupeng Yuan ym., "A design and experimental investigation of a large-scale solar energy/diesel generator powered hybrid ship", *Energy* 165 (15. joulukuuta 2018): 965–78, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.085>.

## 4 DIESELMOOTTORIEN VAIHTOEHTOISET POLTTOAINEET

Dieselmoottori on puristusytytystä käyttävä polttomoottori. Ne voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: nelitahtiset ja kaksitahtiset dieselmoottorit. Dieselmoottorit ovat merenkulussa yleisimpiä käytössä olevia moottoreita. Niitä käytetään:

- Päävoimakoneet: Sekä nelitahtisia että kaksitahtisia dieselmoottoreita käytetään päävoimakoneina, jotka tuottavat tarvittavan työntövoiman. Kaksitahtiset dieselmoottorit ovat erityisen suosittuja suurissa laivoissa niiden korkean hyötysuhteen ja yksinkertaisen rakenteen vuoksi.
- Apumoottorit: Dieselmoottoreita käytetään apumoottoreina, jotka tuottavat sähköä laivan järjestelmille ja laitteille.
- Hybridijärjestelmät: Dieselmoottorit voivat toimia yhdessä sähkömoottorien kanssa, mikä parantaa energiatehokkuutta ja vähentää päästöjä.

Dieselmoottoreissa käytettävät polttoaineet merenkulussa voidaan jakaa perinteisiin ja vaihtoehtoisiin polttoaineisiin. Perinteisiä polttoaineita ovat:

- Raskas polttoöljy (HFO): Yleisin polttoaine suurissa laivoissa. Se on edullista, mutta sisältää paljon rikkiä ja muita epäpuhtauksia, jotka aiheuttavat merkittäviä päästöjä. Se on eräänlainen jäännösöljy, joka jää jäljelle raakaöljyn tislauksen ja pitkäketjuisten hiilivetyjen kemiallisen pilkkomisen (krakkauksen) jälkeen. HFO:ta käytetään pääasiassa suurissa merimoottoreissa sen puhtaampiin polttoaineisiin verrattuna alhaisen hinnan vuoksi.
- Kevyt polttoöljy (MGO): Puhdistetumpi versio raskaasta polttoöljystä, joka sisältää vähemmän rikkiä ja muita epäpuhtauksia. Sitä käytetään usein apumoottoreissa ja laivojen generaattoreissa. Se on suosittu valinta aluksilla, jotka toimivat alueilla, joilla on tiukemmat päästörajoitukset.
- Meridieselöljy (MDO): On sekoitus tisleitä ja jäännösöljyä. Se sisältää enemmän raskaampia jakeita ja rikkiä sekä muita epäpuhtauksia verrattuna MGO:hon, mikä johtaa korkeampiin päästöihin. Käytetään yleisesti keskinopeissa ja suurinopeuksimissa dieselmoottoreissa. Se ei vaadi esilämmitystä ennen käyttöä.

Edellä mainittujen ohella voidaan käyttää myös muita kevyitä polttoöljyjä (LFO) tai varsinaista dieselöljyä. Nämä koostuvat pääasiassa kevyemmistä hiilivetyjakeista ja sisältää vähemmän epäpuhtauksia. Meriliikenteessä vähiten päästöjä tuottava perinteinen dieselpolttoaine on MGO.<sup>26,27</sup>

Vaihtoehtoisten polttoaineiden kirjo on suuri. Niihin lukeutuu sekä fossiilisia polttoaineita, kuten nesteytetty maakaasu (LNG), että uusiutuvia hiilineutraaleja polttoaineita, kuten biodiesel. Näiden käyttö merenkulussa on yleistymässä päästöjen vähennys pyrkimysten vuoksi.

Dieselmoottori on toteutettavissa kaksipolttoainemoottorina, mikä on verrattain yleinen ratkaisu modernissa merenkulussa. Tyypillinen kaksipolttoaineratkaisu mahdollistaa nestemäisen ja kaasumaisen polttoaineen käytön tai kahden erilaisen nestemäisen polttoaineen käytön. Kaksipolttoaineratkaisuilla voidaan myös mahdollistaa perinteisen polttoaineen ja ilmastoneutraalin polttoaineen rinnankäyttö. Polttoaineita voidaan näissä ratkaisuissa usein käyttää myös yhtäaikaaisesti. Dieselmoottorit on mahdollista toteuttaa myös niin sanottuina monipolttoainemoottoreina, joissa on mahdollista käyttää useita erilaisia matalan oktaaniluvun polttoaineita. Monipolttoainedieselmoottoreita on suosittu sotilaskäytössä, mutta siviilikäytössä ne ovat olleet harvinaisia koska dieselpolttoaineet ovat käytännössä olleet aina halpoja ja helposti saatavilla.

<sup>26</sup> "What is MGO? – The Maritime Review", viitattu 19. tammikuuta 2025, <https://maritimereview.ph/what-is-mgo/>.

<sup>27</sup> Dmitry I. worked as an officer in the deck department on various types of vessels ym., "What Are MGO And MDO Fuels? Marine Fuels Explained!", 10. elokuuta 2022, <https://maritimepage.com/what-are-mgo-and-mdo-fuels-marine-fuels-explained/>.

Monipolttoinemoottori voi myös yhdistää dieselprosessissa käytettävän puristusytytyksen ja ottoprosessissa käytettävän kipinä sytytyksen jolloin tietyt polttoaineet sytytetään puristuksella ja jotkut kipinäällä. Ratkaisua on sovellettu esimerkiksi metanolin polttamiseen dieselmoottorissa.<sup>28,29</sup>

## 4.1 Biodiesel

Biodiesel on biomassoista jalostettu polttoaine, joka toimii vaihtoehtona fossiiliselle dieselille, ja jota voidaan käyttää olemassa olevissa dieselmoottoreissa ilman merkittäviä muutoksia. Rasvahappometyyliesteri (FAME) -pohjaiset biodieselit määritellään standardissa SFS-EN 14214:2013 + A2:2019.

Biodieselin palaminen tuottaa vähemmän hiilimonoksidia, hiukkaspäästöjä ja palamattomia hiilivetyjä sekä vähemmän rikkidioksidia (SO<sub>x</sub>). Kuitenkin biodiesel voi tuottaa enemmän typen oksideja (NO<sub>x</sub>) verrattuna perinteiseen dieseliin<sup>30</sup>. Biodieselillä on hieman alhaisempi lämpöarvo kuin perinteisellä dieselillä, mikä voi johtaa heikentyneeseen polttoainetehokkuuteen ja tehoon<sup>31</sup>.

Biodieselillä on korkeampi jäähdepiste kuin perinteisellä dieselipolttaineella, mikä voi aiheuttaa ongelmia kylmissä oloissa<sup>32</sup>. Vaikka biodieseliä voidaan käyttää olemassa olevissa moottoreissa, sen tuotanto-, jakelu- ja varastointi-infrastruktuuri on vielä kehittymässä<sup>33</sup>.

Biodieselin käyttö laivassa ei edellytä uutta tekniikkaa tai suuria muutoksia. Sen alhaisempi lämpöarvo johtaa suurempaan polttoaineenkulutukseen, mutta ero ei ole niin merkittävä, että sillä olisi vaikutusta esimerkiksi polttoainesäiliöiden kokoon. Biodiesel käyttöinen alus on luokitettavissa ilman erityisjärjestelyjä.

## 4.2 Metaanipolttaineikaasut

Metaanipohjaisia hiilineutraaleja polttoaineikaasuja ovat bio- ja eMetaani. Biometaani tuotetaan biomassasta anaerobisen mädätyksen avulla ja puhdistetaan biometaaniksi, joka soveltuu moottoripolttoaineeksi. E-metaani puolestaan tuotetaan yhdistämällä uusiutuvalla sähköllä tuotettua vetyä ja ilmasta tai erilaisista prosesseista talteen otettua hiilidioksidia.

Biokaasun polttaminen tuottaa vähemmän hiilidioksidia ja muita kasvihuonekaasuja verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin. Lisäksi biokaasun käyttö vähentää metaanipäästöjä, koska metaani, joka muuten vapautuisi ilmakehään, kerätään ja hyödynnetään energiantuotannossa. Biokaasulla on kuitenkin alhaisempi lämpöarvo verrattuna perinteiseen dieseliin, mikä voi johtaa heikompaan polttoainetehokkuuteen.<sup>34,35</sup>

Biokaasun tuotantokustannukset voivat olla korkeammat verrattuna perinteisiin polttoaineisiin, mutta olemassa olevaa CNG- ja LNG-infrastruktuuria (Compressed Natural Gas, paineistettu metaani ja Liquefied Natural Gas, nesteytetty metaani) voidaan osittain hyödyntää. Biokaasun laajamittainen käyttöönotto vaatii merkittäviä investointeja tuotannon teknologiaan ja infrastruktuuriin, mikä voi olla

---

<sup>28</sup> ”Marine Dual Fuel Engines - Wärtsilä”, Wartsila.com, viitattu 19. tammikuuta 2025, <https://www.wartsila.com/marine/products/engines-and-generating-sets/dual-fuel-engines>.

<sup>29</sup> O. Grone, ”THE MULTI-FUEL DIESEL ENGINE”, *Institute of Marine Engineers Transactions* 102, nro Part 2 (1990), <https://trid.trb.org/View/407527>.

<sup>30</sup> R. McCormick, ”Effects of Biodiesel on NO<sub>x</sub> Emissions”, 1. kesäkuuta 2005, <https://doi.org/10.2172/15016824>.

<sup>31</sup> ”Biodiesel Vs. Diesel: A Comparative Analysis -”, viitattu 18. tammikuuta 2025, <https://biofleet.net/biodiesel-vs-diesel-a-comparative-analysis/>.

<sup>32</sup> M. A. Hazrat ym., ”A Mini Review on the Cold Flow Properties of Biodiesel and Its Blends”, *Frontiers in Energy Research* 8 (18. joulukuuta 2020), <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.598651>.

<sup>33</sup> Ivan Tasic ym., ”Storing, distribution and blending of biodiesel”, *AgricEngInt: CIGR Journal* 22, nro 2 (6. tammikuuta 2020): 105.

<sup>34</sup> Kadimpati Kishore Kumar ym., ”Sustainable biomethane production from waste biomass: challenges associated with process optimization in improving the yield”, *Environmental Science and Pollution Research*, 2. tammikuuta 2025, <https://doi.org/10.1007/s11356-024-35864-5>.

<sup>35</sup> Dominic Scholfield, ”Comparing the Benefits of Biomethane to Other Biofuels an Overview”, <https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/files/2013/11/9-Dominic-Scholfield-Comparing-the-Benefits-of-Biomethane-to-Other-Biofuels-an-Overview.pdf>.

haasteellista<sup>36</sup>. E-metaani vastaa polttoaineena biokaasupohjaista metaania, mutta sen tuotanto on energiaintensiivisempää.

Metaanikaasumoottorit ovat kaksipolttoainemoottoreita koska kaasu ei syty puristuksesta vaan vaatii pienen helpommin syttyvän polttoaineen esiruiskutuksen syttyäkseen.

Laivassa e- ja biometaanin käyttö polttoaineena vaatii vastaavat laitteistot kuin muidenkin metaanipohjaisten polttoainekaasujen (CNG ja LNG) käyttö. Suurin haaste on polttoainesäiliöiden koko ja monimutkaisuus verrattuna perinteisiin nestemäisiin dieselpolttoaineisiin. Paineistettu metaani varastoidaan kaasuna korkeassa paineessa, tyypillisesti noin 200–250 bar, korkeapaineisissa tankeissa. Sen energiatiheys on verrattain alhainen verrattuna perinteisiin nestemäisiin polttoaineisiin, mikä voi rajoittaa sen käyttöä pitkän matkan merenkulussa. Nesteytetty metaani varastoidaan erittäin alhaisissa lämpötiloissa, noin  $-162^{\circ}\text{C}$ :ssa, kryogeenisissä tankeissa, joten säiliöt ovat monimutkaisia ja käsittely hankalaa. Nesteytetyllä kaasulla saavutetaan kuitenkin korkea energiatiheys verrattuna paineistettuun kaasuun, mikä tekee siitä tehokkaamman pitkän matkan merenkulussa. Sekä nesteytetyn, että paineistetun metaanin käyttö polttoaineena ei aiheuta ongelmia aluksen luokittamisen suhteen.<sup>37,38</sup>

### 4.3 eDiesel

eDiesel tuotetaan hiilidioksidista, vedestä ja sähköstä uusiutuvia energialähteitä hyödyntävällä prosessilla. eDieseliä voidaan käyttää olemassa olevissa dieselmooottoreissa ilman muutoksia, mikä mahdollistaa saumattoman siirtymisen perinteisistä polttoaineista. eDieselin palaminen tuottaa vähemmän saasteita, kuten rikkidioksidia (SOx) ja hiukkasia, mikä parantaa ilmanlaatua<sup>39</sup>.

eDiesel voidaan varastoida ja kuljettaa olemassa olevaa infrastruktuuria käyttäen. eDieselin tuotanto on kuitenkin energiaintensiivistä ja tällä hetkellä kalliimpaa kuin perinteisten polttoaineiden tuotanto ja merkittäviä investointeja tarvitaan tuotannon laajentamiseen ja laajan saatavuuden varmistamiseen.<sup>40</sup>

eDieselin käyttö laivassa ei edellytä uutta tekniikkaa tai suuria muutoksia. Sen alhaisempi lämpöarvo johtaa suurempaan polttoainenkulutukseen, mutta ero ei ole niin merkittävä, että sillä olisi vaikutusta esimerkiksi polttoainesäiliöiden kokoon. eDiesel käyttöinen alus on luokitettavissa ilman erityisjärjestelyjä.

### 4.4 Ammoniakki

Ammoniakkia tuotetaan pääasiassa fossiilisista ja muista ei-uusiutuvista raaka-aineista. Hiilineutraaleja ammoniakkeja ovat eAmmoniakki, vihreä ja sininen ammoniakki sekä bioammoniakki, joka on vielä aikaisessa kehitysvaiheessa. eAmmoniakki sekä vihreä ja sininen ammoniakki tuotetaan ilmastonutraaleista raaka-aineista ja menetelmillä. Ammoniakki ei tuota hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>) palaessaan. Ammoniakilla on korkeampi tilavuusenergiatiheys verrattuna vetyyn, ja sillä on olemassa oleva globaali infrastruktuuri tuotantoa, varastointia ja kuljetusta varten<sup>41</sup>.

<sup>36</sup> Filipe M. Quintino, Nuno Nascimento, ja Edgar C. Fernandes, "Aspects of Hydrogen and Biomethane Introduction in Natural Gas Infrastructure and Equipment", *Hydrogen* 2, nro 3 (2021): 301–18, <https://doi.org/10.3390/hydrogen2030016>.

<sup>37</sup> Bikram Singh, "Liquified Natural Gas (LNG) as Fuel for The Shipping Industry", *Marine Insight*, 8. helmikuuta 2019, <https://www.marineinsight.com/green-shipping/liquified-natural-gas-lng-as-fuel-for-the-shipping-industry/>.

<sup>38</sup> "CNG vs. LPG vs. LNG Fuel: Understanding the Differences | UTI", UTI Corporate, viitattu 19. tammikuuta 2025, <https://www.uti.edu/blog/diesel/cng-lpg-lng-fuel>.

<sup>39</sup> Nesrine Souissi, "E-diesel: Production process and implementation challenges", *E-diesel in the shipping sector*: (Oxford Institute for Energy Studies, 2024), <https://www.jstor.org/stable/resrep58213.6>.

<sup>40</sup> Nesrine Souissi, *E-Diesel in the Shipping Sector: Prospects and Challenges*, OIES Paper 30 (Oxford: The Oxford Institute for Energy Studies, 2024).

<sup>41</sup> Nesrine Souissi, "Fueling the future: A techno-economic evaluation of e-ammonia production for marine applications" (The Oxford Institute for Energy Studies, 10. tammikuuta 2024), <https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2024/10/ET40-Fuelling-the-future-final.pdf>.



Ammoniakilla on kuitenkin alhaisempi liekin nopeus ja palamistehokkuus verrattuna perinteiseen dieseliin, mikä vaikuttaa moottorin suorituskykyyn. Lisäksi ammoniakkin polttaminen voi tuottaa typen oksideja (NO<sub>x</sub>)<sup>42</sup>. Vihreän ammoniakkin, eli uusiutuvalla energialla tuotetun ammoniakkin, tuotanto on tällä hetkellä energiaintensiivistä ja kallista<sup>43</sup>.

Vaikean syttymisen ja hitaan palonopeuden vuoksi suurin ammoniakki dieseleistä käyttää kaksipolttoainejärjestelmää, missä ammoniakkia käytetään yhdessä helpommin syttävän polttoaineen, kuten dieselin tai vedyn, kanssa.

Ammoniakki laivojen polttoaineena ei vielä ole teknisesti täysin valmis ratkaisu ja siihen liittyy paljon alusten luokitukseen liittyviä kysymyksiä. Ammoniakki varastointi laivassa on monimutkaista. Se varastoidaan kryogeeniset säiliöihin nestemäisessä muodossa ja säiliöissä on kaksiseinäinen rakenteen vuotojen ehkäisemiseksi. Ammoniakki on myös hyvin syövyttävää mikä aiheuttaa omat hankaluutensa varastointiin. Ammoniakin myrkyllisyyden vuoksi sen käyttö edellyttää erityiset turvajärjestelmät sisältäen kaasunilmaisimet ja ilmanvaihtojärjestelmät.<sup>44,45,46</sup>

## 4.5 Dimetyylieetteri

Dimetyylieetteri (DME) on synteettinen polttoaine, joka valmistetaan pääasiassa metaanista tai kivihiilestä, mutta sitä voidaan tuottaa myös biometanolista<sup>47</sup>. DME:llä on erittäin korkea setaaniluku, mikä tarkoittaa, että se syttyy helposti puristus- ja sytytysmoottoreissa, kuten dieselmoottoreissa. DME:n palaminen tuottaa käytännössä ei lainkaan hiukkaspäästöjä (PM) ja vähentää merkittävästi typen oksidien (NO<sub>x</sub>) päästöjä, mikä voi poistaa kalliiden dieselhiukkasuodattimien tarpeen. Lisäksi DME on rikitön, mikä auttaa vähentämään rikkidioksidipäästöjä (SO<sub>x</sub>)<sup>48</sup>.

DME soveltuu dieselmoottorin polttoaineeksi erittäin hyvin ja sen käyttöön liittyvät tekniset haasteet ovat verrattain pieniä. DME dieselmoottoreiden ensimmäiset kaupalliset sovellukset kuorma-autoissa lanseerattiin jo lähes kymmenen vuotta sitten.<sup>49</sup>

DME:n energiatiheys on noin puolet dieselin energiatiheydestä, mikä vaikuttaa polttoaineen kulutukseen<sup>50</sup>. Nykyinen infrastruktuuri DME:lle on rajallinen, ja merkittäviä investointeja tarvitaan varastointi-, jakelu- ja tankkausjärjestelmien kehittämiseksi<sup>51</sup>.

Laivassa DME vaatii paineistetut varastosäiliöt, jotka ovat samanlaisia kuin LPG:lle käytetyt. Säiliöiltä edellytetään myös kaksiseinäistä rakennetta. Vaikka DME:tä pidetään verrattain vähän myrkyllisenä sen käyttö edellyttää kaasunilmaisimia ja ilmanvaihtojärjestelmiä sen palo- ja

<sup>42</sup> Bill Leighty, "Comparing Fuels For Energy Transmission, Storage, and Integration", ei pvm.

<sup>43</sup> Sun Ruitao, Li Jie, ja Sun Li, "Economic Estimation of a Green Ammonia Production System from Off Gas", *Chemical Engineering Transactions* 114 (joulukuuta 2024): 253–58, <https://doi.org/10.3303/CET24114043>.

<sup>44</sup> American Bureau of Shipping, "Requirements for Ammonia Fueled Vessels", 9. tammikuuta 2023.

<sup>45</sup> "Part A. General Requirements for Ships Using Ammonia as Fuel", topic, viitattu 19. tammikuuta 2025, <https://www.imorules.com/GUID-F82C6FF5-12A5-4232-9C5C-CC19E055B05C.html>.

<sup>46</sup> "Ammonia as Marine Fuel? It Is Easier If You Do It Smart", Wartsila.com, viitattu 19. tammikuuta 2025, <https://www.wartsila.com/insights/article/ammonia-fuel-for-thought-in-our-deep-dive>.

<sup>47</sup> Vincent Dieterich ym., "Power-to-Liquid via Synthesis of Methanol, DME or Fischer-Tropsch-Fuels: A Review", *Energy & Environmental Science* 13, nro 10 (2020): 3207–52, <https://doi.org/10.1039/D0EE01187H>.

<sup>48</sup> Inmo Youn ja Joonho Jeon, "Combustion Performance and Low NO<sub>x</sub> Emissions of a Dimethyl Ether Compression-Ignition Engine at High Injection Pressure and High Exhaust Gas Recirculation Rate", *Energies* 15, nro 5 (2022), <https://doi.org/10.3390/en15051912>.

<sup>49</sup> "Volvo Trucks to Commercialize DME-Powered Vehicles for North America", viitattu 25. tammikuuta 2025, <https://www.volvogroup.com/en/news-and-media/news/2013/jun/news-143286.html>.

<sup>50</sup> Patrycja Makoš ym., "Dimethyl Ether (DME) as Potential Environmental Friendly Fuel", toim. M.A. Sayegh ym., *E3S Web of Conferences* 116 (2019): 00048, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911600048>.

<sup>51</sup> Ayush Tripathi ja Avinash Kumar Agarwal, "DME as a Green Fuel for Transport Sector", teoksessa *Renewable Fuels for Sustainable Mobility*, toim. Pravesh Chandra Shukla ym. (Singapore: Springer Nature, 2023), 35–77, [https://doi.org/10.1007/978-981-99-1392-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-99-1392-3_3).

räjähdyksvaarallisuuden vuoksi. DME:tä polttoaineena käyttävän aluksen luokitukseen liittyy paljon avoimia kysymyksiä.<sup>52</sup>

## 4.6 Vety

Vedyn tuotantoprosessista ja alkuperästä riippuen siitä käytetään keskustelussa eri värikoodeja.

- Vihreällä vedyllä tarkoitetaan vetyä, joka on tehty elektrolyysin avulla uusiutuvalla energiasta. Elektrolyysissä vesi jaetaan vedyksi ja hapeksi.
- Sinisellä vedyllä tarkoitetaan vetyä, jotka on tehty maakaasusta ja prosessissa vapautuva hiilidioksidi on otettu talteen, eikä se vapaudu ilmakehään.
- Harmaa vety tarkoittaa vetyä, joka on tuotettu maakaasusta, mutta hiilidioksidia ei ole otettu talteen, joten se tuottaa hiilidioksidipäästöjä.
- Mustaa tai ruskeaa vetyä syntyy, kun käytetään mustaa tai ruskohiiltä vedyn tuottamiseen. Tällöin se tuottaa hiilidioksidipäästöjä jopa enemmän kuin hiilen käyttö, sillä osa energiasta häviää prosessissa.
- Vaaleanpunainen vety tuotetaan prosessissa, jossa käytetään ydinenergialla tuotettua sähköä. Tätä kutsutaan joskus myös punaiseksi tai purppuranpunaiseksi vedyksi.
- Turkoosi vety syntyy metaanin pyrolyysissä, jolloin syntyvä hiili otetaan talteen.
- Keltaisella vedyllä tarkoitetaan aurinkoenergian avulla tuotettua vetyä.
- Valkoinen vety tarkoittaa vetyä, joka löytyy suoraan maaperästä. Tätä ei käytännössä hyödynnetä.

Harmaata vetyä tuotetaan eniten<sup>53</sup>.

Vedyn palaminen tuottaa vain vesihöyryä. Vedyn lämpöarvo on yli kaksinkertainen dieseliin nähden. Vedyn käyttö polttoaineena vähentää haitallisten saasteiden, kuten rikkidioksidin (SO<sub>x</sub>) ja hiukkasten, päästöjä<sup>54,55</sup>.

Vedyn tuotanto, erityisesti vihreän vedyn tuotanto, on kallista ja energiaintensiivistä. Vedyn lämpöarvo tilavuusyksikköä kohti on alhainen, mikä vaatii korkeapaineisia säiliöitä tai kryogeenisiä lämpötiloja varastointiin ja kuljetukseen. Vedyn tuotanto-, varastointi- ja tankkausinfrastruktuuria kehitetään voimakkaasti. Se vaatii merkittäviä investointeja, mutta kehitykselle on voimakas yhteiskunnan tuki Euroopassa.<sup>56,57,58</sup>

<sup>52</sup> "Emission Control Using Dimethyl Ether in Marine Applications", AZoCleantech, 18. huhtikuuta 2018, <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=714>.

<sup>53</sup> Atul Singla, "Comprehensive Review of Hydrogen Production Methods, Purification, and Carbon Capture", *EPCLand* (blog), 17. syyskuuta 2024, <https://epcland.com/hydrogen-production-methods/>.

<sup>54</sup> "Alternative Fuels Data Center: Fuel Properties Comparison", viitattu 18. tammikuuta 2025, <https://afdc.energy.gov/fuels/properties?fuels=GS,HY>.

<sup>55</sup> Kinga Skobiej, "A Review of Hydrogen Combustion and Its Impact on Engine Performance and Emissions", *Combustion Engines*, 19. marraskuuta 2024, <https://doi.org/10.19206/CE-195470>.

<sup>56</sup> "Hydrogen", viitattu 25. tammikuuta 2025, [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen_en).

<sup>57</sup> Miao Yang ym., "A review of hydrogen storage and transport technologies", *Clean Energy* 7, nro 1 (1. helmikuuta 2023): 190–216, <https://doi.org/10.1093/ce/zkad021>.

<sup>58</sup> Florian Frieden ja Jens Leker, "Future Costs of Hydrogen: A Quantitative Review", *Sustainable Energy & Fuels* 8, nro 9 (2024): 1806–22, <https://doi.org/10.1039/D4SE00137K>.

Vetyä voidaan käyttää dieselmootoreissa joko pelkästään tai kaksipolttaineratkaisun yhteydessä dieselpolttaineen rinnalla. Vetyä moottorit ovat osin jo kaupallista teknologiaa.<sup>59,60,61,62</sup>

Laivan polttoaineena vedyn haasteet liittyvät varastointi ja käsittely. Vety vaatii korkeapaineisia säiliöitä tai kryogeenistä varastointia, mikä on monimutkaista ja kallista. Vety on myös erittäin pienimolekyylinen kaasu, mikä tekee vuotojen ehkäisystä erityisen vaikeaa. Vetyyn liittyy turvallisuuskysymyksiä, koska se on erittäin helposti syttyvää ja vaatii tiukkoja turvatoimia vuotojen ja räjähdysten estämiseksi. Muiden kaasumaisten polttoaineiden tavoin se käyttö edellyttää turvajärjestelmiä sisältäen kaasunilmaisimet ja ilmanvaihto- ja palontorjuntajärjestelmät. Vetyyn liittyy materiaalitekniisiä ongelmia vetyhauraussilmien vuoksi. Vetykäyttöisiin aluksiin ei liity merkittäviä ongelmia luokituksen suhteen.<sup>63,64,65,66</sup>

## 4.7 Metanoli

Vihreää metanolia tuotetaan biomassasta lämpökemiallisesti, kun taas eMetanolia valmistetaan hiilidioksidista ja uusiutuvalla energialla tuotetusta vedystä.<sup>67,68</sup>

Metanoli palaa puhtaammin kuin diesel, tuottaen vähemmän haitallisia päästöjä, kuten hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>), typen oksideja (NO<sub>x</sub>) ja hiukkasia (PM). Metanolilla on korkea oktaaniluku ja matala setaaniluku, mikä tarkoittaa, että sen puristusytitys on vaikeaa. Metanolilla on alhaisempi lämpöarvo verrattuna perinteisiin dieselpolttaineisiin<sup>69</sup>.

Metanolia voidaan käyttää dieselmootorissa kolmella tavalla. Se voidaan sekoittaa dieselpolttaineeseen, jolloin polttoaineseoksella saavutetaan pienemmät päästöt. Kaksipolttainemootorissa metanolia voidaan käyttää yhdessä dieselin kanssa siten että osa ruiskutusannoksesta on dieselpolttainetta ja osa metanolia. Tämä tarjoaa myös päästöjen pienentymisen. Varsinaiset metanolidieselit ovat myös tavallaan kaksipolttainemootoreita, niissä tehdään dieselpolttaineella esiruiskutus ennen metanolin ruiskutusta, jotta varmistetaan ruiskutusannoksen varma ja täydellinen syttyminen.<sup>70</sup>

<sup>59</sup> "Hydrogen | Building a Greener Future | JCB.Com", viitattu 25. tammikuuta 2025, <https://www.jcb.com/en-gb/campaigns/hydrogen>.

<sup>60</sup> "Yamaha Develops Hydrogen Fuel System - Yamaha Outboards", Yamaha Motor Corporation, viitattu 25. tammikuuta 2025, <https://yamahaoutboards.com/newsroom/company-news/yamaha-develops-hydrogen-fuel-system-with-roush-and-regulator-marine-hydrogen-outboard-unveiled-at>.

<sup>61</sup> "Volvo to Launch Hydrogen-Powered Trucks", viitattu 25. tammikuuta 2025, <https://www.volvotrucks.com/en-en/news-stories/press-releases/2024/may/Volvo-to-launch-hydrogen-powered-trucks.html>.

<sup>62</sup> "MAN's Marine Dual Fuel H2 Engine", *MAN Rollo* (blog), viitattu 25. tammikuuta 2025, <https://manrollo.com/producten/motoren/dual-fuel-motor/>.

<sup>63</sup> Heather Ervin, "Powering Ships with Hydrogen: The Myths and Misconceptions Explained", *Marine Log*, 23. heinäkuuta 2021, <https://www.marinelog.com/passenger/powering-ships-with-hydrogen-the-myths-and-misconceptions-explained/>.

<sup>64</sup> "Five Lessons to Learn on Hydrogen as Ship Fuel", viitattu 19. tammikuuta 2025, <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/Five-lessons-to-learn-on-hydrogen-as-ship-fuel/>.

<sup>65</sup> "Vedyn käsittelyn ja varastoinnin turvallisuus", Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes), viitattu 19. tammikuuta 2025, <https://tukes.fi/vedyn-kasittelyn-ja-varastoinnin-turvallisuus>.

<sup>66</sup> "LR Issues World's First Rules for Hydrogen Fuel | LR", viitattu 19. tammikuuta 2025, <https://www.lr.org/en/knowledge/horizons/june-2023/lr-issues-worlds-first-rules-for-hydrogen-fuel/>.

<sup>67</sup> Ephraim Bonah Agyekum, Paul C. Okonkwo, ja Farhan Lafta Rashid, "Research on Biomass Energy and CO<sub>2</sub> Conversion to Methanol: A Combination of Conventional and Bibliometric Review Analysis", *Carbon Research* 4, nro 1 (8. tammikuuta 2025): 4, <https://doi.org/10.1007/s44246-024-00179-0>.

<sup>68</sup> Dejan Krstić, "Carried out for the Purpose of Obtaining an Academic Degree Graduate Engineer under the Supervision of Associate Professor Dipl.-Ing. Dr. Amela Ajanovic and Dipl. Ing. Frank Radosits (Institute for Energy Systems and Electrical Drives) Submitted to the Technical University of Vienna", ei pvm.

<sup>69</sup> Zhongcheng Wang, Zhu Jie, ja Xiaoyu Liu, "Combustion and Emission Characteristics of Methanol–Diesel Dual Fuel Engine at Different Altitudes", *Journal of Marine Science and Engineering* 12, nro 12 (2024), <https://doi.org/10.3390/jmse12122210>.

<sup>70</sup> Jörg Schröder ym., "Methanol as Motor Fuel Summary Report", A Report from the Advanced Motor Fuels Technology Collaboration, Annex 56 (ei pvm.).

Metanolin tankkausinfrastruktuuri on rajallinen, ja merkittäviä investointeja tarvitaan varastointi-, jakelu- ja tankkausjärjestelmien kehittämiseksi<sup>71</sup>.

Laivan polttoaineena metanolin haasteet liittyvät sen syövyttävyyteen joillekin polttoainejärjestelmissä käytetyille materiaaleille, ja se on hygroskooppisuuteen, mikä voi johtaa varastointiongelmiin. Metanolikäyttöisen aluksen luokitus on mahdollista ilman erityisjärjestelyitä.<sup>72,73,74</sup>

---

<sup>71</sup> Richard L. Bechtold, Marc B. Goodman, ja Thomas A. Timbario, "Use of Methanol as a Transportation Fuel" (The Methanol Institute, 11. tammikuuta 2007), <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2016/06/Methanol-Use-in-Transportation.pdf>.

<sup>72</sup> "The State of Methanol as Marine Fuel 2023", Sustainable Ships, viitattu 19. tammikuuta 2025, <https://www.sustainable-ships.org/stories/2023/methanol-marine-fuel>.

<sup>73</sup> "Methanol as Fuel Heads for the Mainstream in Shipping", viitattu 19. tammikuuta 2025, <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/Methanol-as-fuel-heads-for-the-mainstream-in-shipping/>.

<sup>74</sup> Subhodeep Ghosh, "What Are Methanol Ships?", Marine Insight, 12. joulukuuta 2024, <https://www.marineinsight.com/green-shipping/what-are-methanol-ships/>.

## 5 OTTOMOOTTORIEN VAIHTOEHTOISET POLTTOAINEET

Ottomoottori on kipinä polttoaine-ilma-seoksen sytyttämiseksi käytävä polttomoottori, jonka päätyypit ovat 2- ja 4-tahtiset ottomoottorit. Tyypillisesti ottomoottoreita kutsutaan yleisesti bensiinimoottoreiksi, koska suurin osa ottomoottoreista käyttää polttoaineena bensiiniä. Vesiliikenteessä tyypillisesti ottomoottoreita käytetään pienemmissä aluksissa, soutuveneiden perämoottoreista pienekköihin matkustaja-aluksiin.

Riippumatta ottomoottorin tarkemmasta tyyppistä, yleisimmin niitä käytetään bensiinin ja etanolin seoksella, kuten 98E5 polttoaineella, jossa nimensä mukaisesti on 5% etanolia. Etanolin lisäksi ottomoottorissa voidaan käyttää muita nestemäisiä polttoaineita, kuten metanolia ja synteettisiä polttoaineita joille pidetään yleisnimityksenä termiä eFuel. Lisäksi vety ja muut palavat kaasut ovat mahdollisia, nestekaasun (LPG, liquified petroleum gas) ollessa yleisemmin käytetty trukeissa ja muissa työkoneissa, joilla välillä liikutaan myös sisätiloissa. Paineistettu maakaasu (CNG, compressed natural gas) on LPG:tä yleisemmin käytetty polttoaine maantieliikenteessä Suomessa, alhaisemman hintansa ja paremman saatavuuden vuoksi. Ottomoottoria voidaan myös käyttää monipolttoainemoottorina, kuten neste- ja kaasumuotoisella polttoaineella tai erilaisilla yhteensopivilla nestemäisillä polttoaineilla ja kaasulla.<sup>75</sup>

### 5.1 Metanoli

Metanoli, eli metyylialkoholi, on perinteisesti valmistettu maakaasusta valmistetusta vedystä synteessin avulla, jolloin näin valmistettua metanolia täytyy pitää fossiilisena polttoaineena. Vihreää metanolia tuotetaan biomassasta lämpökemiallisesti, kun taas eMetanolia valmistetaan hiilidioksidista ja uusiutuvalla energialla tuotetusta vedystä<sup>76,77,78</sup>.

Metanoli palaa puhtaammin kuin bensiini, tuottaen vähemmän haitallisia päästöjä, kuten hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>), palamattomia hiilivetyjä (HC) ja hiilimonoksidia (CO). Metanolilla on korkea oktaaniluku ja matala setaaniluku, mikä ottomoottorissa mahdollistaa korkeamman puristussuhteen, joka puolestaan mahdollistaa paremman hyötysuhteen. Bensiinille tarkoitettu moottori muutettuna metanolille omaa huomattavasti paremman hyötysuhteen, kun korkeampioktaaniselle metanolille suunniteltu moottori. Metanolilla on melko tarkasti puolet alhaisempi lämpöarvo verrattuna perinteiseen bensiiniin, joten toimintasäde noin puolittuu tai tankkien koko noin tuplaantuu.<sup>79</sup>

Metanolin tankkausinfrastruktuuri on rajallinen, ja merkittäviä investointeja tarvitaan varastointi-, jakelu- ja tankkausjärjestelmien kehittämiseksi<sup>80</sup>.

Laivan polttoaineena metanolin haasteet liittyvät sen syövyttävyyteen, mikä asettaa haasteita joillekin polttoainejärjestelmissä käytetyille materiaaleille. Metanoli on myös hygroskooppinen aine, mikä voi

<sup>75</sup> Esko Mauno, *Virittäjän käsikirja / nelitahtimoottorit*, 2. p., vsk. 1990 (Helsinki: Alfamer, ei pvm.).

<sup>76</sup> Agyekum, Okonkwo, ja Rashid, "Research on Biomass Energy and CO2 Conversion to Methanol".

<sup>77</sup> Krstić, "Carried out for the Purpose of Obtaining an Academic Degree Graduate Engineer under the Supervision of Associate Professor Dipl.-Ing. Dr. Amela Ajanovic and Dipl. Ing. Frank Radosits (Institute for Energy Systems and Electrical Drives) Submitted to the Technical University of Vienna".

<sup>78</sup> Carlo Pirola, Giulia Bozzano, ja Flavio Maneti, *Fossil or Renewable Sources for Methanol Production?*, 2018.

<sup>79</sup> Wang, Jie, ja Liu, "Combustion and Emission Characteristics of Methanol–Diesel Dual Fuel Engine at Different Altitudes".

<sup>80</sup> Bechtold, Goodman, ja Timbario, "Use of Methanol as a Transportation Fuel".

johtaa varastointiongelmiin veden kerääntymisen seurauksena. Metanolikäyttöisen aluksen luokitus on mahdollista ilman erityisjärjestelyitä.<sup>81,82,83 84</sup>

## 5.2 Etanoli

Etanoli on tyypillisimmin ajoneuvokäytössä käytetty bensiinin korvaava vaihtoehtoinen polttoaine, jota nykyiselläänkin sekoitetaan ajoneuvoliikenteeseen myytävään moottoribensiiniin pieniä osuuksia. Ottomoottorissa etanolin käyttäminen aiheuttaa vähemmän hiilivety- ja hiilimonoksidi- eli häkäpäästöjä, mutta kylmänä etanolikäyttöinen moottori tuottaa haitallisia aldehydipäästöjä merkittävästi enemmän kuin bensiiniä käytettäessä. Lämpimän moottorin tapauksessa etanolia pidetään puhtaampana polttoaineena päästöjen näkökulmasta.

Etanolia voidaan valmistaa erilaisin menetelmin, joista selkeästi yleisin on käymismenetelmä, mutta etanolia voidaan valmistaa myös synteettisesti eteenistä. Eteeni on öljynjalostuksen sivutuote, joten synteettistä valmistusmenetelmää hyödyntäen tehty etanoli on fossiilinen polttoaine. Käymismenetelmällä etanolia voidaan tuottaa erilaisista sokeripitoisista aineista, kuten maissista, sokeriruokosta ja viljoista, mutta myös esimerkiksi biojätteistä, joita elintarviketeollisuudessa syntyy, jolloin jätteistä tuotettua etanolia voidaan pitää vihreänä polttoaineena. Viljeltyjen kasvien käyttö etanolin valmistuksessa herättää kuitenkin keskustelua menetelmän ympäristöystävällisyydestä, ja siksi ympäristölle parhaana tapana pidetään jätteistä valmistettua etanolia.

Käyttöominaisuuksien ja jakeluinfrastruktuurin osalta siirtyminen bensiinistä etanoliin jo olemassa olevissa ottomoottoreissa on melko yksinkertaista, sillä pääosa moottoripolttoaineista sisältää jo pieniä määriä etanolia ja valtaosa bensiiniä käyttävistä ajoneuvojen polttoainejärjestelmistä kestää sellaisenaan etanolin käytön. Noin 30 % bensiiniä pienemmän energiasisältönsä takia etanolin kulutus on suurempaa kuin bensiinin, ja tämä vaikuttaa toimintasäteeseen tai tarvittavien polttoainesäiliöiden kokoon.

Moottoritekniikan kannalta etanoli on helposti käyttöönotettavissa, sillä vaaditut muutokset ovat lähinnä moottorinohjauksessa. Etanolin korkeampi oktaaniluku mahdollistaa myös puristussuhteen noston, jolloin sillä voitaisiin saavuttaa pieni etu hyötysuhteessa verrattuna bensiinimoottoriin tai bensiinimoottorin puristussuhteella toimivaan etanolia käyttävään moottoriin.

## 5.3 eFuel

eFuel, samoin kuin aiemmin käsitelty eDiesel, tuotetaan hiilidioksidista, vedestä ja sähköstä uusiutuvia energialähteitä hyödyntävällä prosessilla. eFuelia voidaan käyttää olemassa olevissa ottomoottoreissa polttoainejärjestelmään rajoittuvien muutoksin, mikä mahdollistaa helpon siirtymisen perinteisistä polttoaineista. eFuelin palaminen tuottaa vähemmän saasteita, kuten palamattomia hiilivetyjä ja hiilimonoksidia, mikä parantaa ilmanlaatua.

eFuelia voidaan varastoida ja kuljettaa olemassa olevaa infrastruktuuria käyttäen. eFuelin tuotanto on kuitenkin energiaintensiivistä ja tällä hetkellä kalliimpaa kuin perinteisten polttoaineiden tuotanto ja merkittäviä investointeja tarvitaan tuotannon laajentamiseen ja laajan saatavuuden varmistamiseen.

eFuelin käyttö laivassa ei edellytä uutta tekniikkaa tai suuria muutoksia. Sen alhaisempi lämpöarvo johtaa suurempaan polttoaineenkulutukseen, mutta ero ei ole niin merkittävä, että sillä olisi vaikutusta esimerkiksi polttoainesäiliöiden kokoon. eFuel-käyttöinen alus on luokitettavissa ilman erityisjärjestelyjä.

---

<sup>81</sup> ”The State of Methanol as Marine Fuel 2023”.

<sup>82</sup> ”Methanol as Fuel Heads for the Mainstream in Shipping”.

<sup>83</sup> Ghosh, ”What Are Methanol Ships?”

<sup>84</sup> Anthony Foretich ym., ”Challenges and Opportunities for Alternative Fuels in the Maritime Sector” (Maritime transport research, ei pvm.), <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/78747.pdf>.

## 5.4 Metaanipohjaiset polttoainekaasut

Metaanipohjaisia hiilineutraaleja polttoainekaasuja ovat bio- ja eMetaani. Biometaani tuotetaan biomassasta anaerobisen mädätyksen avulla ja puhdistetaan biometaaniksi, joka soveltuu moottoripolttoaineeksi. E-metaani puolestaan tuotetaan yhdistämällä uusiutuvalla sähköllä tuotettua vetyä ja ilmasta tai erilaisista prosesseista talteen otettua hiilidioksidia.

Biokaasun polttaminen tuottaa vähemmän hiilidioksidia ja muita kasvihuonekaasuja verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin. Lisäksi biokaasun käyttö vähentää metaanipäästöjä, koska metaani, joka muuten vapautuisi ilmakehään, kerätään ja hyödynnetään energiantuotannossa. Biokaasulla on kuitenkin alhaisempi lämpöarvo verrattuna perinteiseen bensiiniin, mikä voi johtaa heikompaan polttoainetehokkuuteen. Biokaasun varastointi ja jakelu vaativat erityisiä laitteita ja infrastruktuuria, mikä voi olla kallista ja monimutkaista<sup>85,86</sup>.

Veneessä e- ja biometaanin käyttö polttoaineena vaatii vastaavat laitteistot kuin muidenkin polttoainekaasujen käyttö (LPG ja CNG). Suurin haaste on polttoainesäiliöiden koko ja monimutkaisuus verrattuna perinteisiin nestemäisiin dieselpolttoaineisiin. Paineistettu metaani varastoidaan kaasuna korkeassa paineessa, tyypillisesti noin 200–250 bar, korkeapaineisissa tankeissa. Sen energiatiheys on verrattain alhainen verrattuna perinteisiin nestemäisiin polttoaineisiin, mikä voi rajoittaa sen käyttöä pitkän matkan merenkulussa.<sup>87</sup>

## 5.5 Vety

Vedystä polttoaineena on kirjoitettu luvussa 4.6. Samat asiat pätevät myös käytettäessä vetyä ottomoottorin polttoaineena.

---

<sup>85</sup> Kumar ym., "Sustainable biomethane production from waste biomass: challenges associated with process optimization in improving the yield".

<sup>86</sup> Scholfield, "Comparing the Benefits of Biomethane to Other Biofuels an Overview".

<sup>87</sup> "CNG vs. LPG vs. LNG Fuel".

## 6 SÄHKÖISET RATKAISUT

### 6.1 Polttokenno

Polttokennot edustavat energiantuotantoteknologiaa, joka muuntaa kemiallisen energian suoraan sähköenergiaksi puhtaiden, sähkökemiallisten reaktioiden avulla. Nämä järjestelmät, pienistä yksiköistä useiden megawattien laitoksiin, tarjoavat modulaarisia ratkaisuja meriolosuhteisiin.

Eri polttokennotyypit tarjoavat erilaisia ominaisuuksia. Protoninvaihtopolttokennot (PEM) toimivat 60–80°C lämpötilassa tarjoten nopean käynnistyksen ja korkean tehotehden, mutta vaativat puhdasta vetyä. Kiinteäoksidipolttokennot toimivat 600–1000°C lämpötilassa hyväksyen useita polttoaineita korkeammalla hyötysuhteella mutta hitaammalla käynnistykseällä. Korkealämpötila-PEM-kennot tarjoavat kompromissin toimien 120–180°C lämpötilassa ja suuremmalla polttoainejoustavuudella.<sup>88</sup>

Polttokennojen puolella on hyvä hyötysuhde. Jopa 40–60 % polttoaine-energiasta saadaan sähköksi, saavuttaen 85 % lämmön talteenotto mukaan luettuna. Hyötysuhde pysyy vakaana eri kuormitustasoilla, toisin kuin polttomoottoreissa. Polttoainevalinta vaikuttaa merkittävästi järjestelmän suorituskykyyn. Vety tarjoaa korkeimman energiatiheyden, mutta sen varastointiongelmat ja rajallinen saatavuus aiheuttavat haasteita. Ammoniakki tarjoaa paremman tilavuustehokkuuden mutta vaatii vedyn pilkkomista ja huolellista käsittelyä. Metaani, tarjoaa käytännöllisyyttä mahdollisesti hyödyntäen olemassa olevaa LNG/CNG-infrastruktuuria. Puhtaat vetyjärjestelmät vaativat huomattavasti tilaa, kun taas ammoniakki- ja metaanivaihtoehdot saattavat tarvita lisälaitteistoja polttoaineen esikäsittelyyn. Käytännössä kaasumuotoinen vety vaatii liian suuren tilavuuden suuremmissa aluksissa, kun tavoitteena on pitkät itsenäiset toimintajaksot.<sup>89</sup>

Polttokennoteknologia näyttää lupaavalta suomalaisten kalastusalusten hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä, erityisesti kustannusten laskiessa ja kylmäkäyttöominaisuuksien parantuessa. Vaikka puhtaat vetyjärjestelmät tarjoavat puhtaimman käytön, ammoniakki- ja metaanipohjaiset järjestelmät saattavat tarjota käytännöllisempiä ratkaisuja. Hybridilähestymistapa, joka yhdistää polttokennot akkusähköisiin järjestelmiin, tarjoaa tällä hetkellä käyttökelpoisimman polttokennoratkaisun kalastusaluksille. Vedyn käyttö on teknisesti yksinkertaisempaa verrattuna ammoniakkiin ja metaaniin vaikkakin varastointiin tarvittava tila on huomattava.

### 6.2 Hybridivoimalinjat

Voimalinjoista puhuttaessa yleisesti hybridi voi tarkoittaa hyvin monia erilaisia yhdistelmiä, mutta hybridien yleiset rakennetoteutukset voidaan jakaa sarjahybrideihin ja rinnakkaishybrideihin. Sarjahybridissä (sähkö)energianlähde ei kytkeydy suoraan toimilaitteeseen eli laivan potkuriin, vaan välissä on sähköinen voimansiirto ja jonkunlainen energiavarasto. Rinnakkaishybridissä energianlähde kytkeytyy suoraan potkuriin, mutta hybridijärjestelmä voi tehoa tarvittaessa lisätä tehoa potkurille, tai kevyen kuormituksen aikana ottaa tehoa potkuriakselilta ja varastoida sitä energiavarastoon.

Hybrideistä kiinnostavimpiin ratkaisuihin kuuluu polttokenno, joka voidaan yhdistää pieneen akku- ja superkondensaattoriyhdistelmään, jolla tasataan terävät kuormitusmuutokset ja polttokenno tuottaa tätä ”puskurivarastoa” hyödyntäen aluksen tarvitseman tehon. Polttokennon energianlähde voidaan valita kappaleen 6.1 mukaisesti useista vaihtoehdoista, tilan ja muiden rajoitteiden perusteella. Tällainen rakenne voidaan myös optimoida käytön mukaan joko siten, että polttokennon teho riittää jatkuvaan täyden tehon kuormitukseen, tai käytön ollessa jaksottaista se voidaan mitoittaa riittämään aluksen keskimääräiseen tehoon ja kuormituseroja tasataan isommalla akustolla.

<sup>88</sup> Álvaro Benet ym., ”Knowledge Gaps in Fuel Cell-Based Maritime Hybrid Power Plants and Alternative Fuels”, *Journal of Power Sources* 548 (2022): 232066–, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.232066>.

<sup>89</sup> Minnan Ye ym., ”System-Level Comparison of Ammonia, Compressed and Liquid Hydrogen as Fuels for Polymer Electrolyte Fuel Cell Powered Shipping”, *International Journal of Hydrogen Energy* 47, nro 13 (2022): 8565–84, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.12.164>.



Myöhempanä esiteltävät tuuli-, aurinko-, ja ydinvoimaratkaisut voitaisiin myös luokitella hybridivoimalinjoiksi, koska tuuli- ja aurinkosähköä tuottavat ratkaisut eivät teholtaan riitä yksin aluksen tehontuottoon, vaan vain vähentäisivät pääasiallisen energialähteen kuormitusta. Ydinvoima puolestaan tarvitsee tehopiikkien tasaukseen puskurivarastoa.

Hybridiratkaisuissa myös polttomoottorin ja siihen liitetyn generaattorin käyttö energialähteenä on mahdollinen ratkaisu, tämä sallisi pienen tehontarpeen aikana polttomoottorin sammuttamisen ja mahdollistaisi polttomoottorin käyttämisen pääosin sen optimi hyötysuhteen kuormalla, säästäten siten energiaa. Kuitenkin tällaisella järjestelmällä saadaan paras säästö syklittäisessä kuormituksessa, ja kalastusaluksien melko jatkuvassa suurella kuormituksella tapahtuvassa käytössä tällaisesta hybridiratkaisusta ei ole merkittävää etua.<sup>90</sup>

### 6.3 Akut

Akkuteknologia on kehittynyt merkittävästi viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana, ja markkinoita hallitsee muutamat akkutyypit, joista voidaan mainita kolme akkukemiala: litiumrautafosfaatti (LFP, LiFePo<sub>4</sub>), litium-nikkelimangaanikoboltti (NMC, Li-Ion) ja litiumtitanaatti (LTO). Nämä eivät ole ainoat vaihtoehdot, mutta ne ovat yleisiä suurissa asennuksissa.

Energiatiheydeltään NMC on tehokkain noin 190–260 Wh/kg, seuraavana LFP 90-160 Wh/kg, ja LTO 50-110 Wh/kg. Nämä luvut kertovat kuitenkin vain osan totuudesta. Todelliset haasteet merenkulun akkusovelluksissa johtuvat järjestelmätason vaatimuksista eivätkä akkukemiasta. Tarve tehokkaalle lämmönhallinnalle, kehittyneille akunhallintajärjestelmille ja merenkulkuvaatimukset täyttävälle turvallisuudelle johtaa siihen, että kokonaisten akkujärjestelmien energiatiheys on vain 25–30% kennotason energiatiheystä.<sup>91</sup>

Lisäksi merenkulun määräykset edellyttävät redundanssia, palontorjuntaa ja rakenteellista suojausta, jotka lisäävät merkittävästi painoa ja tilavuutta. Esimerkiksi 1 MWh:n merenkulkuun tarkoitettu akkujärjestelmä tarvitsee 20 kuutiometriä tilaa ja painaa 10 tonnia riippumatta valitusta kemiasta. Jäähdytysjärjestelmät, tehoelektronikka ja merenkulun sertifiointiin vaativat rakenteelliset vahvistukset muodostavat usein yli puolet järjestelmän kokonaispainosta ja -tilavuudesta. Tämä selittää, miksi meriteknikan akkujärjestelmien tilavuus- ja painoenergiatiheyksissä ei ole suuria eroja eri akkukemioiden välillä.

Tämä johtaa siihen, että kalastusaluksissa akkujärjestelmien ensisijainen rajoite ei ole valittu kemia, vaan merenkulkuvaatimukset täyttävien akkuasennusten perustavanlaatuiset tila- ja painovaatimukset, jotka tekevät riittävän toimintasäteen saavuttamisesta haastavaa, erityisesti suuremmissa aluksissa.

Pienempien, kuten rannikko- ja sisävesikalastusveneiden, tilanne on lupaavampi. Näissä aluksissa voidaan tehokkaasti hyödyntää sähköautoihin kehitettyjä akkuteknologioita, esimerkiksi autoihin tarkoitettuja litiumioni- ja litiumrautafosfaattiakkuja. Pienempien alusten matalammat tehontarpeet, lyhyemmät käyttöajat ja vähäisemmät sertifiointivaatimukset tekevät autojen akkujärjestelmistä käyttökelpoisia. Nämä järjestelmät saavuttavat tyypillisesti korkeampia käytännön energiatiheyskertoimia kuin suuremmat meriteknikan asennukset, koska ne vaativat vähemmän lisäjärjestelmiä. Kuitenkin näilläkin eduilla toimintasäteen rajoitukset ovat merkittävä tekijä, mikä tekee näistä järjestelmistä sopivimpia päiväkäyttöön, jossa lataus on mahdollista yön aikana.

<sup>90</sup> Gareth Burton, "Hybrid Power Systems Aboard Vessels", *The Maritime Executive*, toukokuuta 2022.

<sup>91</sup> Mohamed J. M. A. Rasul ja Jonghoon Kim, "Comprehensive review and comparison on battery technologies as electric-powered source in marine applications", *Journal of Energy Storage* 88 (30. toukokuuta 2024): 111509, <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.111509>.

## 7 TUULIVOIMA

### 7.1 Purje

Siipipurjeet edustavat tuulivoimatekniologiaa, joka soveltaa samoja periaatteita kuin lentokoneiden siivet merenkulun työntövoimaksi. Nämä järjestelmät käyttävät kiinteitä tai puolikiinteitä siipirakenteita tuulen hyödyntämiseksi propulsiovoimana. Johtavat järjestelmät, kuten FastRig ja OceanWings, esittelevät nykyaikaisia ratkaisuja, tuottaen työntövoimaa aerodynaamisten voimien avulla.<sup>92,93</sup>

Nykyaikaiset jäykkäpurjeet voivat sisältää sisään vedettäviä rakenteita, jotka vastaavat käytännön haasteisiin mahdollistaen alusten kulun siltojen alta ja satamissa. Niiden modulaarinen rakenne yksinkertaistaa asennusta, kun taas automatisoidut järjestelmät säätävät jatkuvasti purjetta tuulen hyödyntämisen optimoimiseksi. Tekniologia tuottaa työntövoimaa jopa 5 asteen kulmassa.

Valmistajien suorituskykyväitteet vaativat kuitenkin tarkastelua Suomen olosuhteissa. Markkinointimateriaalit viittaavat jopa 20 % polttoainesäästöihin, mutta nämä luvut vaikuttavat oletettavan 15 m/s tuulennopeuksia - huomattavasti korkeampia kuin Suomen rannikolla tyypillinen 8 m/s keskituuli. Markkinoidun suorituskyvyn saavuttamiseksi Suomen vesillä purjepinta-alaa pitäisi kasvattaa merkittävästi 363:sta 2500 neliömetriin, mikä on epäkäytännöllistä kalastusaluksille. 1 MW:n tehon tuottaminen vaatisi noin 11 000 neliometriä purjepinta-alaa.

Haasteet korostuvat erityisesti suomalaisessa kalastustoiminnassa. Alusten tilarajoitteet vaativat huolellista integrointia olemassa oleviin kansitoimintoihin, mikä on erityisen tärkeää troolareille, joissa varusteiden käsittely vaikuttaa suoraan tuottavuuteen. Vaikka nykyaikaiset, osittain sisään vedettävät järjestelmät tarjoavat toiminnallista joustavuutta, talviolosuhteet aiheuttavat merkittäviä haasteita. Jään kertyminen vaikuttaa sekä suorituskykyyn että aluksen vakauteen, vaatien huolellista suunnittelua ja sisäänvetolaitteiden luotettavaa toimintaa pakkasessa.

Taloudellisesti purjeen hyötyä kalastuksessa voidaan pitää vähäisenä. 363 neliömetrin purjearjestelmän alkuinvestointi on noin 800 000 euroa OceanWingsin markkinointimateriaalien perusteella. Heidän väittäämänsä kahden vuoden takaisinmaksuaika vaikuttaa optimistiselta huomioiden Suomen tuuliolosuhteet ja toiminnalliset realiteetit. Järjestelmän tehokkuus riippuu vahvasti tuulikuvioista ja aluksen käyttöprofiilista, vaatien huolellista sääolosuhteiden ja kalastuksen tuomien vaatimusten analysointia markkinointiennusteiden lisäksi.

Purjeeksi voidaan laskea myös leijapurje. Ne ovat kuitenkin käyttökelpoisia vain tuulen suunnan ollessa lähellä kulkusuuntaa. Käytännön sovellukset löytyvät yleensä pasaatituulten alueelta läheltä päiväntasaajaa.

### 7.2 Flettner-roottori

Flettner-roottorit eli roottoripurjeet ovat tuulityöntövoimatekniologiaa, joka hyödyntää Magnus-ilmiötä työntövoiman tuottamiseksi. Järjestelmät koostuvat suurista pyörivistä sylinterimäisistä pylväistä, jotka luovat paine-eroa tuulen kulkiessa niiden ohi, mikä voidaan ohjata eteenpäin työntäväksi voimaksi.<sup>94</sup>

92

”Smart Green Shipping”, Smart Green Shipping, 5. tammikuuta 2025, <https://smartgreenshipping.com/press-media>; ”OceanWings – Wind Assisted Propulsion Systems”, viitattu 20. tammikuuta 2025, <https://www.oceanwings.com/>.

93 ”Smart Green Shipping”; ”OceanWings – Wind Assisted Propulsion Systems”.

94 ”Flettner Rotor Concept for Marine Applications: A Systematic Study”, ei pvm., <https://doi.org/10.1155/2016/3458750>.

Järjestelmät ovat tyypillisesti 18–35 metriä korkeita ja halkaisijaltaan 2–5 metriä. Vaikka järjestelmä on skaalattavissa pienempiin aluksiin sopivaksi ja siten riittävän kompakti kalastusaluksiin, pienet asennukset ovat harvinaisia.<sup>95</sup>

Nämä järjestelmät auttavat säästämään polttoainetta, vähentäen päätyöntövoiman energiantarvetta 3–15 % suotuisissa olosuhteissa, riippuen tuulikuvioista ja reitinvalinnasta. Jopa korkeampia lukuja on raportoitu. Tehokkuus vaihtelee asennuksen ja käyttöolosuhteiden mukaan. Järjestelmät toimivat tehokkaasti monenlaisissa tuuliolosuhteissa, mutta suorituskyvyn optimointi vaatii tuulen suunnan ja voimakkuuden huomioimista reittisuunnittelussa.<sup>96,97</sup>

Tilankäyttö on kriittinen tekijä, vaikka modernien Flettner-roottorien muotoilu minimoi häiriöt kansitoiminnoille. Automatisoidut järjestelmät vaativat vähäistä miehistön tarvetta, mahdollistaen toiminnan jatkumisen vähäisellä lisätyömäärällä. Flettner-roottorien suhteellisen yksinkertainen mekaaninen rakenne edistää niiden toimintavarmuutta. Vaikka Flettner-roottorien muoto ja pyörimisliike auttavat minimoimaan jään kertymistä on se otettava huomioon suunnittelussa. Kansirakenteita on vahvistettava asianmukaisesti kiinnityspisteistä sekä roottorin aiheuttaman staattisen painon että dynaamisten voimien kestämiseksi.

### 7.3 Tuulisähkö

Tuulisähkö, eli sähköä tekevät tuuliturbiinit, on hyvin tunnettu ja paljon sovellettu teknologia. Yhden megawatin tehon tuottava, vaaka-akselinen, tuuliturbiini on halkaisijaltaan 60 metriä, keskituulennopeuden ollessa 8 m/s. Tämä on Suomalaiseen kalastusaluksen kokoon verrattuna kohtuuttoman suuri. Vastaavasti pystyakselinen, jonka kyky ottaa energiaa tuulesta on tyypillisesti pienempi, olisi sekä korkeudeltaan että halkaisijaltaan kymmeniä metrejä. Toisaalta tuulisähkön tuotanto skaalautuu hyvin ja sillä on mahdollista tuottaa tilan sallimissa rajoissa osa tarvittavasta energiasta.

---

<sup>95</sup> Tuomas Riski, "Flettner rotors - State of Technology and Potentials" (Norsepower Oy Ltd, 5. lokakuuta 2022), [https://rgo.dk/wp-content/uploads/3\\_Norsepower-Copenhagen-2022-05-10-Riski.pdf](https://rgo.dk/wp-content/uploads/3_Norsepower-Copenhagen-2022-05-10-Riski.pdf).

<sup>96</sup> Michael Traut ym., "Propulsive Power Contribution of a Kite and a Flettner Rotor on Selected Shipping Routes", *Applied Energy* 113 (2014): 362–72, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.07.026>.

<sup>97</sup> Wenlong Chen, Hanfeng Wang, ja Xiyang Liu, "Experimental investigation of the aerodynamic performance of Flettner rotors for marine applications", *Ocean Engineering* 281 (1. elokuuta 2023): 115006, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115006>.

## 8 MUUT ENERGIARATKAISUT

### 8.1 Aurinkovoima

Aurinkosähköjärjestelmät muuntavat auringonvalon sähköenergiaksi. Nämä järjestelmät koostuvat korroosionkestävistä kennoista ja kestävästä kehysrakenteista, jotka on suunniteltu kestämaan meriolosuhteita aluksen vakautta vaarantamatta. Paneeleissa on tehon optimointijärjestelmät energiantuotannon maksimoimiseksi vaihtelevissa valaistusolosuhteissa, ja ne voidaan asentaa sekä kiinteästi että joustavasti aluksen rakenteisiin.

Suomen meriolosuhteissa nämä järjestelmät kohtaavat suorituskykyyn liittyviä haasteita vuodenaikaisvaihtelun vuoksi. Vaikka nykyaikaiset paneelit voivat saavuttaa 20–25 % hyötysuhteen optimiolosuhteissa, todellinen energiantuotanto on Suomen leveysasteilla keskimäärin vain 110 W/m<sup>2</sup> vuodessa. Kesäajan tuotanto voi huipussaan ylittää 1000 W/m<sup>2</sup>, mutta talvikuukausina tuotanto on erittäin rajallista vähäisen päivänvalon ja haastavien sääolosuhteiden vuoksi.

Aurinkojärjestelmien asentaminen kalastusaluksille vaatii huolellista tilojen käytön ja toiminnallisten vaatimusten huomioimista. Paneelit on sijoitettava niin, etteivät ne häiritse kalastustoimintaa, ja varjostusta laitteista ja rakenteista on vältettävä. Vaikka aurinkojärjestelmien keveys on eduksi aluksen vakaudelle, suuremmat asennukset voivat vaikuttaa ilmanvastukseen ja vaativat säännöllistä ylläpitoa optimaalisen suorituskyvyn varmistamiseksi.

Lumen ja jään kertyminen voi pysäyttää energiantuotannon kokonaan. Tarvittaessa voidaan käyttää lisäjärjestelmiä lumen poistoon tai paneelien lämmitykseen. Matalalla paistava aurinko sekä pilvisuus heikentävät tuotantoa entisestään. Kylmä lämpötila tosin parantaa paneelien hyötysuhdetta niiden ollessa toiminnassa.

Taloudellisesti aurinko voiman alkukustannukset ovat maltilliset. Halvimmillaan 500€-1000€ alkuinvestoinnin huipputehon kilowattia kohti. Vaikka käyttökustannukset ovat minimaaliset ilmaisen aurinkoenergian ja vähäisen huoltotarpeen ansiosta, kausiluonteinen vaihtelu vaikuttaa merkittävästi järjestelmän taloudelliseen arvoon Suomen leveysasteilla. Välttämättömät akkujärjestelmät lisäävät huomattavasti kustannuksia, vaikka 20–25 vuoden käyttöikä tarjoaakin pitkäaikaista arvoa asteittaisesta hyötysuhteen heikkenemisestä huolimatta.

Näiden tekijöiden valossa aurinkosähköjärjestelmät soveltuvat parhaiten täydentäväksi energianlähteeksi osana suomalaisten kalastusalusten hybridiratkaisuja, ei pääasialliseksi energianlähteeksi. Tämä lähestymistapa mahdollistaa aurinkoenergian hyödyntämisen suotuisissa olosuhteissa samalla kun luotettava energiansaanti varmistetaan vaihtoehtoisilla järjestelmillä.

### 8.2 Ydinvoima

Pienydinreaktorit (SMR) edustavat skaalattua, joka tuottaa lämpöä ja mahdollisesti sähköä fissioreaktioilla, kompakteissa, tehdasvalmisteisissa yksiköissä. Nämä järjestelmät voivat tuottaa 5-300 MW tehoa, mikä tekee niistä huomattavasti pienempiä kuin perinteiset ydinlaitokset, säilyttäen silti suuren energiatihedden ja pitkät 3-7 vuoden toimintajaksot polttoainetäydennysten välillä.

Modernit SMR:t sisältävät passiivisia turvallisuusominaisuuksia ja integroituja komponentteja yhdessä reaktorissa, minimoiden tilantarpeen ja maksimoiden turvallisuuden. Niiden kompakti rakenne, joka maakäytössä vastaa 40 jalan merikonttia, tarjoaa jatkuvaa energiantuotantoa sääolosuhteista tai satamien polttoainesaatavuudesta riippumatta.

Sotilasaluksissa ja sukellusveneissä käytettävät ydinreaktorit eroavat merkittävästi SMR:istä. Sotilaskäytön reaktorit ovat erittäin erikoistuneita järjestelmiä, jotka käyttävät rikastettua uraania ja on optimoitu nopeisiin tehonmuutoksiin, äärimmäiseen luotettavuuteen ja häiveominaisuuksiin. Ne vaativat suuren, perusteellisesti koulutetun miehistön ja hyötyvät sotilaallisesta infrastruktuurista. SMR:t puolestaan pohjautuvat siviiliteknologiaan keskittyen kaupalliseen kannattavuuteen ja

yksinkertaistettuun toimintaan. Ne eivät ole yhtä kompakteja, vaativat useammin polttoaineen täydennystä (3–7 vuoden välein vs. yli 20 vuotta) ja tähtäävät yksinkertaisempaan operointiin pienemmällä miehistöllä.<sup>98</sup>

SMR:ien käyttöönotto suomalaisilla kalastusaluksilla asettaa kuitenkin merkittäviä haasteita. Suhteellisen kompaktista koosta huolimatta järjestelmät vaativat huomattavasti tilaa säteilysuojaukselle, turvajärjestelmille ja apulaitteille. Haastavat meriolosuhteet edellyttävät huolellista teknistä suunnittelua erityisesti jäähdytysjärjestelmien osalta, vaikkakin tasainen energiantuotanto olisikin eduksi ympärivuotisessa käytössä.

Taloudelliset vaikutukset ovat huomattavat: alkuinvestoinnit yltyvät tyypillisesti satoihin miljooniin euroihin asennusta kohden. Vaikka käyttökustannukset hyötyvät vähäisestä polttoainetarpeesta, koulutetun miehistön tarve, kattavat turvallisuusprotokollat ja jatkuva säännöstenmukaisuus lisäävät merkittävästi toimintakuluja.

Esimerkkinä suomalainen Steady Energy Oy kehittää 50 MW:n kaukolämpö-SMR:ää, LDR-50, joka toimii matalassa lämpötilassa (150C) ja matalassa paineessa (8 bar). Moduulin arvioitu 150–200 miljoonan euron hinta osoittaa SMR-teknologian vaatiman mittakaavan ja investointitarpeen jopa vähemmän vaativissa maasovelluksissa.<sup>99</sup>

Vaikka SMR:t vaikuttavat lupaavilta suuremmille merialuksille, niiden nykyinen kehitystaso tekee niistä epäkäytännöllisiä suomalaisille kalastusaluksille. Tyypillisen SMR:n tehon ja kalastusalusten tarpeiden välinen epäsuhta yhdistettynä monimutkaisiin säätelyvaatimuksiin ja korkeisiin kustannuksiin viittaa siihen, että vaihtoehtoiset energianlähteet ovat sopivampia. Tulevat teknologiset edistysaskeleet voisivat tehdä SMR:istä käyttökelpoisia kalastusaluksille, mutta nykytilanteessa niiden hyödyntäminen kalastusaluksilla ei ole realistista.

---

<sup>98</sup> Lloyd's Register Group Limited, "Fuel for thought: Nuclear report", 7. maaliskuuta 2024, <https://www.lr.org/en/knowledge/research-reports/2024/fuel-for-thought-nuclear/>.

<sup>99</sup> Kuopion energia, "15 kysymystä ja vastausta: Kuopion Energian ja Steady Energy Oy:n pienydinvoimalan esisuunnittelusopimus", 7. joulukuuta 2024, [https://www.kuopio.fi/uploads/2024/07/steady-energy\\_kuopion-energia\\_ukk.pdf](https://www.kuopio.fi/uploads/2024/07/steady-energy_kuopion-energia_ukk.pdf).

## 9 HIILIDIOKSIDIN TALTEENOTTOJÄRJESTELMÄT

Laivojen hiilidioksidin talteenottojärjestelmät (Onboard Carbon Capture Systems – OCCS) ovat lupaava ratkaisu vähentämään laivojen hiilidioksidipäästöjä. Nämä järjestelmät keräävät hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>) suoraan laivan pakokaasuista toiminnan aikana.

Hiilidioksidin talteenottojärjestelmät ottavat CO<sub>2</sub>:ta talteen laivan pakokaasuista pääasiassa kemiallisella tai fysikaalisella absorptiolla. Ensiksi CO<sub>2</sub> erotetaan pakokaasun muista kaasuista ja tämän jälkeen se nesteytetään helpompaa varastointia varten. Nesteytetty CO<sub>2</sub> varastoidaan laivalla säiliöihin, kunnes se voidaan purkaa satamassa, jossa on asianmukainen infrastruktuuri jatkokäsittelyä tai varastointia varten.

Hiilidioksidin talteenoton käyttö pienentää aluksen hiilijalanjälkeä, mikä on pienten päästövähennystarpeiden tapauksessa kustannustehokkaampaa verrattuna vaihtoehtoisin hiilineutraaleihin polttoaineisiin.

Talteenotossa on kuitenkin myös haasteita. Keräys- ja nesteytysprosessit vaativat energiaa, mikä voi lisätä laivan kokonaispolttoaineenkulutusta. Keräys-, erotus- ja varastointilaitteet vievät myös merkittävästi tilaa laivalla, mikä vaikuttaa laivan suunnitteluun ja rahtikapasiteettiin.

Teknologia on vielä suhteellisen uutta merenkulun sovelluksissa, mutta se on saamassa jalansijaa. Organisaatiot, kuten DNV, kehittävät ohjeita varmistamaan OCCS-järjestelmien turvallisen ja tehokkaan käyttöönoton laivoilla. Jotkut yritykset ovat jo aloittaneet pilottiprojekteja testatakseen näitä järjestelmiä täydessä mittakaavassa.<sup>100,101,102</sup>

Laivojen hiilidioksidin talteenottojärjestelmät edustavat yhtä askelta kohti merenkulun hiilidioksidipäästöjen vähentämistä. OCCS järjestelmät eivät kuitenkaan nykyisellä tekniikalla ole ratkaisu täydelliseen hiilineutraaliuteen. Laboratorio-olosuhteissa tekniikalla päästään 90%:n talteenottoon, mutta käytännön pilottilaivoissa talteenotto prosentti on vaihdellut n.10-25% välillä. Talteenoton energian kulutus on lisännyt laivan polttoaineenkulutusta n. 10%.<sup>103,104,105</sup>

<sup>100</sup> "DNV Has Launched New Guidelines for Onboard Carbon Capture Systems on Board Ships", DNV, 9. lokakuuta 2023, <https://www.dnv.com/news/dnv-has-launched-new-guidelines-for-onboard-carbon-capture-systems-on-board-ships-247921/>.

<sup>101</sup> Langh Tech Oy Ab, "Carbon Capture" (Langh Tech Oy Ab, 2024), [https://www.langhtech.com/\\_files/ugd/813dcb\\_3ce520e3425e4c08b714c60401197af3.pdf](https://www.langhtech.com/_files/ugd/813dcb_3ce520e3425e4c08b714c60401197af3.pdf).

<sup>102</sup> borum, "World-First Full-Scale Onboard Carbon Capture", Solvangship, 16. tammikuuta 2025, <https://solvangship.no/2025/01/16/world-first-with-full-scale-ccs-on-board/>.

<sup>103</sup> Zhen Tian ym., "Design Principle, 4e Analysis and Optimization for Onboard Ccs System Under Eedi Framework: A Case Study of an Lng-Fueled Bulk Carrier", SSRN Scholarly Paper (Rochester, NY: Social Science Research Network, 6. marraskuuta 2023), <https://doi.org/10.2139/ssrn.4624514>.

<sup>104</sup> Naida Hakirevic Prevljak, "ClassNK: Practical Operation of Onboard CCS Is Significant for Maritime Decarbonization Goals", *Offshore Energy* (blog), 1. lokakuuta 2024, <https://www.offshore-energy.biz/classnk-practical-operation-of-onboard-ccs-is-significant-for-maritime-decarbonization-goals/>.

<sup>105</sup> Anastasia Kypriotaki, "Cluster of Maritime Organizations Evaluates Onboard CCS", *SAFETY4SEA* (blog), 10. lokakuuta 2024, <https://safety4sea.com/cluster-of-maritime-organizations-evaluates-onboard-ccs/>.

## 10 HIILINEUTRAALIEN POLTTOAINEIDEN JAKELU- SEKÄ TUOTANTOINFRASTRUKTUURI JA HINTA

Merenkulun näkökulmasta hiilineutraalien polttoaineiden jakelu- ja tuotantoinfrastrukturi on vielä kehittymätön. Myös tuotantokapasiteetti on riittämätön mahdollistamaan laajempaa siirtymistä hiilineutraaleihin polttoaineisiin.

### 10.1 Tuotanto- ja jakeluinfrastruktuurit

Kotimaisen kalastuksen kannalta jakelu- ja tuotantoinfrastruktuurissa on kaksi varsin erilaista ongelmakenttää. Merellä käytettävien silakkatrootarikokoluokan aluksille sopivien hiilineutraalien polttoaineiden tuotanto- ja jakeluinfraktuurin voi odottaa kehittyvän raskaamman merenkulun mukana. Suurempien polttoaineiden kuluttajien tarpeesta hiilineutraaleille polttoaineille syntyy infrastruktuurikehityksen edellyttämä kysyntä. Kehitystä tällä sektorilla ohjaa raskaan merenkulun kehitys, joka sanelee laajemmin saataville tulevat polttoaineet. Sisävesitrootareiden ja perämoottorialusten polttoaineiden infrastruktuurin kehitys riippuu maaliikenteen ja työkoneiden kehityssuunnista. Tällä hetkellä kehitys painottuu sähköisiin voimalinjoihin, mikä ei edistä markkinalähtöistä hiilineutraaleihin polttoaineisiin liittyvän infrastruktuurin kehitystä, mutta toisaalta edistää latausinfrastruktuuriin ja itse sähköisiin voimalinjoihin liittyvää kehitystä. Pidemmällä aikajänteellä vetyinfrastruktuurin kehitys tulee kuitenkin liittymään tähän kehitykseen koska vetypolttokenokäyttöisten voimalinjojen kehitys on voimakkaassa kasvussa.

Jotkin hiilineutraaleista polttoaineista ovat käsiteltävissä samalla jakeluinfraktuurilla kuin perinteisetkin polttoaineet tai vain hyvin pienin muutoksin. Tällaisia polttoaineita ovat esimerkiksi e- ja biodiesel, eFuel ja metaanikaasut. Hyvin pienin muutoksin voidaan käsitellä esimerkiksi etanolia ja metanolia. Täysin uudentyyppiset polttoaineet, kuten ammoniakki ja dimetyylieetteri, aiheuttavat suurimmat haasteet jakeluinfraktuurin kannalta. Joillekin polttoaineille, jotka ovat yleisiä kemianteollisuuden raaka-aineita, kuten ammoniakki ja metanoli, on olemassa varsin laaja varastointi ja kuljetusinfrastrukturi, jonka ulottaminen myös polttoainejakelun puolelle saattaa olla mahdollista.

Hiilineutraalien polttoaineiden tuotantoinfrastrukturi asettaa suurimmat haasteet niiden käyttöönotolle. Tuotannon suurimmat haasteet liittyvät prosessien skaalautuvuuteen ja tekniseen valmiuteen. Tuotannon skaalautuminen edellyttää koko tuotantoon liittyvän verkoston skaalautumista, mitä ei ole vielä kyetty toteuttamaan, vaikka itse polttoaineiden tuotantoprosesseja on toteutettu teollisessa mittakaavassa. Maailmanlaajuiseen kysyntään vastaamisen kannalta tämä erittäin suuri ongelma. Tuotantoprosessien tekninen kypsyyssaste on myös oma ongelmakenttensä koska prosessin tekninen toimivuus suuressa skaalassa ei yksin ole osoitus siitä, että tuotantolaitteistot olisivat teknisesti sillä tasolla, että ratkaisut olisivat monistettavissa.<sup>106</sup>

Kuva 2 on esitetty vuoden 2019 tilanne erilaisten meriliikenteeseen soveltuvien hiilineutraalien polttoaineiden tuotannon ja jakelun suhteen.

<sup>106</sup> Harpreet Singh ym., "A Critical Review of Technologies, Costs, and Projects for Production of Carbon-Neutral Liquid e-Fuels from Hydrogen and Captured CO 2", *Energy Advances* 1, nro 9 (2022): 580–605, <https://doi.org/10.1039/D2YA00173J>.

	Raaka- aineen saatavuus	Tuotanto- teknologia	Varastointi, logistiikka, bunkraus	Luokitus
e-ammoniakki	Green	Yellow	Red	Red
e-metanoli	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Bio-metanoli	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
e-metaani	Yellow	Yellow	Green	Green
Bio-metaani	Yellow	Yellow	Green	Green
Bio-öljyt	Yellow	Red	Yellow	Yellow

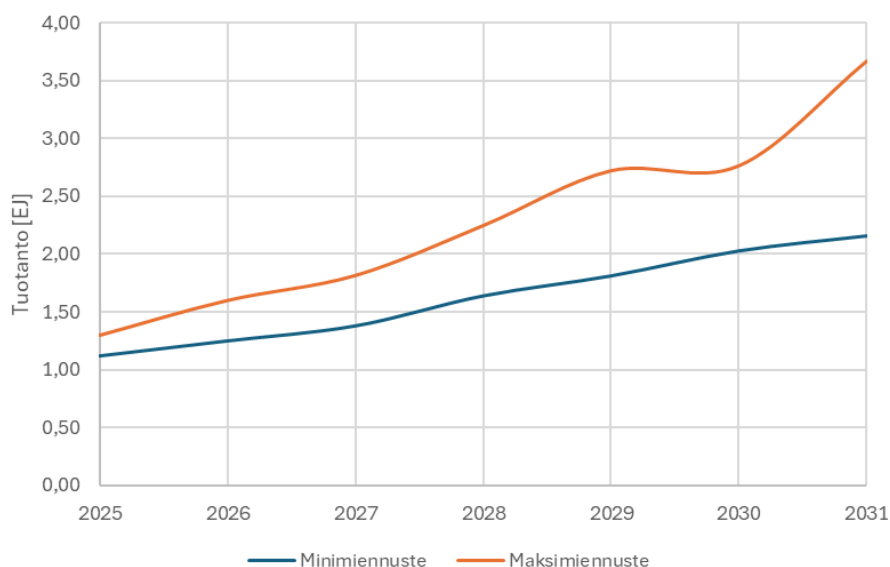
	Ratkaisu olemassa / kypsä teknologia
	Mahdollinen ratkaisu identifioitu
	Suuria haasteita

Kuva 2 Hiilineutraalien polttoaineiden raaka-aineiden saatavuus, tuotantoteknologia, jakeluinfrastruktura ja luokitus laiva käyttöön<sup>107</sup>

Vetytalouden (luku 11) kehitys on erittäin tärkeä mahdollistava tekijä hiilineutraalien polttoaineiden tuotannon kasvulle ja jakelun kehittymiselle. Vety on tärkeä raaka-aine synteettisille polttoaineille, joten sen jakelun ja tuotannon kehitys luovat edellytyksiä myös kehittää synteettisten polttoaineiden tuotantoa.

## 10.2 Tulevaisuuden tuotantovolyymit

Hiilineutraalien polttoaineiden tuotannon maailmanlaajuisen energiaekvivalentin kokonaisvolyymin ennustetaan 2030 olevan 2,03–2,76 EJ (EJ –  $10^{18}$ J) (Kuva 3).<sup>108</sup>



Kuva 3 Hiilineutraalien polttoaineiden tuotantovolyyminennuste mitattuna polttoaineen ekvivalenttina energiasisältönä

Merenkulun yhteenlasketun polttoaineenkulutuksen arvioidaan vuonna 2030 olevan ekvivalenttina energiana laskettuna n. 8,8 EJ. Tästä hiilineutraaleiden polttoaineiden osuuden arvioidaan olevan n. 1,2 EJ. Merenkulun osuus maailman kokonaisenergiatarpeesta on 3 %. Tuotantovolyymi riittäisi juuri

<sup>107</sup> "Maritime Forecast to 2050", DNV, viitattu 22. tammikuuta 2025, <https://www.dnv.com/maritime/publications/maritime-forecast/>.

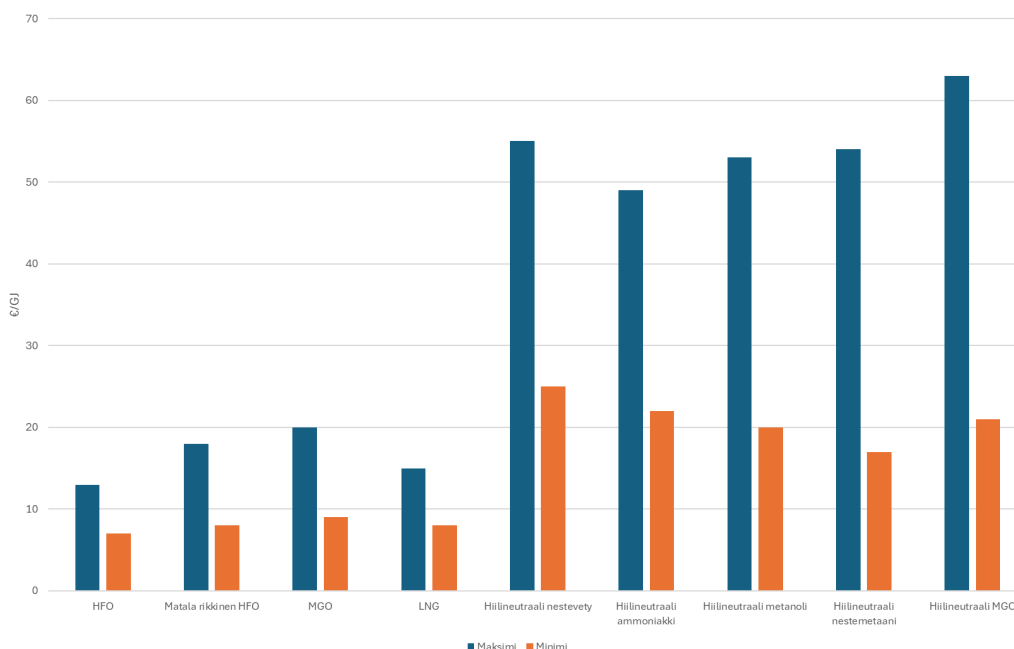
<sup>108</sup> "Strategies for Meeting the Earliest Decarbonization Targets", viitattu 26. tammikuuta 2025, <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/strategies-for-meeting-upcoming-decarbonization-targets/>.



täyttämään merenkulun tarpeen, mutta vain murto-osan kaikkien sektorien kokonaisenergian tarpeesta.<sup>109</sup>

### 10.3 Tulevaisuuden hintakehitys

Hiilineutraalit polttoaineet ovat poikkeuksetta hyvin paljon kalliimpia kuin fossiiliset polttoaineet. Myös hiilineutraalien voimalinjojen hankinta- ja ylläpitokustannukset ovat paljon suuremmat kuin perinteisten voimalinjojen. Tämänhetkiset ennusteet eivät näytä lyhyen aikavälin positiivista kehitystä olevan odotettavissa. Kysynnän kasvaessa sen suhde tarjontaan saattaa myös vaikuttaa hintoihin epäedullisesti, koska hiilineutraalien polttoaineiden tuotantokapasiteetti ei riitä minkään yksittäisen sektorin tarpeeseen. Akkusähköisten ratkaisujen energian hinnan kehitys riippuu sähkön hinnan kehityksestä, joka on ollut nouseva, ja polttokennohybridiratkaisujen polttoaineen hinnan kehitys riippuu soveltuvien polttoaineiden (lähinnä vety) hinnan kehityksestä. Kokonaisuutena on kuitenkin kyse voimalinjan ratkaisun elinkaarikustannuksesta (hankinta, ylläpito ja huolto, polttoaine ja elinkaaren päätöskustannus), jonka puolesta mikään vaihtoehto ei ole vielä taloudellisesti kilpailukykyinen fossiilisten dieselpolttoaineiden kanssa. Pitkän aikavälin (2030–2050) ennusteissa ei ole nähtävissä, että hintakilpailukyky syntyisi (Kuva 4).<sup>110</sup>



Kuva 4 Meripolttoaineiden hintaennuste 2030–2050. Maksimi kuvaa kyseisen aikavälin maksimihintaa ja minimi minimihintaa. Ajallisesti minimi ja maksimi sijoittuvat eri polttoaineille eri päihin tarkastelujaksoa. Fossiilisten polttoaineiden hintojen odotetaan nousevan ja hiilineutraalien laskevan.

Saatavuusennusteet näyttävät, että tuotannon kapasiteetti ei pysty saavuttamaan kasvavaa tarvetta jollei tapahdu merkittävää muutosta kasvuvauhdissa, joten on mahdollista, että saatavuusongelma johtaa hinnan kasvuun.

<sup>109</sup> ”Energy Consumption of the Global Shipping Industry 2030”, Statista, viitattu 26. tammikuuta 2025, <https://www.statista.com/statistics/1365709/energy-consumption-global-shipping-industry-by-fuel/>.

<sup>110</sup> ”Maritime Forecast to 2050”, DNV, viitattu 22. tammikuuta 2025, <https://www.dnv.com/maritime/publications/maritime-forecast/>.

## 11 VETYTALouden KEHITYSNÄKYMÄT SUOMESSA

Vetytalouden kehityksellä on keskeinen merkitys vaikeasti sähköistettävien teollisuuden ja raskaan tie-, meri- ja lentoliikenteen ilmaston lämpenemistä aiheuttavien päästöjen alentamisessa. Erityisesti liikenteelle tärkeitä ovat hiilineutraalivety ja sen jatkojalosteet kuten ammoniakki ja muut synteettiset polttoaineet<sup>111</sup>

Vedyn riittävä saatavuus ja kilpailukykyinen hinta ovat ehdottomia edellytyksiä vetytaloudelle. Nykyisellään vety tuotetaan pääasiassa ei-hiilineutraaleilla menetelmillä. Jo pelkästään kemianteollisuuden, joka on vedyn päätuottaja ja -käyttäjä, tarpeen täyttäminen hiilineutraalisti tuotetulla vedyllä edellyttää hyvin suuria investointeja<sup>112</sup>. Toistaiseksi vedyn tuotantomäärän kasvu on ollut lähinnä sen kemianteollisuuden tarpeisiin liittyvää orgaanista kasvua ja hiilineutraalin vedyn tuotantomäärän kasvu on ollut merkityksetöntä kokonaisuudessa. Vedyn tuotantomäärä on kasvanut 3 % 2021 vuodesta vuoteen 2022. 2022 95 Mt (megatonni) vedyn tuotantomäärästä 62 % tuotettiin maakaasusta, 21 % hiilestä, 16 % muodostui sivutuotteena ja loput öljy- ja sähköperusteisia lähteitä hyödyntäen<sup>113, 114,115</sup>

Energiamurroksen vetytalouteen odotetaan tapahtuvan seuraavien muutaman vuosikymmenen kuluessa ja kehityksen nopeutuvan 2030 jälkeisellä ajanjaksolla<sup>116</sup>. Merkittävä tekijä kysynnän lisääntyminen ja sitä kautta markkinalähtöisen kasvun syntyminen, joka tulee ohjaamaan myös kasvuun liittyviä teknologisia ratkaisuja.

Suomella ei ole varsinaista virallista vetystrategiaa, mutta Valtioneuvosto on 9.2.2023 antanut periaatepäätöksen vedystä. Päätöksen tavoitteena on kasvattaa Suomeen uusi teollisuuden ala vedyn ja sen jatkojalosteiden ympärille, mikä edistää ja tukee alan erityisesti valmistavan teollisuuden uudistumista ja yrityksiä.<sup>117</sup>

Suomessa tuotettiin vuonna 2023, vetyä n. 150 000 tonnia vuodessa eli energiasisällöltään n. 5,0 TWh. 99 % vedystä tuotettiin maakaasusta ja tuotetusta vedystä 88 % käytettiin öljyn ja biopolttoaineiden jalostukseen. Sivutuotteena vetyä muodostuu metsäteollisuuden ja kemianteollisuuden tuotannossa. Vedyn käytön nähdään Suomelle tehtyjen skenaarioiden mukaan kasvavan 2030 mennessä 3,7–7,9 TWh:iin ja 2050 mennessä 6,4–132,9 TWh. Suuri vaihteluväli johtuu skenaarioiden välisistä linjavedoista vedyn ja sähköpolttoaineiden viennin osalta.<sup>118</sup>

<sup>111</sup> "AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023", viitattu 19. tammikuuta 2025, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>.

<sup>112</sup> "Vetytalous", *Kemianteollisuus* (blog), viitattu 19. tammikuuta 2025, <https://www.kemianteollisuus.fi/vastuullisuus/vetytalous/>.

<sup>113</sup> "Global Hydrogen Review 2023 – Analysis", IEA, 22. syyskuuta 2023, <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023>.

<sup>114</sup> Srinivas Seethamraju ja Santanu Bandyopadhyay, "Hydrogen Economy: Hope or Hype?", *Clean Technologies and Environmental Policy* 25, nro 3 (1. huhtikuuta 2023): 755–56, <https://doi.org/10.1007/s10098-023-02500-8>.

<sup>115</sup> Michael Ball ja Martin Wietschel, toim., *The Hydrogen Economy: Opportunities and Challenges* (Cambridge: Cambridge University Press, 2009), <https://doi.org/10.1017/CBO9780511635359>.

<sup>116</sup> "Progress and Accomplishments in Clean Hydrogen—and a Look Back at Major Milestones in 2024", Energy.gov, viitattu 19. tammikuuta 2025, <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/articles/progress-and-accomplishments-clean-hydrogen-and-look-back-major-milestones>.

<sup>117</sup> "Hallitus hyväksyi periaatepäätöksen vedystä - Suomella edellytykset valmistaa 10 prosenttia EU:n vihreästä vedystä 2030", Valtioneuvosto, 9. helmikuuta 2023, <https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/hallitus-hyvaksyi-periaatepaatoksen-vedysta-suomella-edellytykset-valmistaa-10-prosenttia-eu-n-vihreasta-vedysta-2030>.

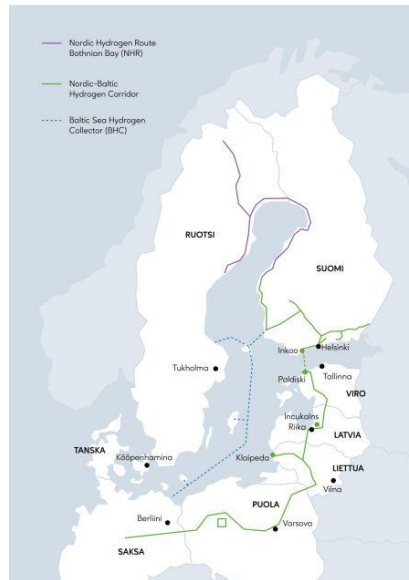
<sup>118</sup> Leena Sivill ym., "Vetytalous – mahdollisuudet ja rajoitteet", VALTIONEUVESTON SELVITYS- JA TUTKIMUSTOIMINNAN JULKAISUSARJA (Helsinki: Valtioneuvoston kanslia, ei pvm.).

Suomen kansallinen vetyverkon kehityshanke aloitettiin vuonna 2022 ja sen tavoitteena on kansallisen vetyverkon käyttöönotto vuonna 2030. Vetyverkko tulee alustavien suunnitelmien perusteella kattamaan länsirannikon satamakaupungit varsin hyvin (Kuva 5).<sup>119,120</sup>



Kuva 5 Kansallisen vetyverkon reittisuunnitelma vuonna 2025

Kansallisen vetyverkon kehitykseen liittyy useita kehityshankkeita muiden EU-maiden kanssa, joilla luodaan yhteistä kytkettyä vetyinfrastruktuuria (Kuva 6).<sup>121</sup>



Kuva 6 Kansainväliset kehityshankkeet: Nordic Hydrogen Route, Nordic-Baltic Hydrogen Corridor ja Baltic Sea Hydrogen Collector

<sup>119</sup> ”Suomen kansallinen vetyverkko”, *Gasgrid Finland* (blog), viitattu 19. tammikuuta 2025, <https://gasgrid.fi/kehitys/suomen-kansallinen-vetyverkko/>.

<sup>120</sup> ”Energiaverkot 2035 -tiekartta”, *Energiatallisuus* (blog), viitattu 24. tammikuuta 2025, <https://energia.fi/energiapolitiikka/energiaverkot-2035/energiaverkot-2035-tiekartta/>.

<sup>121</sup> ”Suomesta maailman houkuttelevin vetytalousmaa”, *Gasgrid Finland* (blog), viitattu 19. tammikuuta 2025, <https://gasgrid.fi/kehitys/suomesta-maailman-houkuttelevin-vetytalousmaa/>.

Toteuduttuaan, n. 2030, kansallinen vetyverkko tulee mahdollistamaan vedyn laajan käytön polttokaasuna ja raaka-aineena verkon alueella ja sen parantuneen saatavuuden koko maassa. Suomessa on myös käynnissä vedyn tuotantoon ja jakeluun liittyviä hankkeita, joilla tulee olemaan suuri merkitys vedyn saatavuuteen paikallisesti (esimerkiksi Uudenmaan Vetylaakso -hanke, Helen Oy, Neste Oyj, Gasgrid Finland Oy ja Vantaan Energia Oy). Vetyverkko tulee myös kattamaan erittäin hyvin alueen, jolla sijaitsee suomalaisen troolarilaivaston suurimmat purkusatamat.<sup>122,123</sup>

---

<sup>122</sup> ”Helen ja muut johtavat energiayhtiöt Suomessa yhdistävät voimansa teollisen vetylaakson kehittämiseksi”, 20. kesäkuuta 2023, <https://www.helen.fi/uutiset/2023/helen-ja-muut-johtavat-energiayhtiot-suomessa-yhdistavat-voimansa-teollisen-vetylaakson-kehittamiseksi>.

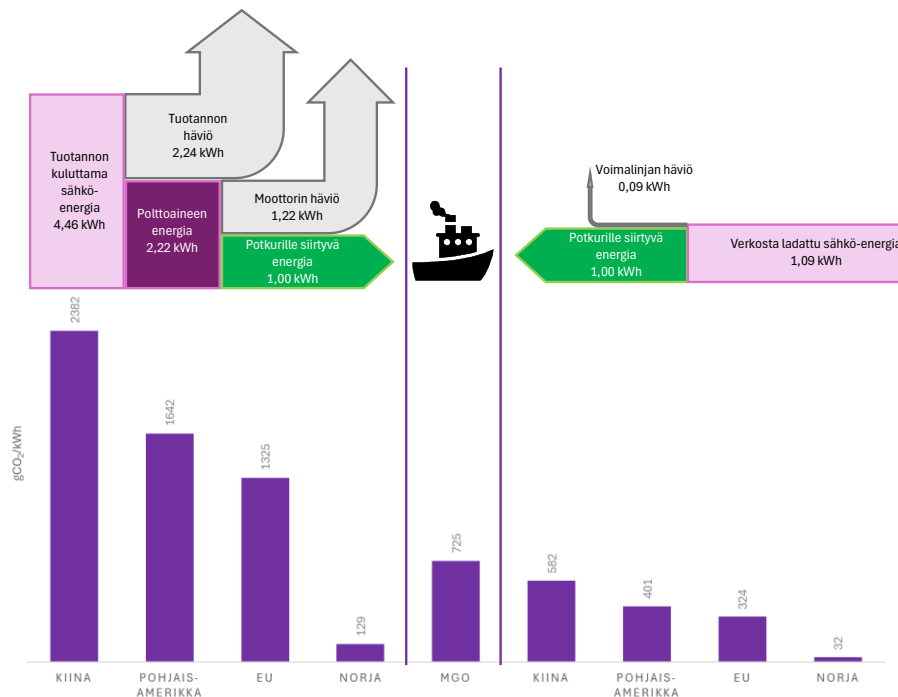
<sup>123</sup> Antti Lappalainen ym., ”Suomen troolilaivaston kalastusalueet Itämerellä vuosina 2010–2022”, 2023.

## 12 HIILINEUTRAALIEN VAIHTOEHTOJEN PÄÄSTÖT

Liikennevälineiden, joita laivat ovat, kohdalla hiilineutraaliudella ei tarkoiteta elinkaaren hiilineutraaliutta tai edes koko energiaketjun hiilineutraaliutta vaan ainoastaan liikennevälineen käytön välittömästi tuottamaa hiilidioksidipäästöä. Tästä syystä liikenteen hiilineutraalius ei välttämättä tarkoita kokonaispäästöjen vähenemistä. Täysin päästötöntä vaihtoehtoa ei ole, jokainen polttoaine ja voimalinjavaihtoehto tuottaa elinkaarensa aikana päästöjä jossakin muodossa.

Merenkulun kohdalla päästöt jaetaan well-to-wake päästöihin (koko energiaketjun päästö) ja tank-to-wake päästöihin (aluksessa käytetyn polttoaineen välitön päästö). Laivan tekninen hiilineutraalius määritellään jälkimmäisen mukaan.<sup>124</sup>

Synteettisten polttoaineiden tapauksessa sähkön tuotantotavalla on paljon merkitystä myös CO<sub>2</sub>-päästöihin. Synteettiset polttoaineet ovat myös kokonaishyötysuhteeltaan heikkoja (well-to-wake, polttoaineen tuotannosta käyttöön laivassa). Ne tuottavat nykyisellään aina enemmän päästöjä kuin dieselgeneraattorikäyttö MGO:lla jos sähköä ei ole tuotettu ilmastoneutraalisti. Suurimmat häviöt ja päästöt syntyvät synteettisen polttoaineen tuotannossa. Myös raaka-aineella ja sen tuotantotavalla on merkitys kokonaispäästöihin. Kuva 7 havaitaan, että käytettäessä esimerkiksi synteettistä ammoniakkia (eAmmoniikki) diesel polttoaineena laivassa ainoastaan pääosin vesivoimalla tuotetulla sähköllä (Norja) päästään pienempään CO<sub>2</sub>-kokonaispäästöön kuin päästäisiin dieselsähköisellä voimalinjalla, joka käyttää polttoaineena MGO:ta. Kuvasta on havaittavissa myös, että polttoaineen syntetisointi erittäin energiantensiivistä.



Kuva 7 Well-to-wake (polttoaineen tuotannosta propulsioon) energian kulutus yhtä potkuriakselilla käytettyä kilowattituntia kohden. Vasen laita synteettinen ammoniikki diesel-mekaanisessa voimalinjassa, vertailukohtaksi keskellä MGO dieselsähköisessä voimalinjassa ja oikeassa laidassa akkusähköinen voimalinja, joka ladataan verkosta. Pylväsdiagrammi esittää yhden potkuriakselilla käytetyn kilowattituntin hiilidioksidipäästöä (gCO<sub>2</sub>/kWh) eri alueiden keskimääräisellä sähköntuotannon hiilidioksidipäästöillä.<sup>125</sup>

<sup>124</sup> Stine Jonsson, "Understanding Well-to-Wake Emissions in Maritime Transport", Ultrabulk, 1. maaliskuuta 2024, <https://ultrabulk.com/understanding-well-to-wake-emissions/>.

<sup>125</sup> "Maritime Forecast to 2050".

Myös biopolttoaineiden valmistus, mukaan lukien jätteistä tuotetut biopolttoaineet, tuottaa hiilidioksidipäästöjä. Prosessi sisältää useita vaiheita, jotka voivat tuottaa hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>) ja muita kasviuonekaasuja. Mikäli polttoaine tuotetaan viljellystä biomassasta jo viljelyyn liittyvät toiminnot, kuten lannoitteiden valmistus jne. tuottavat CO<sub>2</sub>-päästöjä. Biomassan prosessointi ja käyminen biopolttoaineiksi on energiaintensiivinen prosessi, joka tuottaa myös päästöjä. Myös jätteistä, kuten maatalous- ja metsäjätteistä sekä elintarvikejätteistä, tuotetut biopolttoaineet tuottavat hiilidioksidipäästöjä valmistusprosessin aikana. Kokonaispäästöt ovat kuitenkin yleensä alhaisempia verrattuna muihin biopolttoaineisiin. Huolimatta jätteistä tuotettujen biopolttoaineiden valmistukseen liittyvistä päästöistä, ympäristöhyödyt, kuten jätteen vähentäminen, tekevät niistä erittäin kestävän vaihtoehdon.<sup>126,127</sup>

---

<sup>126</sup> "How Turning Biomass Waste into Sustainable Fuels Can Help Restore the Carbon Balance #WEF24", World Economic Forum, 27. joulukuuta 2023, <https://www.weforum.org/stories/2023/12/biomass-waste-sustainable-fuels-carbon-climate-change/>.

<sup>127</sup> "Perception vs Reality: The Eight Most Common Biofuels Myths", *Renewable Energy World* (blog), 8. kesäkuuta 2012, <https://www.renewableenergyworld.com/baseload/perception-vs-reality-the-eight-most-common-biofuels-myths/>.

## 13 KALASTUSALUSTEN ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Laivan energiatehokkuuden parantamiseen liittyvää tutkimusta on tehty viime vuosikymmeninä paljon. Tähän on osaltaan ajanut polttoaineiden hinnan nousu ja kiristyvät päästömääräykset.

Yksinkertaisin ja halvin tapa energiatehokkuuden parantamiseen on operatiivisen toiminnan ja suunnittelun kehitys. Tätä voidaan kehittää yksinkertaisimmillaan miehistön koulutuksen avulla, jolla tähdätään energiatehokkuuden huomioimiseen yksittäisissä operatiiviseen toimintaan liittyvissä tehtävissä ja niiden suunnittelussa. Operatiivisen toiminnan energiatehokkuuden parantamiseen on kehitetty työkaluja, joilla sitä voidaan parantaa systemaattisesti:

**Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP)** – Kehys olemassa oleville laivoille operatiivisen energiatehokkuuden parantamiseksi parhaiden käytäntöjen ja suorituskyvyn seurannan avulla.<sup>128</sup>

**Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI)** – Työkalu laivan operatiivisen energiatehokkuuden mittaamiseen, joka auttaa tunnistamaan parannuskohteita.<sup>129</sup>

Operatiivisen toiminnan suunnittelun kehittäminen datavetoiseksi on uusien data-analytiikkamenetelmien avaama mahdollisuus, joka hyödyntää operatiivisen toiminnan historiatiedon ja ulkoiset datalähteen kuten esimerkiksi säätiedon. Datavetoisia suunnittelutyökaluja käyttäen voidaan saavuttaa jopa 10–20 % polttoainesäästö.<sup>130</sup>

Aluksen energiatehokkuuden tekniseen parantamiseen on useita keinoja. Teknistä energiatehokkuutta voidaan parantaa esimerkiksi seuraavilla teknisillä toimenpiteillä:

**Rungon ilmavoitelu** – Vähentää kitkaa laivan rungon ja veden välillä, mikä johtaa pienempään polttoainenkulutukseen. Polttoainenkulutusta voidaan ilmavoitelun avulla laskea jopa 15 %.<sup>131,132</sup>

**Tuuliavusteinen propulsio** – Hyödyntää purjeita tai leijoja tuulienergian hyödyntämiseksi, millä voidaan purjeen tyyppin mukaan vähentää jopa 15–20 % polttoaineen kulutusta suotuisissa tuuliolosuhteissa.<sup>133</sup>

**Lämmön talteenotto** – Kerää ja hyödyntää laivan moottoreiden tuottamaa lämpöä energiatehokkuuden parantamiseksi. Hukkalämpö voidaan hyödyntää sähkötehoksi tai akselitehoksi esimerkiksi turbiinin avulla. Polttoaineen säästö, joka saavutetaan hukkalämmön talteenotolla, voi olla jopa 15 %.<sup>134,135,136</sup>

<sup>128</sup> "Improving the energy efficiency of ships", viitattu 23. tammikuuta 2025, <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Improving%20the%20energy%20efficiency%20of%20ships.aspx>.

<sup>129</sup> "What is EEOI - Energy Efficiency Operational Indicators?", viitattu 23. tammikuuta 2025, [https://marine-digital.com/article\\_eEOI](https://marine-digital.com/article_eEOI).

<sup>130</sup> StartUs Insights, "Shipbuilding Technology in 2025 & Beyond", StartUs Insights, 1. lokakuuta 2024, <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/shipbuilding-technology/>.

<sup>131</sup> "A Review of Advanced Air Lubrication Strategies for Resistance Reduction in the Naval Sector", viitattu 23. tammikuuta 2025, <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/13/5888>.

<sup>132</sup> American Bureau of Shipping, "Air Lubrication Technology", 4. tammikuuta 2019.

<sup>133</sup> "(PDF) A Review of Wind-Assisted Ship Propulsion for Sustainable Commercial Shipping: Latest Developments and Future Stakes", teoksessa *ResearchGate*, viitattu 23. tammikuuta 2025, <https://doi.org/10.3940/rina.win.2021.05>.

<sup>134</sup> Tymoteusz Miller ym., "Waste Heat Utilization in Marine Energy Systems for Enhanced Efficiency", *Energies* 17, nro 22 (tammikuuta 2024): 5653, <https://doi.org/10.3390/en17225653>.

<sup>135</sup> Jinshi Wang ym., "Theoretical Design and Analysis of the Waste Heat Recovery System of Turbine Exhaust Steam Using an Absorption Heat Pump for Heating Supply", *Energies* 13, nro 23 (tammikuuta 2020): 6256, <https://doi.org/10.3390/en13236256>.

<sup>136</sup> A. O. Oni ym., "Comparative assessment of blue hydrogen from steam methane reforming, autothermal reforming, and natural gas decomposition technologies for natural gas-producing regions", *Energy Conversion and Management* 254 (15. helmikuuta 2022): 115245, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115245>.

**Moottorin hukkalämmön hyödyntäminen jäähdytykseen, absorptiolämpöpumppu** – Hyödyntää moottorin tuottamaa lämpöä kylmän tuottamiseen.<sup>137,138</sup>

**Rungon ja potkurin optimointi** – Nykyisillä laskenta- ja suunnittelumenetelmillä voidaan parantaa runkojen ja potkurien rakennetta siten, että laivan hyötysuhde paranee. Polttoaineen kulutuksessa parannus voi olla jopa 20 %.<sup>139,140,141</sup>

Energiatehokkuuteen liittyy runsaasti sääntelykehysten muutoksia ja uusia aloitteita:

**Energy Efficiency Design Index (EEDI)** – Pakollinen toimenpide uusille laivoille. Edistää energiatehokkaiden teknologioiden ja suunnitteluratkaisujen käyttöönottoa.<sup>142</sup>

Suurinta osaa aluksen energiatehokkuutta parantavista teknisistä keinoista ei voida soveltaa jälkiasenteisina ratkaisuna tai niistä ei ainakaan saada täyttä hyötyä jälkiasennuksena. On kuitenkin olemassa joitakin dieselmootorin hyötysuhdetta parantavia jälkiasennettavia ratkaisuja, joista voi olla hyötyä biopolttoaineiden myötä nouseviin polttoainekustannuksiin.

**Vetyruiskutus** – Vety tuotetaan yleensä paikan päällä elektrolyysin avulla ajoneuvon sähköjärjestelmästä saatavalla sähköllä. Vetykaasu ruiskutetaan moottorin imusarjaan, jossa se sekoittuu ilman kanssa. Vety palaa nopeammin kuin diesel, mikä edistää dieselpolttoaineen täydellisempää palamista. Tämä johtaa parempaan polttoainetehokkuuteen ja vähentyneisiin päästöihin.<sup>143,144</sup>

**Vesiruiskutus** – Vesiruiskutus toteutetaan vesisumun ruiskutuksena moottorin imusarjaan tai suoraan palotilaan. Vesi alentaa ilman ja palamisprosessin lämpötilaa. Tämä johtaa suurempaan ilman tiheyteen ja siten hapen määrään tilavuusyksikössä, mikä mahdollistaa suuremman ruiskutusannoksen ja siten tehon. Alhaisempi palamislämpötila vähentää typen oksidien muodostumista.<sup>145</sup>

**Vesi-metanoliruiskutus** – Vesi-metanoliruiskutuksessa palotilaan ruiskutetaan metanolin ja veden seosta. Sumu tarjoaa jäähdytystä samoilla hyödyillä, kun pelkkä vesikin ja metanolin osuus osallistuu myös palotapahtumaan. Vesi-metanoliruiskutuksella saavutetaan merkittäviä tehonlisäyksiä.<sup>146</sup>

Vesi- vesi-metanoliruiskutus ovat hyvin vanhaa tekniikkaa, jota on sovellettu sekä diesel- että ottomootoreissa sovelluksissa, jossa moottorilta vaaditaan erittäin suurta tehotiheyttä, esimerkiksi lentokoneissa ja torpedoveneissä. Edellä mainituilla järjestelmillä voidaan vaikuttaa biopolttoaineita käytettäessä moottoreiden heikentyneeseen polttoainetalouteen ja siten helpottaa hiilineutraaliuden kustannusvaikutuksia.

<sup>137</sup> Ing. A. Hafner, C.H. Gabrieli, ja K. Widell, *Refrigeration Units in Marine Vessels*, 2019:527, TemaNord (Copenhagen: Nordic Council of Ministers, 2019), <https://doi.org/10.6027/TN2019-527>.

<sup>138</sup> Rasoul Nikbakhti ym., "Absorption cooling systems – Review of various techniques for energy performance enhancement", *Alexandria Engineering Journal* 59, nro 2 (1. huhtikuuta 2020): 707–38, <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.01.036>; Hafner, Gabrieli, ja Widell, *Refrigeration Units in Marine Vessels*.

<sup>139</sup> Xuankai Cheng ym., "Ship Optimization Based on Fully-Parametric Models for Hull, Propeller and Rudder", *Journal of Marine Science and Engineering* 12, nro 9 (syyskuuta 2024): 1635, <https://doi.org/10.3390/jmse12091635>.

<sup>140</sup> Volker Bertram ja Karsten Hochkirch, "OPTIMIZATION FOR SHIP HULLS – DESIGN, REFIT AND OPERATION", teoksessa *VI International Conference on Computational Methods in Marine Engineering (MARINE 2015, Rome, 2015)*.

<sup>141</sup> Samson Adam ym., "Design and Optimization of Ship Hull for Better Fuel Efficiency", *International Journal of Science and Research Archive* 13, nro 1 (30. syyskuuta 2024): 029–036, <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2024.13.1.1526>.

<sup>142</sup> "EEDI - rational, safe and effective", viitattu 23. tammikuuta 2025, <https://www.imo.org/fr/MediaCentre/HotTopics/Pages/EEDI.aspx>.

<sup>143</sup> Brett Plugis, "Hydrogen Injection in Diesel Engines: A Cleaner Path to Improved Efficiency", *Hydrogen on Demand Technologies*, 13. toukokuuta 2024, <https://hodtec.com/blog/hydrogen-injection-in-diesel-engines-a-cleaner-path-to-improved-efficiency/>.

<sup>144</sup> "Hydrogen Injection into Diesel Engines System", *Prior Power Solutions*, viitattu 27. tammikuuta 2025, <https://priorpower.com/hydrogen/>.

<sup>145</sup> Ashley Sharkey ja Ali Zare, "The Impact of Water Injection and Hydrogen Fuel on Performance and Emissions in a Hydrogen/Diesel Dual-Fuel Engine", *Energies* 17, nro 23 (tammikuuta 2024): 5838, <https://doi.org/10.3390/en17235838>.

<sup>146</sup> "Understanding Water / Methanol Injection On Diesels", *Glacier Diesel Power*, viitattu 27. tammikuuta 2025, <https://www.glacierdieselpower.com/pages/understanding-water-methanol-injection-on-diesels>.



## 14 KEHITYSPOLUT RASKAASSA MERENKULUSSA

Raskaan merenkulun vaihtoehtoisten hiilineutraalien energialähteiden ja polttoaineiden kehitys on edennyt laajan tutkimuksen kautta, joka on tähdännyt eri vaihtoehtoisten polttoaineiden potentiaalın ymmärtämiseen. Kehitykseen liittyy runsaasti pilottihankkeita, joissa testataan polttoaineiden toteutettavuutta todellisissa olosuhteissa.<sup>147</sup>

Toteuttavuuden tutkimuksen ohella tutkittu ja kehitetty myös tarvittavaa teknologiaa polttoaineiden tuotantoon, varastointiin ja hyödyntämiseen<sup>148</sup>:

**Moottoritekhnologia** – Kehitetään moottoreita, jotka toimivat vaihtoehtoisilla polttoaineilla. Esimerkiksi kaksoispolttoainemoottorit, jotka voivat vaihtaa perinteisten polttoaineiden ja vaihtoehtoisten välillä.

**Polttoaineen tuotanto** – Tuotantomenetelmien skaalaaminen. Esimerkiksi biometaanin tuotantotekhnologiat ovat kypsyneet, ja suuria tuotantolaitoksia on nyt toiminnassa.

**Infrastruktuurin kehittäminen** – Polttoaineiden varastointiin, jakeluun ja bunkraukseen tarvittavan infrastruktuurin kehittäminen.

Kansainvälisten standardien ja säädösten luominen on ollut ratkaisevan tärkeää vaihtoehtoisten polttoaineiden turvalliselle ja tehokkaalle käytölle<sup>149</sup>:

**Turvallisuusprotokollat** – Käsittely- ja varastointiprotokollien kehittäminen, erityisesti myrkyllisille tai vaarallisille polttoaineille, kuten ammoniakille.

**Säätelyn kehittäminen** – Varmistetaan, että uusille polttoaineille on olemassa määräyspohja, jonka mukaan niitä voidaan soveltaa.

Viimeinen vaihe, joka on parhaillaan käynnistymässä, on vaihtoehtoisten polttoaineiden laajamittainen käyttöönotto ja kaupallistaminen. Viimeiseen vaiheeseen liittyy olennaisina tuotannon ja jakeluverkoston skaalaaminen kasvavan kysynnän tyydyttämiseksi. Skaalaamisen yhteydessä pitää tapahtua myös taloudellisen kannattavuuden parantaminen. Uusien vaihtoehtoisten polttoaineiden pitää olla taloudellisesti riittävän kilpailukykyisiä perinteisten meripolttoaineiden kanssa. Tämä sisältää tuotantokustannusten alentamisen ja toimitusketjun tehokkuuden parantamisen.

DNV GL – Report No. 2019–0567, Rev. 4:ssä määritellään raskaaseen merenkulkuun liittyen kehityspolut, joiden kautta päästöjen vähennys on saavutettavissa. Kyseiset kehityspolut eivät sisällä kaikkia teknisesti mahdollisia kehityspolkuja vaan edustavat lupaavimpia kehityspolkuja päästöjen vähentämiseen (ei hiilineutraaliuteen).<sup>150</sup>

**LNG-kehityspolku** – Nesteytetty metaani soveltuu diesel- ja ottomoottorin, kaasuturbiinin, sekä polttokennon polttoaineeksi. Se on valmistettavissa fossiilisista raaka-aineista, biomassasta tai synteettisesti. Joista syntetisointi ja biomassasta valmistus mahdollistavat hiilineutraaliuden. Voimalinjateknologia on kypsää.

**Vetykehityspolku** – Vety soveltuu moottoripolttoaineeksi diesel- ja ottomoottoreihin sekä kaasuturbiineihin. Sen lisäksi se soveltuu polttokennon polttoaineeksi. Se voidaan valmistaa fossiilista raaka-aineista tai elektrolyyssillä vedestä. Jälkimmäinen mahdollistaa

<sup>147</sup> ”Press Release | Progress in Maritime Decarbonization: Updated Fuel Pathway Maturity Map Highlights Key Advancements”, viitattu 18. tammikuuta 2025, <https://www.zerocarbonshipping.com/news/press-release-progress-in-maritime-decarbonization-updated-fuel-pathway-maturity-map-highlights-key-advancements/>.

<sup>148</sup> George G. Zaimes, ”Environmental Assessment of Alternative Fuels for Maritime Shipping” (ISSST 2023 conference, 23. kesäkuuta 2023), [https://greet.anl.gov/files/alt\\_maritime\\_fuel\\_issst2021](https://greet.anl.gov/files/alt_maritime_fuel_issst2021).

<sup>149</sup> Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping, ”The shipping industry’s fuel choices on the path to net zero”, 19. huhtikuuta 2023, <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/travel%20logistics%20and%20infrastructure/our%20insights/charting%20global%20shippings%20path%20to%20zero%20carbon/the-shipping-industrys-fuel-choices-on-the-path-to-net-zero.pdf>.

<sup>150</sup> Jon Anders Ryste, ”Comparison of Alternative Marine Fuels”, Alternative marine fuels study (DNV GL AS Maritime, 25. syyskuuta 2019), [https://sea-Ing.org/wp-content/uploads/2020/04/Alternative-Marine-Fuels-Study\\_final\\_report\\_25.09.19.pdf](https://sea-Ing.org/wp-content/uploads/2020/04/Alternative-Marine-Fuels-Study_final_report_25.09.19.pdf).

hiilineutraaliuden mikäli käytetty sähkö on hiilineutraalia. Sekä vetymootorit että polttokennot ovat kypsää teknologiaa tietyissä teholuokissa.

**Ammoniakkikehityspolku** - Ammoniakki soveltuu moottoripolttoaineeksi dieselmootoreihin. Sen lisäksi se soveltuu polttokennon polttoaineeksi. Se voidaan valmistaa fossiilista raaka-aineista tai synteettisesti vedystä. Jälkimmäinen mahdollistaa hiilineutraaliuden, mikäli käytetty sähkö on hiilineutraalia. Ammoniakkidieselit ovat saavuttamassa teknisen kypsyyden lähivuosina.

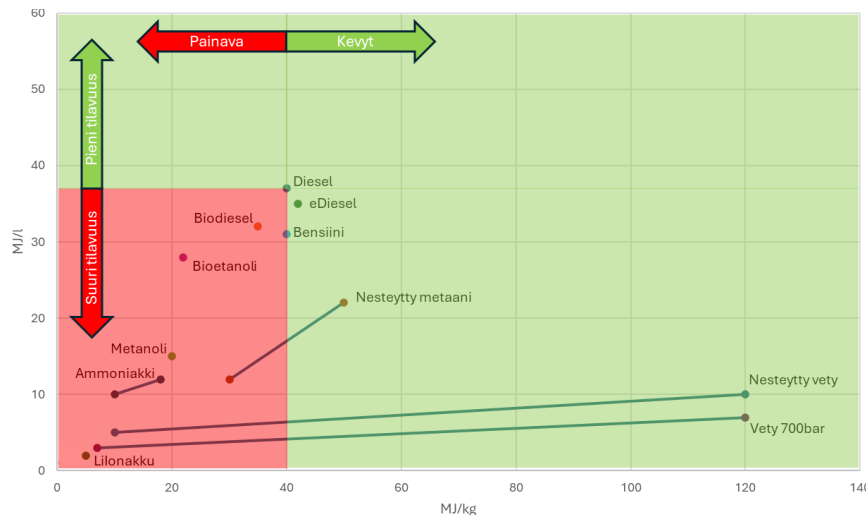
**Metanolikehityspolku** - Metanoli soveltuu moottoripolttoaineeksi diesel- ja ottomootoreihin. Sen lisäksi se soveltuu polttokennon polttoaineeksi. Se voidaan valmistaa fossiilista raaka-aineista, käyttämällä biomassasta tai synteettisesti vedystä. Kaksi jälkimmäistä mahdollistaa hiilineutraaliuden, mikäli käytetty sähkö on hiilineutraalia. Sekä metanolimootorit että polttokennot ovat kypsää teknologiaa tietyissä teholuokissa.

**Biodieselkehityspolku** - Biodiesel soveltuu dieselmootoreiden ja kaasuturbiinien polttoaineeksi. Se valmistetaan biomassasta ja on siten raaka-aineen osalta luonnollisesti hiilineutraali. Biodieselvoimalinjat ovat kypsää teknologiaa.

**Täyssähköinen kehityspolku** - Akkusähköiset voimalinjat ovat osittain erittäin kypsää teknologiaa. Varsinaisen sähkömoottorikäytön tekniikasta laivakäytössä on vuosikymmenten kokemus ja sähköiset voimalinjat ovat laivoissa erittäin yleisiä. Akkuteknologia taas ei ole laivakäyttöön kypsää vaan akkujen laajempi soveltaminen edellyttäisi niiden energiantihyden merkittävää kasvua ja hinnan laskua.

Edellisten lisäksi on nähtävissä vielä **LPG-kehityspolku**, jossa hyödynnetään butaania ja propaania diesel- tai ottomootorissa. Butaania ja propaania syntyy sivutuotteena öljynjalostuksessa, mutta sitä syntyy myös rajoitettuja määriä biodiesel tuotannon sivutuotteena. Teknologia on kypsää, mutta hiilineutraalin butaanin tuotantomäärät eivät voi kasvaa siten että se olisi laajamittaisesti sovellettavissa.

Kehityspolusta riippumatta hiilineutraaliustavoite tulee vaikuttamaan laivoihin koska vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttö johtaa poikkeuksetta tarpeeseen kasvattaa polttoainesäiliöiden kokoa ja moottorien ominaistehon laskuun (Kuva 8).



Kuva 8 Hiilineutraalien polttoaineiden tilavuuslämpöarvo ja massalämpöarvo. Vertailukohtaksi perinteinen diesel. Nestemäisille polttoaineet on annettu yhdellä pisteellä, joka edustaa polttoaineen ominaisuuksia. Kaasumaiset polttoaineet on annettu viivalla, jonka vasen pää edustaa massalämpöarvo mukaan lukien polttoainesäiliön kuollut massa ja oikea pää pelkkää polttoainetta.<sup>151</sup>

<sup>151</sup> Ryste.

## 15 KALASTUSALUSTEN HIILINEUTRAALIEN POLTTOAINEIDEN JA ENERGIANLÄHTEIDEN TEKNINEN VERTAILU

Kuten edellisistä luvuista voidaan havaita, erilaisten polttoaine- ja energianlähdevaihtoehtojen kirjo on erittäin suuri yleiselläkin tasolla tarkasteltaessa. Jos mukaan luetaan erilaisten raaka-aineiden ja tuotantomenetelmien vaihtoehdot ja erilaiset voimalinjarakenteet sekä niiden kombinaatiot päästään niin suureen joukkoon, että vertailu sen sisällä on mahdotonta. Tästä syystä vertailua on yksinkertaistettu yhdistämällä samantyyppisiä polttoaineita ja pitäytymällä yksinomaan teknisissä ominaisuuksissa.

Polttoaineiden ja energianlähteiden systemaattinen vertailu toteutettiin muodostamalla taulukko ja pisteyttämällä niiden ominaisuudet perinteisiin fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna (Liite 2 Vertailutaulukko). Taulukkoon valittiin seuraavat pisteytettävät ominaisuudet:

1. **Voimalinjan saatavuus** – Arvio tekniikan kaupallistumisesta ja saatavuudesta nyt, 10 vuoden kuluttua ja 20 vuoden kuluttua. Arvostelu 2–6, jokainen saatavuus merkintä antaa kaksi pistettä.
2. **Voimalinjan koko ilman pa. säiliötä** – Ratkaisuun liittyvän voimalinjan koko pois lukien polttoainesäiliö. Arvostelu 1–5, diesel on 1 ja 5 paljon suurempi kuin diesel.
3. **Toimintasäde muuttamatta pa. säiliön kokoa** – Kuinka pitkä toimintamatka ratkaisulla saavutetaan, jos polttoaineen varastointiin aluksella käytetään sama tila kuin dieselvoimalinjan yhteydessä. Arvostelu 1–5, diesel on 1 ja 5 paljon lyhyempi kuin diesel.
4. **Jakelu ja varastointi-infrastruktuuri** – Infrastruktuurin tekninen valmius ja laajuus lähitulevaisuudessa. Arvostelu 1–5, diesel on 1 ja 5 paljon heikompi tilanne kuin dieselillä.
5. **Tekninen soveltuvuus erikokoisiin aluksiin** – Mihin tarkastellusta kolmesta aluskokoluokasta kyseinen voimalinja on koon ja painon puolesta sovellettavissa.
6. **Miten otettavissa käyttöön?** – Käyttönoton helppous. 1 – sopii suoraan nykykalustoon, 2 – jälkiasennus mahdollinen ja 3 – vain uuteen alukseen.

Liite 1 Energianlähteiden ominaisuudet taulukossa on annettu myös neljä ominaisuutta, joita on käytetty pisteytettyjen arvojen laskentaan. Näillä ei ole vaikutusta pisteytykseen koska ne tulevat huomioitua pistettyjen ominaisuuksien kautta.

1. **Gravimetrinen energiasisältö** – Polttoaineen/energianlähteen energiasisältö painoyksikköä kohti. Arvostelussa tulee huomioitua toimintamatkan kautta.
2. **Volumetrinen energiasisältö** – Polttoaineen/energianlähteen energiasisältö tilavuusyksikköä kohti. Arvostelussa tulee huomioitua toimintamatkan kautta.
3. **Tiheys** – Polttoaineen/energianlähteen tiheys tilavuusyksikköä kohti.
4. **Max. hyötysuhde** – Ratkaisun hyötysuhde tankista veteen (tank-to-wake). Tieto vain informaatioksi, arvostelussa tulee huomioitua toimintamatkan kautta.

Pisteytys on tehty puhtaasti teknisin perustein nykytilanteen ja välittömän lähitulevaisuuden (1-2 vuotta) perusteella. Taulukko arvioi kutakin polttoainetta tai energianlähdettä aluksen ainoana energianlähteenä (lukuun ottamatta mekaanista aputuulivoimaa), joten sen perusteella ei voi tehdä suoraa johtopäätelmää jonkin ratkaisun sopivuudesta hybridijärjestelmään, joka yhdistelee monia ratkaisuja.

Kokonaispisteet lasketaan summaamalla saatavuusrastien lukumäärä ja kertomalla se painokertoimella 2, kunkin pisteytetyn ominaisuuden pisteet (Max - annetut pisteet) ja kertomalla summa arvioidulla alustyyppikohtaisella teknisellä soveltuvuudella (0 tai 1). Maksimikokonaispisteet on 24 ja minimi 0.

Mekaaninen aputuulivoima ja polttomoottorisähköhybridi ovat otettu taulukkoon erillisenä ratkaisuna koska ne ovat sovellettavissa kaikkien ratkaisujen yhteyteen. Vaikka molemmat saavat arvostelussa melko korkeat kokonaispisteet on huomioitava, että ne eivät ole itsenäisiä ratkaisuja. Aputuulivoima vaatii rinnalleen ensisijaisen propulsiojärjestelmän. Polttomoottorihybridi vaatii hiilineutraalilla polttoaineella toimivan polttomoottorin ensisijaiseksi tehonlähteeksi. Molemmilla voidaan alentaa kokonaispolttoaineen kulutusta.

Kaasumaisten polttoaineiden varastointi paineen tai nesteytyksen vaikutusta tilatarpeeseen, hyötysuhteeseen ja painoon ei ole huomioitu koska kaasumaiset polttoaineet vaativat fossiilisiin nestemäisiin polttoaineisiin verrattuna erittäin suuren tilan riippumatta niiden varastointitavasta.

Taulukossa jotkin polttoaineet, jotka ovat teknisesti samanlaisia on yhdistetty (bio- ja eMetaani, bio- ja eMetanoli), mutta dieselpolttoaineet (fossiilinen diesel, biodiesel ja eDiesel) sekä bensiini ja eFuel on pidetty erillään. Syy tähän on se miten polttoaineet voidaan ottaa käyttöön. Dieselpolttoaine- ja bensiinikorvikkeet ovat otettavissa käyttöön ns. drop-in polttoaineina ilman muutoksia voimalinjaan, joten niiden keskinäinen vertailu on tärkeää. Metaani- ja metanolipolttoaineet taas edellyttävät niille tarkoitetun voimalinjan, joten bio- ja synteettisen polttoaineen keskinäinen vertailu ei ole oleellista tässä vaiheessa. Etanoli saatavuus tulevaisuudessa on arvioitu olemattomaksi koska polttoaineeksi tarkoitetun etanolin ja sitä käyttävien ajoneuvojen valmistus on Euroopassa viime vuosina vähentynyt voimakkaasti tai lopetettu.

Tekninen soveltuvuus eri aluksiin perustuu oletukseen, että aluksen kokoa tai käyttötapaa ei muuteta. Esimerkiksi akkusähköisen ratkaisun kohdalla ei ole nähtävissä, että akkuteknologiassa tapahtuisi sellaista kehitystä, joka mahdollistaisi akkusähköisen rannikko- tai avomeritroolarin ilman, että alusten käyttötapaa muutetaan radikaalisti.

Ratkaisujen loppupisteet on esitetty Taulukko 2. Dieselmoottorien osalta ilman muutoksia käytettävät polttoaineet nousevat vertailussa kärkeen ja häntäpäähän jäävät DME, vety ja ammoniakki. Ottomoottorien ainoa ilman muutoksia käytettävä polttoaine on eFuel, joka sen vuoksi nousee kärkeen. Vertailuista polttoaineista kaikki, vetyä lukuun ottamatta, ovat tasavertaisia. Vedyn keskeinen ongelma on sen energiasisältö, joka jää nesteytettyinä alle puoleen nesteytetyn metaanin energiasisällöstä ja noin neljäsosaan dieselpolttoaineen energiasisällöstä.<sup>152</sup>

Huolimatta metaanin sijoituksesta vertailussa se on erittäin varteen otettava vaihtoehto varsinkin sisävesillä koska sen saatavuus on erinomainen ja se on vanhaa tunnettua tekniikka ja sen vuoksi luotettavaa ja suhteellisen edullista. Kustannusvertailussa (Luku 16) se osoittautuu polttoainekustannuksiltaan jopa nykyisiä ratkaisuja paremmaksi sisävesillä. Nesteytettyä metaania käytettäessä polttoainesäiliön tilavuuden täytyy olla noin kaksinertainen dieselpolttoaineisiin verrattuna.

Muista energiaratkaisuissa akkusähköinen ratkaisu ja polttokenno ovat vertailun perusteella melko heikkoja vaihtoehtoja. Polttokennon kohdalla on esitetty polttoaineena vain vety, mutta polttokennoja on saatavilla myös metaanille ja ammoniakille, mutta niiden ominaisuudet ovat samat lukuun ottamatta samalla säiliökoolla saavutettavaa toimintasädettä, joka niillä jää 50-75% pienemmäksi. Mekaaninen aputuulivoima ja hybriditekniikka taas ovat kohtalaisen hyviä vaihtoehtoja.

---

<sup>152</sup> [Anna Pakarinen, "Analysis of Liquid Hydrogen Bunkering and Storage on Cruise Ships", 2024, https://www.doria.fi/handle/10024/189870.](https://www.doria.fi/handle/10024/189870)

Taulukko 2 Polttoaine- ja energianlähde vertailun tulokset

		Ratkaisun pisteytys		
		Perämoottorialus	Sisävesitroolari	Avomeritroolari
<b>Dieselmoottori</b>	Dieselpolttoaineet		24	24
	Biodieselpolttoaineet		23	23
	Bio- ja eMetaani		20	20
	eDiesel		23	23
	Bio- ja eMetanoli		20	20
	eAmmoniakki			11
	Dimetyylieetteri		14	14
	Etanolidiesel		19	19
	Vety		16	16
<b>Ottomoottori</b>	Bensiini E10/E5	24		
	Bio- ja eMetanoli	20		
	Etanoli E85	18		
	eFuel	22		
	Bio- ja eMetaani	19		
	Vety	16		
<b>Hybridi</b>	Sähkö+polttomoottori		21	21
<b>Täyssähkö</b>	Akku	18		
<b>Polttokenno</b>	Vety	16	16	16

Taulukossa esille otettu aurinkovoima ei missään tapauksessa voi tarjota ratkaisua koko aluksen energianlähteeksi, mutta sitä on mahdollisesti kannattavaa hyödyntää varsinaista energiantuotantoa tukevana ratkaisuna koska aurinkokennot ovat verrattain halpoja ja lähes huoltovapaita.

Huolimatta edellä esitetystä tekniseen tietoon perustuvasta pisteytyksestä vety on tulevaisuudessa yksi varteenotettava vaihtoehto johtuen teknologian, tuotannon ja jakeluinfrakstruktuurin kehityksestä, jotka taas johtuvat vedyn asemasta mahdollistajana useille eri energiaratkaisuille.

## 16 KALASTUSALUSTEN HIILINEUTRAALIEN POLTTOAINEIDEN JA ENERGIANLÄHTEIDEN KUSTANNUSVERTAILU

Hiilineutraaleiden voimalinjojen hankintakustannukset ovat lähes poikkeuksetta suurempia kuin perinteisten. Ainoan poikkeuksen tekee suoraan korvaavien hiilineutraaleiden polttoaineiden käyttö fossiilisten sijaan fossiilisille polttoaineilla tehdyssä voimalinjassa. Taulukko 3 on esitetty arviot voimalinjavaihtoehtojen kustannustasoista verrattuna perinteiseen ratkaisuun. Taulukosta on jätetty pois ydinreaktori koska se ei ole nykyisen tyyppisiin aluksiin ja nykyisellä toimintamuodolla millään muotoa realistinen vaihtoehto. Myös apuenergianlähteet (tuuli ja aurinko) on jätetty pois koska niiden kustannusvertailu pitää tehdä pääenergian lähteen kustannuksiin verraten, eli saavutetaanko niillä etu, joka mahdollistaisi pääenergianlähteen pienentämisen siten että sen kustannukset laskevat.

Taulukko 3 Eri voimalinjavaihtoehtojen suhteellinen hintataso ja hintasoon vaikuttavat tekijät. Hintatasoa on kuvattu verrannollisena

		Hinta- taso	Hintatasoon vaikuttavat tekijät
<b>Dieselmoottori</b>	Dieselpolttoaineet	1	
	Biodieselpolttoaineet	1	Suoraan korvaava dieselpolttoaineille
	Bio- ja eMetaani	3	Lähes suoraan korvaava dieselpolttoaineille. Tarvitsee kaasusäiliöt ja kaasun käyttöön liittyviä turvalaitteita, nesteytettynä myös jäähdytyksen.
	eDiesel	1	Suoraan korvaava dieselpolttoaineille
	Bio- ja eMetanoli	2	Lähes suoraan korvaava dieselpolttoaineille, mutta tarvitsee muutoksia polttoainejärjestelmään
	eAmmoniikki	4	Kalliimpi moottoriteknologia. Syövyttävä ja myrkyllinen aine. Tarvitsee kaasusäiliöt ja kaasun käyttöön liittyviä turvalaitteita, nesteytettynä myös jäähdytyksen.
	Dimetyylieetteri	4	Kalliimpi moottoriteknologia. Tarvitsee kaasusäiliöt ja kaasun käyttöön liittyviä turvalaitteita, nesteytettynä myös jäähdytyksen.
	Etanolidiesel	1	Suoraan korvaava dieselpolttoaineille
	Vety	4	Kalliimpi moottoriteknologia. Tarvitsee kaasusäiliöt ja kaasun käyttöön liittyviä turvalaitteita, nesteytettynä myös jäähdytyksen.
<b>Ottomoottori</b>	Bensiini E10/E5	1	
	Bio- ja eMetanoli	1	Lähes suoraan korvaava bensiinille, mutta tarvitsee muutoksia polttoainejärjestelmään
	Etanoli E85	1	Lähes suoraan korvaava bensiinille, mutta tarvitsee muutoksia polttoainejärjestelmään
	eFuel	1	Suoraan korvaava bensiinille, mutta tarvitsee muutoksia polttoainejärjestelmään
	Bio- ja eMetaani	2	Lähes suoraan korvaava bensiinille, mutta tarvitsee muutoksia polttoainejärjestelmään
	Vety	4	Kalliimpi moottoriteknologia. Tarvitsee kaasusäiliöt ja kaasun käyttöön liittyviä turvalaitteita, nesteytettynä myös jäähdytyksen.
<b>Hybridi</b>	Sähkö ja polttomoottori	2	Akku, sähkömoottori yms. nostavat hintaa. Polttomoottorin hinta voi olla suoraa käyttöä edullisempi koska se voidaan optimoida kuormituspektrin mukaan.
<b>Täyssähkö</b>	Akku	4	Akut ovat kalliita
<b>Polttokenno</b>	Vety	5	Polttokenno on kallis. Tarvitsee akun. Tarvitsee kaasusäiliöt ja kaasun käyttöön liittyviä turvalaitteita, nesteytettynä myös jäähdytyksen.

Lähes kaikki arviot ovat hyvin karkealla tasolla johtuen useimpien teknologioiden uutuudesta ja kypsymättömyydestä. Mitään ratkaisua ei ole vielä tarjolla kaikkiin kokoluokkiin ja osassa ratkaisuista ollaan vielä teknologioiden demonstroinnin ja pilotoinnin tasolla. Kustannuksia voidaan tästä syystä arvioida vain teknisen rakenteen monimutkaisuuden perusteella. Poikkeus ovat metaanikaasupolttoaineita käyttävät polttomoottorit, joiden teknologia on jo pitkään tunnettua ja kypsää sekä alkoholeja käyttävät ottomoottorit. Voimalinjan hankintakustannusten osalta suoraan korvaavien polttoaineiden käyttö on edullisinta ja metaanikaasupolttoinjien seuraavaksi edullisinta.

Merkittävin voimalinjan sen käytön aikana synnyttämä kustannus syntyy polttoaineesta. Polttoainekustannusta suhteessa perinteiseen ratkaisuun voidaan arvioida lisääntyneen polttoaineen kulutuksen kannalta (polttoaineiden lämpöarvojen suhde) ja polttoaineiden hinnan suhteen mukaan. Taulukko 4 esittää eri voimalinjavaihtoehtojen suhteellisen polttoainekustannuksen verrattuna perinteiseen voimalinjaan. Taulukossa diesel moottori on vertailtu merellä ja sisävesillä erikseen johtuen erilaisesta polttoainetarjonnasta. Merellä polttoainekustannusta verrataan MGO:n hintaan ja sisävesillä kevyen polttoöljyn hintaan.

Taulukko 4 Suhteellinen polttoainekustannus eri voimalinjavaihtoehdoilla

	Polttoaineen kulutuskerroin	Polttoaineen hintakerroin	Polttoainekustannusten nousu	
<b>Dieselmoottori (meri)</b>				
<b>MGO</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	
Biodiesel	1,17	1,87	2,19	
Biometaani	0,86	1,85	1,60	
eDiesel	1,00	1,21	1,22	
Bio- ja eMetanoli	2,19	1,31	2,87	
Ammoniakki	1,92	0,83	1,59	
Dimetyylieetteri	1,54	1,39	2,15	
Vety	0,36	9,71	3,50	
<b>Dieselmoottori (sisävesi)</b>				
<b>Kevyt polttoöljy</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	
Biodiesel	1,17	1,17	1,37	
BioMetaani	0,86	0,92	0,79	
eDiesel	1,00	1,10	1,11	
Vety	0,36	5,42	1,95	
<b>Ottomoottori</b>				
<b>Bensiini E10/E5</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	
Etanoli E85	1,24	1,14	1,41	
eFuel	1,26	2,50	3,16	
Biometaani	0,82	1,28	1,05	
Vety	0,34	12,72	4,33	
<b>Polttokenno</b>				
Vety	0,34	9,71	3,28	
Verrattuna MGO	Metaani	0,81	1,85	1,50
	Ammoniakki	1,80	0,83	1,49
Verrattuna kevyt p.ö.	Vety	0,34	5,42	1,83
Verrattuna E95	Vety	0,34	12,72	4,33
<b>Täyssähkö</b>				
Akku	0,57	0,37	0,21	

Polttoaineiden hinnat merikäytössä perustuvat niiden hintaan Rotterdamin satamassa, jossa ne lähes kaikki ovat saatavana, tammikuussa 2025. Bio- ja eMetanolin hinta perustuu International Renewable Energy Agencyn raportoimien hintojen keskitasoon. Synteettisen dieselin hinta on arvioitu n. 20% kalliimmaksi MGO valmistajien tulevaisuuden lupauksien perusteella (tällä hetkellä hinta on jopa kymmenkertainen). Meriliikenteen vaihtoehtojen polttoaineiden hinnoissa on hyvin suuri vaihtelu riippuen polttoaineen valmistusmenetelmästä. Esimerkiksi metanolin hinta vaihtelee välillä 380 €/t – 2300 €/t. Halvimmillaan se on ei-uusiutuvasta lähteestä (ei täytä hiilineutraaliustavoitetta) ja kalleimmillaan se on synteettistä. Jotta vertailu osoittaisi kustannusta jolla saavutetaan aluksen hiilineutraalius ovat vertailussa käytetyt hiilineutraalisti palavien polttoaineiden (ammoniakki, DME

ja vety) hinnat ei-hiilineutraalisti tuotettujen hintoja. Hiiltä palaessaan vapauttavien polttoaineiden hinnat ovat halvimpien hiilineutraalisti tuotettujen hintoja.<sup>153,154,155,156</sup>

Sisävesillä ja ottomoottoreissa polttoaineiden hinnat perustavat kotimaiseen keskiarvopumppuhintaan tammikuussa 2025. Pumppuhinnasta on vähennetty polttoainevero, joka ammattikalastuksessa palautetaan, ja arvonlisävero. Vedyn sisämaan hintana on käytetty saksalaista pumppuhintaa ajoneuvoille koska vetyä ei vielä ole Suomessa saatavana ajoneuvokäyttöön. Vedyllä ei ole Saksassa polttoaineveroa. Synteettisten eFuelin ja eDieselin hintoina on käytetty niille valmistajien antamia hintalupauksia, joiden mukaan niiden pitäisi tulevaisuudessa saavuttaa fossiilisten polttoaineiden hintataso (hinnat nykyisellään ovat jopa kymmenenkertaisia, joten vertailu ei olisi mahdollista). Synteettisten polttoaineiden tulevaisuuden verokohtelusta ei ole tietoa, mutta valmistajien lupaukset koskevat verottomia hintoja.<sup>157,158</sup>

Vertailusta on jätetty pois polttoaineet, joilla ei ole käytännön saatavuutta sisämaassa. Etanolidieseliä ei tällä hetkellä myydä missään. Metanolia ei sisämaassa toimiteta kuin kemianteollisuuden käyttöön ja maksimissaan joidenkin kymmenien litrojen pienerissä polttoaineeksi keittimiin. Ammoniakki on sisämaassa saatavana vain kemianteollisuuden käyttöön.

Polttokennolle taulukossa on laskettu merikäytössä vedyllä, metaanilla (biokaasu) ja ammoniakilla vertailu perinteiseen polttoaineeseen MGO:iin, sisävesillä vedyllä ja metaanilla (biokaasu) verrattuna kevyeen polttoöljyyn ja ottomoottorien kohdalla vedyllä ja metaanilla verrattuna E95 bensiiniin.

Vertailu näyttää merikäytössä kaikki vaihtoehtoiset polttoaineet epätaloudellisina ratkaisuuina. Joskin Sisävesillä tilanne taas on varsin erilainen johtuen perinteisten fossiilisten polttoaineiden korkeasta hinnasta.

Sisävesi käytössä polttoaineiden erilaiset verokohtelut ja polttoaineveron palautus aiheuttavat tilanteen, joka ei ole suoraan nähtävissä pumppuhinnoista ja poikkeaa paljon esimerkiksi maantieajoneuvokäytöstä. Biometaani on sekä dieselmoottorin tapauksessa tällä hetkellä halvempi polttoaine kuin perinteiset polttoaineet. Se on myös ottomoottorin tapauksessa vain marginaalisesti kalliimpaa. Akkusähköinen voimalinja on odotetusti polttoainekustannuksen kannalta ehdottomasti halvin.

Vety on kaikilla tavoilla käytettynä ja kaikissa käytöissä tällä hetkellä erittäin kallis polttoaine. Vedyn hinnan ennustetaan kuitenkin laskevan erittäin voimakkaasti kohti vuotta 2030. Hinnan odotetaan asettuvan 2,70–5,60 €/kg välille, eli 21 – 44% nykyhinnasta. Tämä voi muuttaa vedyn kilpailukykyä ratkaisevasti tehdä siitä halvimman polttoainevaihdon monessa tapauksessa. Polttoainemarkkinoihin liittyy kuitenkin huomattavia epävarmuuksia ja hintojen kehittyminen sekä keskinäiset suhteet riippuvat monista tekijöistä, joiden ennustaminen on hyvin vaikeaa.<sup>159</sup>

Voimalinjan käyttökustannuksiin liittyy myös kunnossapitokuluja, jotka ovat samoista syistä kuin hankintakulutkin, varsin vaikeasti arvioitavissa. On kuitenkin turvallista olettaa, että

<sup>153</sup> "OPIS Biofuels Daily | Pricing, Market and Real-Time News", OPIS, A Dow Jones Company, viitattu 26. tammikuuta 2025, <https://www.opisnet.com/product/pricing/spot/biofuels-daily-report/>.

<sup>154</sup> "Rotterdam Bunker Prices - Ship & Bunker", viitattu 1. helmikuuta 2025, <https://shipandbunker.com/prices/emea/nwe/nl-rtm-rotterdam>.

<sup>155</sup> Mfame Editor, "Biofuel Market Watch: Singapore and Rotterdam Trends", *mfame.guru* (blog), 10. joulukuuta 2024, <https://mfame.guru/biofuel-market-watch-singapore-and-rotterdam-trends/>.

<sup>156</sup> Seungwoo Kang ym., *Innovation Outlook: Renewable Methanol*, toim. Dolf Gielen ja Greg Dolan (Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2021).

<sup>157</sup> "Costs & Outlook - eFuel Alliance", viitattu 1. helmikuuta 2025, <https://www.efuel-alliance.eu/efuels/costs-outlook>.

<sup>158</sup> Jens Hobohm et al., "STATUS AND PERSPECTIVES OF LIQUID ENERGY SOURCES IN THE ENERGY TRANSITION" (the Fraunhofer Institute for Environmental, Safety and Energy Technology UMSICHT and the German Biomass Research Centre DBFZ, 5. tammikuuta 2018), [https://en2x.de/wp-content/uploads/2021/08/Studie\\_fliessige\\_Energietraeger\\_Energiewende\\_englisch.pdf](https://en2x.de/wp-content/uploads/2021/08/Studie_fliessige_Energietraeger_Energiewende_englisch.pdf).

<sup>159</sup> Clean Hydrogen JU, "The European hydrogen market landscape - November 2024", 11. tammikuuta 2024, [https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/sites/default/files/2024-11/The%20European%20hydrogen%20market%20landscape\\_November%202024.pdf](https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/sites/default/files/2024-11/The%20European%20hydrogen%20market%20landscape_November%202024.pdf).



kunnossapitokustannuksen seuraa samaa mallia kuin hankintakustannus – mitä monimutkaisempi ja suurempi järjestelmä, sitä kalliimpi se on kunnossapitää. Poikkeuksena tähän on akkusähköinen voimalinja, jossa kunnossapitokohteiden määrä ja kohteiden kunnossapitotarve on merkittävästi vähäisempi kuin muissa ratkaisuissa. Biodieselpolttoaine on toinen poikkeus. Siinä on odotettavaa, että kunnossapitokustannus on hieman suurempi kuin fossiilisessa tai synteettisessä dieselpolttoaineessa koska se vaatii kalliimmat ja monimutkaisemmat polttoainesuodattimet, jotka vaativat enemmän kunnossapitotyötä, sekä mikrobikasvun estämisen polttoaineessa.

## 17 EHDOTUS KEHITYSPOLUKSI KALASTUSALUKSISSA

Kolme tarkasteltua alusluokkaa (Luku 2) ovat kukin oma erillinen ongelmakenttensä kehityksessä kohti hiilineutraaliutta. Aluksien koko, niissä käytetty tekniikka, niiden käyttöympäristö ja käyttötapa ovat erilaisia. Tämän vuoksi täysin yhtenäistä kehityspolkua kalastusaluksille ei ole mahdollista esittää. Asiaa monimutkaistaa globaalit polttoainemarkkinat ja niillä tapahtuva kehitys. Laaja kollektiivinen tavoite on kasvihuonekaasupäästöjen radikaali pienentäminen ja lopulta päästöjen lopettaminen kokonaan. On kuitenkin epäselvää, miten tämä tulee teknisesti tapahtumaan ja mitkä ratkaisut muodostuvat pysyviksi, mitkä jäävät kokeilujen ja pilottien tasolle, tai mitkä ovat vain välivaiheita.

Kalastus on suomalaisella ja eurooppalaisella tasolla melko pieni elinkeino. On hyvin epätodennäköistä, että se voisi toimia suunnannäyttäjänä muille tai että sillä olisi vaikutusta teknisten ratkaisujen tai markkinoiden yleiseen kehitykseen. Tämän vuoksi melko varovainen kehitys teknisesti joustavien ratkaisujen avulla on perusteltua. Myös erilaiset pilotit ja kokeilut ovat avainasemassa: mitkä polttoaineet tulevat yleistymään, ja samalla muuttuvat halvemmiksi.

Kehityspoluille voidaan nimetä kaksi päälinjaa: Operatiivinen suunnittelu ja alusten tekniikka. Keskeinen asia kehityksessä on huomioida alan kustannuskriittisyys – kun polttoaineen/energian kustannus väistämättä nousee, täytyy toiminnan energiatehokkuutta parantaa.

**Operatiivisen suunnittelun kehityspolku** sisältää operatiivisen toiminnan ohjauksen kehittämisen datalähtöiseksi ja moderneja AI-metodeja hyödyntäväksi, mikä on verrattain halpa ja helppo tie parantaa energiatehokkuutta. Sen hyödyllisyys ja tehokkuus ei myöskään millään muotoa riipu alusten tai voimanlähteiden teknologioiden kehityksestä. Tämän kehityspolun tavoitteena on kehittää datalähtöisiä menetelmiä ja työkaluja kalastusalusten energiatehokkuuden parantamiseen tähtäävään operaatiosuunnitteluun. Menetelmät hyödyntävät sekä aluksen omaa historia tietoa että ulkoisista datalähteistä saatavaa tietoa ja pyrkivät niiden avulla optimoimaan aluksen aikataulutuksen ja reitin mahdollisimman energiatehokkaaksi. Tähän yhdistetään myös aluksen kunnonvalvonta ja huolto- ja korjaustoiminta, jolloin saadaan mahdollisuus huomioida ja optimoida myös niiden vaikutus tuottavaan operatiiviseen toimintaan. Tämän kehityspolun tuottamat ratkaisut sopivat kaikkiin kalastusalusluokkiin.

**Alusten tekniikan kehityspolku** on monijuonteisempi ja se on kunkin alusluokan kohdalla erilainen.

Pitkällä aikavälillä voidaan nähdä mahdollisuuksia toimintamallin transformatiiviseen muutokseen, johon sisältyy myös alustekniikan kehitys.

- Parvitoiminta
  - Akkukäyttöiset troolarit, joilla on lyhyt toiminta-aika
  - Tukialus, joka lataa troolarit, johon saalis puretaan ja jossa se jalostetaan
  - Autonomian ja etäoperoinnin hyödyntäminen
- Saaliin kuljettaminen pienemmällä sähköisillä aluksilla troolarilta rantaan
  - Troolari troolaa koko ajan (eli tuottaa koko ajan)
  - Troolari purkaa saaliin pieniin rahtialuksiin, jotka kuljettavat saaliin maihin
  - Rahtialus on pieni ja yksinkertainen eikä tarvitse yhtä paljon tehoa kuin troolari
  - Autonomian ja etäoperoinnin hyödyntäminen

### 17.1 Meritroolareiden kehitys

Kehityspolun ydin on uuden tyyppisen hybriditroolarin kehitys. Hybriditroolarikonseptin ydin on modulaarinen rakenne, joka skaalautuu suoraan rannikko- ja avomeritroolareihin ja jonka rakennemuodut ovat hyödynnettävissä myös sisävesitroolareissa. Keskiössä on seuraavien teknisten ratkaisujen soveltaminen:

- Täyssähköiset sarjahybridivoimalinjat – Aluksen kaikki käytöt sähköisiä ja voimalinjoihin liittyy akustot, joilla voidaan kompensoida tehohuippuja.
- Hiilineutraalit tehonlähteet – Sähkö tuotetaan hiilineutraalilla tehonlähteellä
- Tehonkäytön älykäs hallinta – Aluksen kaikki toimilaitteet liittyvät älykkäästi hallittuun sähköverkkoon, joka kykenee varastoimaan sähköä. Sähköntuotanto voidaan siten mitoittaa keskimääräisen tehon mukaan, jolloin sitä voidaan käyttää jatkuvasti optimihyötysuhteella ja piikkitehot otetaan akuista tai superkondensaattoreista.
- Sähköiset aputehonlähteet – Aurinkokennoilla voidaan tuottaa ilmaista energiaa lähes huoltovapaalla järjestelmällä (vuoden keskiteho n. 110 W/m<sup>2</sup> ja piikki n. 1 kW/m<sup>2</sup>). Myös tuuligeneraattorit ovat mahdollisia.
- Tehon tuotannon hajauttaminen – Hyötysuhdeoptimia tavoiteltaessa tehontuotannon hajauttaminen saattaa parantaa energiatehokkuutta. Hajauttaminen on myös tärkeää luokituksen vaatimien varakäyttöjen aikaansaamiseksi.
- Maasähkö – Maasähkön tehokas hyödyntäminen aina kun sitä on saatavissa ja kaksisuuntainen maasähkö, eli alus voi syöttää tuottamansa ylimääräisen sähkön verkkoon ollessaan maasähkössä kiinni.
- Laivatekniset energiatehokkuuden parantamiskeinot – Rungon, propulsiolaitteiston jne. optimointi

Akustolla varustettu sarjahybridiratkaisu voimalinjoissa antaa mahdollisuuden valita sähköntuotanto tavan vapaasti (voimakone ja generaattori tai polttokenno) ja se erottaa varsinaisen propulsiojärjestelmän sähköntuotannosta siten, että aluksen sähköntuotannon järjestelmä on vapaasti muokattavissa ja päivitettävissä. Akusto antaa mahdollisuuden tehontuotannon optimointiin siten että tehoa tuotetaan jatkuvasti sähköntuotannon optimihyötysuhteella ja piikkitehot kompensoidaan akustosta, joka taas lataantuu kun tehoa käytetään käytetään vähemmän. Sähköiset voimalinjat (propulsio, vinssit jne.) mahdollistavat tehonkäytön älykkään hallinnan. Yhteinen sähköverkko jakaa tehoa kaikille sähkötehon käyttäjille, jolloin missään tilanteessa ei esiinny jonkin järjestelmän joutokäyntiä. Sähköisillä käytöillä voidaan myös parantaa käytön hyötysuhdetta 25-50% hydrauliseen käyttöön verrattuna. Tehontuotannon hajauttamisella erilaisten sähköntuotantomenetelmien käyttö (esimerkiksi vetydiesel ja vetypolttokenno samassa aluksessa), mikä antaa mahdollisuuden optimoida tehontuotantoa.

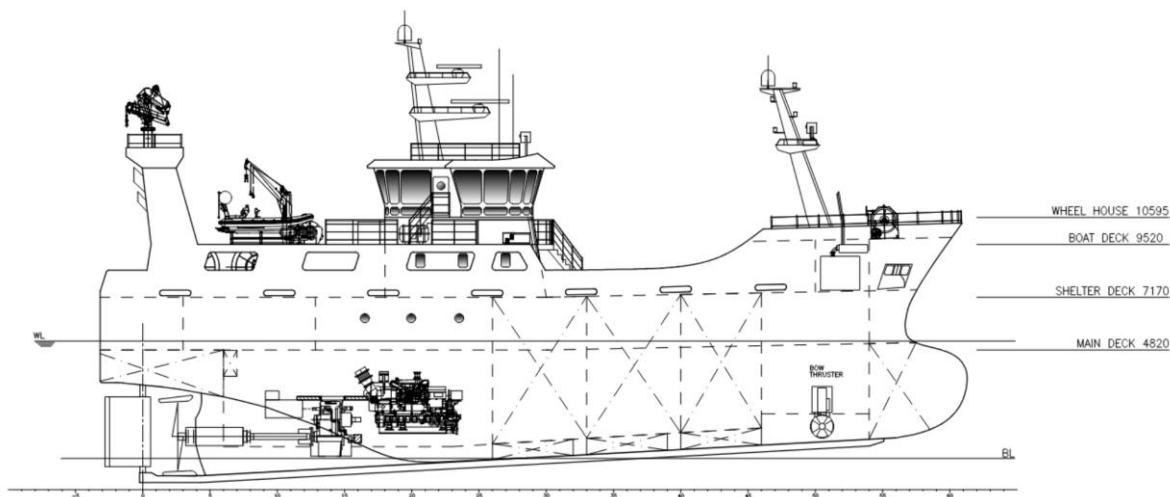
Alusten tekniikkaan liittyy myös polttoainekehityspolut, joista lupaavimmat ovat:

- Vety
  - Nopeasti kehittyvä tekniikka, osin jo kaupan hyllyssä
  - Jakeluverkosto kehittyy nopeasti
  - Soveltuu polttokennoon ja polttomoottoreihin
  - Hintakilpailukyvästä on suuria lupauksia
  - Aluksen koolle rajoituksia koska polttoainesäiliö vie tilaa (polttokennossa 1 MW teho kuluttaa 2,5 m<sup>3</sup>/h 700 bar vetyä)
- Metanoli
  - Soveltuu pieneen polttokennoon ja polttomoottoreihin
  - Teknisesti yksinkertainen
  - Kehittyvä tekniikka, osin jo kaupan hyllyssä
  - Jakeluverkoston kehitys epäselvää, suurissa laivoissa voimakkaasti tulossa
  - Polttoainesäiliö vie tilaa noin kaksi kertaa enemmän kuin dieselsäiliö.
- Metaani
  - Soveltuu polttokennoon ja polttomoottoreihin
  - Polttomoottorit tunnettua ja pitkään käytettyä tekniikka
  - Jakeluun voidaan hyödyntää maakaasun jakeluverkostoa (esimerkiksi Gasum jakelee moottorikaasuksi jo nyt vain biokaasua)
  - Polttoaineen säilytys laivassa vanhaa tunnettua tekniikkaa.

- Polttoaine vie paljon tilaa (polttokennossa 1 MW kuluttaa n. 0.5 m<sup>3</sup>/h nesteytettyä metaania)

Näistä polttoaineista kaikkia on mahdollista tuottaa Suomessa mikä mahdollistaa suuremman omavaraisuuden sekä paremman huoltovarmuuden.

Aluksen kehityksessä lähtökohdaksi voidaan ottaa esimerkiksi vuonna 2021 Suomeen suunniteltu kalastusalus, jota ei kuitenkaan koskaan ole rakennettu (Kuva 9).



Kuva 9 Suomeen vuonna 2021 suunniteltu kalastusalus (Kuva: Oy Omega Shipping Ab)

Sarjahybridivoimalinjoja on pilotoitu troolareissa paljon. Valtaosa näistä troolareista on Norjanmerellä työskenteleviä suuria yli 60 metrisiä aluksia. Suomalaista meritroolarikokoluokkaa vastaa esimerkiksi Tehnomont Shipyardsin Pula:n Hans Angelsen & Sønner:lle valmistama Angelsen Senior (20,99 x 9 m, 310 GT).<sup>160</sup>

LNG käyttöisiä sarjahybridialuksia on myös pilotoitu suuremmassa kokoluokassa. Ensimmäinen LNG-diesel sarjahybriditrolaari oli Cemre Shipyardsin Liafjord as:lle 2021 valmistama Libas (86,5 x 17,8 m, 4553 GT). Sama telakka valmisti myös vuonna 2022 seuraavan LNG-diesel sarjahybriditrolarin Sunny Lady (Teige Rederi as, 86,5 x 17,8 m, 4553 GT).<sup>161,162</sup>

## 17.2 Sisävesitroolareiden kehitys

Sisävesitroolareiden moottoritekniikka poikkeaa rannikko- ja avomeritroolareista, mutta monet samat järjestelmäratkaisut ja alusten tekniset kehitysratkaisut ovat sovellettavissa myös niissä.

Voimalinjan kehityksen osalta niissä kehityksessä kannattaa suunnata biometaaniin, joka helposti ja heti saatavilla olevaan hiilineutraaliin polttoaine. Tähän voimalinja kehitykseen ei sisälly merkittäviä riskejä koska tekniikka on jo kaupallista ja biometaanin käytöstä vastaavan kokoisissa dieselmoottoreissa on erittäin paljon kokemusta raskaassa maantiekuljetuskalustossa. Lisäksi biometaanin käytöstä on odotettavissa välitön käyttökustannusetu.

Nykyisten alusten muutos biometaanille on mahdollista jälkiasennuksena, joten tehokkain kehityspolku hakea kokemuksia biometaanin käytöstä on yhden tai kahden aluksen pilottiprojekti, jossa alukset muutetaan biometaanikäyttöisiksi ja niiden toiminnasta haetaan kokemuksia yhden tai

<sup>160</sup> "Angelsen Senior". Corvus Energy, viitattu 10. helmikuuta 2025, <https://corvusenergy.com/projects/angelsen-senior/>.

<sup>161</sup> "NB0064 LIBAS". Cemre Shipyards, viitattu 10. helmikuuta 2025, <https://www.cemreshipyards.com/en/references/nb0064-libas>.

<sup>162</sup> "NB0074 SUNNY LADY". Cemre Shipyards, viitattu 10. helmikuuta 2025, <https://www.cemreshipyards.com/en/references/nb0074-sunny-lady>.

kahden kauden ajan. Muutos on periaatteessa mahdollista tehdä nykyiseen moottoriin, mutta tällä tavalla päästään vain noin 50/50 % suhteeseen dieselpolttoaineen ja kaasun välillä, joten hiilineutraaliutta tavoiteltaessa kalliimpi hiilineutraali dieselpolttoaine syö biokaasulla saavutettavan kustannusedun. Kaasulle suunnitellulla moottorilla päästään n. 5 % dieselpolttoaineen kulutukseen jolloin saavutetaan hiilineutraaliuden ohella myös kustannussäästöt.

Alusten muun tekniikan kehitystyössä on kannattavinta edetä luonnollisen kehityksen kautta, kun uusia aluksia hankitaan. Uusien alusten yhteydessä myös hybridivoimalinja tarjoaa lupaavan mahdollisuuden.

Ensimmäinen sarjaahybriditroolari Selfa Arcticin Øra as:lle valmistama Karoline (11 x 4,2 m, 95 GT), joka on ollut käytössä jo vuodessa 2015, vastaa kooltaan suomalaisia sisävesitroolareita.<sup>163</sup>

### 17.3 Pienten perämoottorialusten kehitys

Pienten perämoottorialusten tekniseen kehitykseen lupaavimmat kehityspolut ovat sähköistäminen, biometaani ja vety. Etanoli ja metanoli olisivat nelitahtiperämoottoreissa teknisesti mahdollisia hyvin pienin muutoksin, mutta on epätodennäköistä, että muutossarjoja tähän koskaan tulee markkinoille (vrt. E85-polttoaineen katoaminen autokäytöstä). Myös E85-polttoaineen saatavuus tulevaisuudessa ja metanolin saatavuus sisämaassa yleensä ovat ongelmia.

Sähköperämoottoreita on ollut saatavilla jo pitkään ja niiden saatavuus on koko ajan parantumaan päin. Pieniä alle 10 kW moottoreita on saatavilla jo lähes kaikilta suurilta valmistajilta. Suurempien 25–50 kW moottorien saatavuus on rajoitetumpi, mutta niitäkin on markkinoilla paljon. Kuva 10 esittää Torqueedo Deep Blue 50 perämoottoria, jonka teho on 50 kW. Kuvassa näkyvällä 40 kWh Deep Blue Batterie 40 akulla valmistaja lupaa toiminta-aikaa n. 50 min täydellä kaasulla. Moottorin ja sen oheislaitteiden ja kaapeloinnin paino on n. 140 kg, mikä on parikymmentä kiloa vähemmän kuin vastaavan tehoisten nelitahtimoottoreiden.<sup>164</sup>



Kuva 10 Torqueedo Deep Blue 50 perämoottori (vasemmalla) ja perämoottoriin liittyvät veneeseen asennettavat järjestelmät (akku, laturi, ohjausyksikkö, kaasukahva ja näyttö) (oikealla) (Kuva: Torqueedo)

Vaikka sähköperämoottorit ovat yleistymässä nopeasti esimerkiksi viranomaiskäytössä niiden käyttöä rajoittaa edelleen akkujen paino. Kuvassa näkyvän akun 40 kWh akun paino on 284 kg ja mitat 1666 x 993 x 173 mm. Suurempi 80 kWh akku painaa 562 kg ja on kooltaan 1800 x 853 x 236 mm. Jos

<sup>163</sup> "Business Norway", viitattu 10. helmikuuta 2025, <https://businessnorway.com/solutions/selfa-arctic-has-delivered-the-world-s-first-hybrid-fishing-boat>.

<sup>164</sup> "Outboard - Deep Blue 50 R - Torqueedo", viitattu 10. helmikuuta 2025, <https://www.torqueedo.com/en/products/outboards/deep-blue/deep-blue-50-r/M-3201-00.html?srltid=AfmBOopiOMgW5Wh51x0RGsmkF5IoTdKwrT7Zp6W2bzwRxaTxgzIJTns0>.

veneelle tavoitellaan neljän tunnin toiminta-aikaa riittävällä reservillä akkujen paino, nousee helposti yli 1000 kg:n, riippuen toki käyttöprofiilista. Akkujen paino ja koko vaikuttavat veneen kokoon ja käytettävyyteen hyvin paljon. Sähköisen perämootorin hinta on 4–6 kertainen nelitahtiperämootoriin verrattuna. Akkujen keskihinta oli vuoden 2024 lopussa n. 110 €/kWh. Ratkaisu on kuitenkin potentiaalinen kehityspolku huolimatta sen kalleudesta ja siihen liittyvistä teknisistä haasteista. Sähköisen voimalinjan rajattu akkukapasiteetti johtaa myös väistämättä rajoitteisiin käyttötavalle. Ratkaisua olisi mahdollista kokeilla pilottiprojektilla, jolla sen käytöstä haettaisiin kokemuksia ja tutkittaisiin teknisten rajoitteiden vaikutusta itse kalastukseen.

Toinen potentiaalinen kehityspolku metaanin hyödyntäminen polttoaineena. Kaasukäyttöisiä perämootoreita on markkinoilla vain pienissä teholuokissa (alle 10 kW) ja nestekaasulle. Metaanikonversioita on tehty perämootoreihin, mutta niihin ei ole valmiita muutossarjoja markkinoilla. Periaatteessa nelitahtiperämootori on kuitenkin muutettavissa metaanille aivan samalla tavoin kuin autonkin moottori. Metaanitankit vievät veneestä paljon tilaa verrattuna bensiinisäiliöön (3–4 kertaa), mutta kuitenkin vähän verrattuna sähköisen voimalinjan akkuun. Tämän ratkaisun kokeilu melko yksinkertaisella pilottiprojektilla olisi mahdollista, mutta edellyttäisi potentiaalisen muutossarjavalmistajan mukanaoloa, jotta ratkaisu voisi kehittyä kaupalliseksi tuotteeksi.

Vety ratkaisu on vedyn hintalupauksista ja verkon laajenemisesta johtuen myös potentiaalinen kehityspolku, mutta sen pilotoiminen käytännössä ei ole vielä lähivuosina mahdollista koska ensimmäinen vetyä käyttävä prototyyppi perämootori esiteltiin julkisesti vasta vuoden 2024 helmikuussa.<sup>165</sup>



Kuva 11 Yamahan vetyperämootorin prototyyppi (Kuva: Yamaha)

## 17.4 Kalastusalusten voimalinjojen kehitys

<sup>165</sup> "Yamaha Develops Hydrogen Fuel System - Yamaha Outboards", Yamaha Motor Corporation, viitattu 1. helmikuuta 2025, <https://yamahaoutboards.com/newsroom/company-news/yamaha-develops-hydrogen-fuel-system-with-roush-and-regulator-marine-hydrogen-outboard-unveiled-at>.

## 18 JOHTOPÄÄTELMÄT

Yleisesti ottaen hiilineutraalit vaihtoehdot kulkuvälineiden voimalinjoiksi elävät murrosta, jossa ei tällä hetkellä ole mahdollista ennustaa mikä ratkaisu tulee yleistymään ja ottamaan johtavan markkina-aseman. Kaikilla vaihtoehdoilla sekä hyviä että huonoja puolia.

Kalastusalusten hiilineutraaliuden saavuttaminen on monimutkainen ja monivaiheinen prosessi, joka vaatii useiden eri teknologioiden ja polttoaineiden yhdistämistä. Hiilineutraaliuden saavuttaminen edellyttää monipuolista lähestymistapaa, jossa yhdistetään eri teknologiaratkaisuja ja polttoaineita. Yksittäinen teknologia tai polttoaine ei yksinään riitä kattamaan kaikkia tarpeita, mikä korostaa tarvetta kehittää ja ottaa käyttöön useita eri ratkaisuja rinnakkain.

Useat vaihtoehdot polttoaineet ja teknologiat ovat vielä kehitysvaiheessa, ja niiden laajamittainen käyttöönotto vaatii merkittäviä investointeja infrastruktuuriin. Esimerkiksi biopolttoaineiden ja synteettisten polttoaineiden tuotanto- ja jakeluinfrastukturi on vielä kehittymätön, mikä tarkoittaa, että tarvitaan sekä julkista että yksityistä rahoitusta infrastruktuurin kehittämiseksi.

Hiilineutraalien polttoaineiden ja teknologioiden kustannukset ovat tällä hetkellä korkeammat kuin perinteisten fossiilisten polttoaineiden, mikä asettaa haasteita erityisesti pienille kalastusyrityksille, jotka toimivat tiukalla budjetilla. On tärkeää kehittää taloudellisesti kestäviä ratkaisuja ja mahdollisesti tarjota taloudellisia kannustimia ja tukia siirtymän helpottamiseksi.

Energiätehokkuuden parantaminen on keskeinen osa hiilineutraaliuden saavuttamista. Tämä voidaan saavuttaa sekä operatiivisen toiminnan kehittämällä että teknisillä parannuksilla, kuten rungon ilmavoitelulla, tuuliväestisellä propulsiolla ja lämmön talteenotolla. Energiätehokkuuden parantaminen vähentää polttoaineenkulutusta ja siten myös päästöjä. Erilaisten pilottiprojektien ja kokeilujen avulla voidaan kerätä arvokasta tietoa eri teknologioiden ja polttoaineiden toimivuudesta käytännössä, mikä auttaa tunnistamaan parhaat ratkaisut ja kehittämään niitä edelleen. Pilottiprojektit voivat myös toimia esimerkkeinä ja rohkaista laajempaa käyttöönottoa.

Vety ja sen jatkojalosteet, kuten synteettiset polttoaineet, ovat keskeisessä asemassa tulevaisuuden hiilineutraalissa merenkulussa. Vedyn tuotannon ja jakelun kehitys on ratkaisevan tärkeää, jotta vetyyn perustuvat ratkaisut voivat yleistyä. Vedyn tuotantokustannusten odotetaan laskevan merkittävästi tulevaisuudessa, mikä parantaa sen kilpailukykyä.

Kalastusaluksille voidaan määritellä erilaisia kehityspolkuja, jotka huomioivat alusten koon, käyttöympäristön ja käyttötavan. Esimerkiksi meritroolareille sopii hybriditroolari, joka yhdistää sähköiset ja hiilineutraalit tehonlähteet, kun taas sisävesitroolareille biometaanin on lupaava vaihtoehto. Pienten perämoottorialusten kohdalla sähköistäminen ja biometaanin ovat potentiaalisia kehityspolkuja.

Kansainvälinen yhteistyö ja yhtenäiset säännökset ovat välttämättömiä, jotta hiilineutraalit ratkaisut voivat yleistyä merenkulussa. EU:n ilmastotavoitteet ja sääntelykehikset, kuten Fit for 55-paketti, tarjoavat suuntaviivat ja kannustimet päästöjen vähentämiseksi. Yhteistyö eri maiden ja toimijoiden välillä voi nopeuttaa teknologian kehitystä ja käyttöönottoa. Miehistön koulutus ja tietoisuuden lisääminen energiätehokkuuden ja hiilineutraaliuden merkityksestä ovat tärkeitä tekijöitä. Koulutusohjelmat ja kampanjat voivat auttaa muuttamaan toimintatapoja ja edistämään kestävästä merenkulkua.

Yhteenvedon voidaan todeta, että kalastusalusten hiilineutraaliuden saavuttaminen vaatii monipuolista ja joustavaa lähestymistapaa, jossa yhdistetään eri teknologioita ja polttoaineita. Tämä edellyttää merkittäviä investointeja infrastruktuuriin ja teknologian kehittämiseen, mutta tarjoaa samalla mahdollisuuden vähentää merkittävästi kalastusalusten hiilidioksidipäästöjä ja edistää kestävästä merenkulkua. Lisäksi kansainvälinen yhteistyö, säännöstely ja koulutus ovat keskeisiä tekijöitä onnistuneessa siirtymässä kohti hiilineutraalia merenkulkua.

## LIITE 1 ENERGIÄNLÄHTEIDEN OMINAISUUDET

		Gravimetrinen energiasisältö MJ/kg	Volumetrinen energiasisältö MJ/m <sup>3</sup>	Tiheys kg/m <sup>3</sup>	Max. hyötysuhde
Dieselmoottori	Dieselpolttoaineet	43,2	36720,0	850,0	45 %
	Biodieselpolttoaineet	37,0	32560,0	880,0	45 %
	Bio- ja eMetaani	50,0	37,5	0,8	45 %
	eDiesel	43,0	36550,0	850,0	45 %
	Bio- ja eMetanoli	19,7	15602,4	792,0	45 %
	eAmmoniakki	22,5	16,4	0,7	45 %
	Dimetyylieetteri	28,0	59,1	2,1	45 %
	Etanolidiesel	40,1	32882,0	820,0	45 %
	Vety	120,0	10,0	0,1	45 %
Ottomoottori	Bensiini E10/E5	40,9	29857,0	730,0	40 %
	Bio- ja eMetanoli	19,7	15602,4	792,0	40 %
	Etanoli E85	33,1	26149,0	790,0	40 %
	eFuel	32,4	23652,0	730,0	40 %
	Bio- ja eMetaani	50,0	37,5	0,8	40 %
	Vety	120,0	10,0	0,1	40 %
Hybridi	Sähkö+polttimoottori	40,0			40 %
Täyssähkö	Akku	1,0	2000,0		84 %
Polttokenno	Vety	120,0			48 %
Tuulivoima	Mekaaninen aputuulivoima				65 %
	Sähköinen				84 %
Aurinkovoima					84 %
Ydinvoima		3700000,0			9 %



## LIITE 2 VERTAILUTAULUKKO

	Voimalinjan saatavuus			Voimalinjan koko ilman pa.säiliötä 1...5 (nykyratkaisu =1)	Toimintasäde muuttamatta pa.säiliön kokoa 1...5 (nykyratkaisu =1)	Jakelu ja varastointi- infrastruktuuri 1...5	Tekninen soveltuvuus erikokoisiin aluksiin			Miten otettavissa käyttöön? 1...3	Ratkaisun pisteytys			
	Nyt	+10v	+20v				Perämoottorialus	Sisävesitroolari	Avomeritroolari		Perämoottorialus	Sisävesitroolari	Avomeritroolari	
Dieselmoottori	Dieselpolttoaineet	x	x	x	1	1	1		x	x	1		24	24
	Biodieselpolttoaineet	x	x	x	1	1	2		x	x	1		23	23
	Bio- ja eMetaani	x	x	x	1	4	1		x	x	2		20	20
	eDiesel	x	x	x	1	1	2		x	x	1		23	23
	Bio- ja eMetanoli	x	x	x	1	3	2		x	x	2		20	20
	eAmmoniakki		x	x	3	5	4			x	3			11
	Dimetyylieetteri		x	x	2	3	4		x	x	3		14	14
	Etanolidiesel	x			1	1	2		x	x	1		19	19
	Vety	x	x	x	1	5	3		x	x	3		16	16
Ottomoottori	Bensiini E10/E5	x	x	x	1	1	1	x			1	24		
	Bio- ja eMetanoli	x	x	x	1	3	2	x			2	20		
	Etanoli E85	x			1	2	1	x			2	18		
	eFuel	x	x	x	1	2	2	x			1	22		
	Bio- ja eMetaani	x	x	x	2	4	1	x			2	19		
	Vety	x	x	x	1	5	3	x			3	16		
Hybridi	Sähkö+polttomoottori	x	x	x	2	1	1		x	x	3		21	21
Täyssähkö	Akku	x	x	x	1	4	2	x			3	18		
Polttokenno	Vety	x	x	x	1	5	3	x	x	x	3	16	16	16
Tuulivoima	Mekaaninen aputuulivoima	x	x	x	4	1	1		x	x	3		19	19
	Sähköinen	x	x	x	5	1	1				3			
Aurinkovoima		x	x	x	5	5	1				3			
Ydinvoima				x	5	1	1				3			