

Petri Inkiläinen

# Päästörajoitusten ja -tavoitteiden vaikutus merenkulun polttoaineisiin

Opinnäytetyö  
Merenkulku

2020



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

<b>Tekijä/Tekijät</b>	<b>Tutkintonimike</b>	<b>Aika</b>
Petri Inkiläinen	Insinööri (AMK)	Helmikuu 2020
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		33 sivua
Päästörajoitusten ja -tavoitteiden vaikutus merenkulun polttoaineisiin		
<b>Toimeksiantaja</b>		
Xamk		
<b>Ohjaaja</b>		
Joel Paananen		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Opinnäytetyössä tarkastellaan merenkulun polttoaineratkaisuja nyt ja tulevaisuudessa. Tavoitteena on perehtyä miten IMO:n asettamat päästörajoitukset ja –tavoitteet vaikuttavat merenkulussa käytettäviin polttoaineratkaisuihin. Työssä tarkastellaan nyt voimaantulevien rajoitusten vaikutusta sekä pidemmälle tulevaisuuteen tähtäävien tavoitteiden vaikutuksia polttoaineratkaisuihin.</p>		
<p>Työssä käsitellään nyt käytössä olevat merenkulun polttoaineet sekä mahdolliset tulevaisuuden vaihtoehtoiset ympäristöystävälliset polttoaineet. Työ käsittelee vaadittavia toimenpiteitä polttoaine ratkaisujen osalta, joita IMO:n asettamat päästörajoitukset ja tavoitteet vaativat toteutuakseen. Työssä käsitellään myös kasvihuonepäästöjä ja toimenpiteitä niiden pienentämiseksi. Nykyiset sekä tulevaisuuden vaihtoehtoiset polttoaineet käydään läpi ja pakokaasujen puhdistamisesta pakokaasupesureilla kerrotaan yleisesti.</p>		
<p>Lähdemateriaalina on käytetty merenkulkualan julkaisuja, aiheeseen liittyviä tutkimusmateriaalia, kirjallisuus- ja verkkolähteitä. Lisäksi työn tekijän omakohtaista tietotaitoa on hyödynnetty.</p>		
<p>Työssä selvisi, että merenkulkuala on suurien muutosten edessä. IMO:n rajoitukset ja tavoitteet tuovat mukanaan suuria haasteita ja paljon kysymyksiä. Kunnianhimoiset tavoitteet ovat kuitenkin mahdollisia saavuttaa, mutta se vaatii tehokkaita ympäristöystävällisiä ratkaisuja nyt ja lähitulevaisuudessa. Yksi merkittävimmistä ratkaisuista päästöjen vähentämiseksi tulee olemaa ympäristöystävälliset vaihtoehtoiset polttoaineet, joihin tässä työssä on keskitytty. Näiden polttoaineiden kehitystyö on kesken, eikä vielä varmuudella tiedetä mikä polttoaine tulevaisuudessa tulee valtaamaan markkinoita. Useissa polttoaineissa on kuitenkin potentiaalia ja niistä on mahdollista tulla kilpailukykyisiä vaihtoehtoja markkinoille.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
IMO, kasvihuonekaasut, rikkipäästöt, vaihtoehtoiset polttoaineet		

<b>Author (authors)</b>	<b>Degree</b>	<b>Time</b>
Petri Inkiläinen	Bachelor of engineering	February 2020
<b>Thesis title</b>	33 pages	
The impact of emission limits and targets on marine fuels		
<b>Commissioned by</b>		
Xamk		
<b>Supervisor</b>		
Joel Paananen		
<b>Abstract</b>		
<p>This thesis looks at marine fuel solutions now and in the future. The aim is to look at how IMO emission limits and targets affect the fuel solutions used in maritime sector. The work examines both the impact of the restrictions coming into force and the impact of longer-term goals on fuel solutions.</p> <p>The thesis present the marine fuels currently and possible future alternative fuels. The thesis presents the required measures for the fuel solutions required by the IMO to meet the emission limits and targets. The thesis also address greenhouse gas emissions and measures to reduce them. Existing and future alternative fuels are reviewed and exhaust gas scrubbing is widely discussed.</p> <p>Maritime publications, related research material, literary and online sources have been used as source material. In addition, the worker's own know-how has been harnessed.</p> <p>The thesis showed that the shipping industry is facing major changes. The constraints and objectives of the IMO present great challenges and many questions. However, ambitious goals can be achieved, but require effective environmentally friendly solutions now and in the near future. One of the most significant solutions for reducing emissions will be the use of environmentally friendly alternative fuels, which are the focus of this work. The development of these fuels is in progress and it is not yet known which fuel will take over the market in the future. However, many fuels have the potential to become competitive alternatives to the market.</p>		
<b>Keywords</b>		
IMO, greenhouse gas, Sulphur emissions, alternative fuels		

## SISÄLLYS

1	LYHENTEET .....	6
2	JOHDANTO .....	7
3	IMO 2020 .....	8
3.1	Rikkioksidit (SO <sub>x</sub> ).....	8
3.2	Rikkirajoitukset .....	9
3.3	Rajoitusten valvonta .....	10
3.4	Uhkatekijät .....	10
4	IMO 2050 .....	11
4.1	Tavoitteet .....	11
4.2	Tavoitteiden saavuttaminen .....	12
4.2.1	Nopeuksien pienentäminen .....	12
4.2.2	Vaihtoehtoiset polttoaineet .....	13
4.3	Kasvihuonekaasupäästöt .....	13
5	POLTTOAINEET MERENKULUSSA .....	15
5.1	MDO (Marine diesel oil).....	15
5.2	HFO (heavy fuel oil) .....	16
5.3	LNG (liquid natural gas) .....	16
5.3.1	Käyttö merenkulussa .....	16
5.3.2	Päästöt .....	17
6	POLTTOAINEET SUOMALAISILLA ALUKSILLA.....	17
7	PAKOKAASUPESURIT.....	18
7.1	Pakokaasupesurijärjestelmät .....	18
7.1.1	Avoin kierto .....	19
7.1.2	Suljettu kierto.....	19

7.1.3	Pesurijärjestelmän valinta .....	20
7.1.4	Pakokaasupesurit alustyypeittäin.....	21
8	TULEVAISUUDEN VAIHTOEHTOISET POLTTOAINEET .....	22
8.1	Tulevaisuuden vaihtoehtoisten polttoaineiden ongelmat.....	24
8.1.1	Varastointi.....	25
8.1.2	Saatavuus.....	25
8.2	Siirtyminen tulevaisuuden vaihtoehtoiisiin polttoaineisiin .....	26
8.3	Polttokennot .....	26
8.3.1	Ominaisuudet.....	27
8.3.2	Polttokennot merenkulussa.....	28
8.4	Vaihtoehtoiset polttoaineet .....	28
8.5	Siirtyminen vaihtoehtoiisiin polttoaineisiin .....	31
9	YHTEENVETO .....	32
	LÄHTEET .....	34

## 1 LYHENTEET

IMO = International maritime organization, eli kansainvälinen merenkulkujärjestö.

SECA = Sulphur Emission Control Area eli alue, jossa rikkipäästöjä on rajoitettu.

OPEC = Organization of the Petroleum Exporting Countries, eli öljyvienti-maiden järjestö.

MEPC = Marine Environment Protection Committee, eli meriympäristön suoje-lukomitea.

MDO = Marine Diesel Oil, eli meridieselöljy.

HFO = Heavy Fuel Oil, eli raskas polttoöljy.

LNG = Liquid Natural Gas, eli nesteytetty maakaasu.

EU = European Union, eli Euroopan Unioni.

## 2 JOHDANTO

Kansainvälinen merenkululaitos IMO on asettanut aluksille uusia juuri voimaantulleita rikki päästö rajoituksia, jotka koskevat merenkulkualaa maailmanlaajuisesti. Lisäksi IMO on asettanut kunnianhimoiset tavoitteet kasvihuonepäästöjen pienentämiseen meriliikenteessä tulevaisuudessa. Isossa osassa näiden päästövähennyksien toteutumisessa ovat alusten käyttämät polttoaineet.

IMO:n asettamat uudet rajoitukset alusten rikki päästöihin vaikuttavat alusten polttoaineisiin tällä hetkellä ja päästötavoitteiden toteutuminen vaatii uusien ympäristöystävällisimpien polttoaineiden tuomista markkinoille tulevaisuudessa.

Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin näitä IMO:n asettamia rajoituksia ja tavoitteita sekä tutkittiin näiden vaikutusta alusten polttoaineratkaisuihin nyt ja tulevaisuudessa. Työssä käsitellään tällä hetkellä merenkulussa käytössä olevia polttoaineita sekä polttoaineita, jotka mahdollisesti tulevat merenkulussa käytettäväksi tulevaisuudessa.

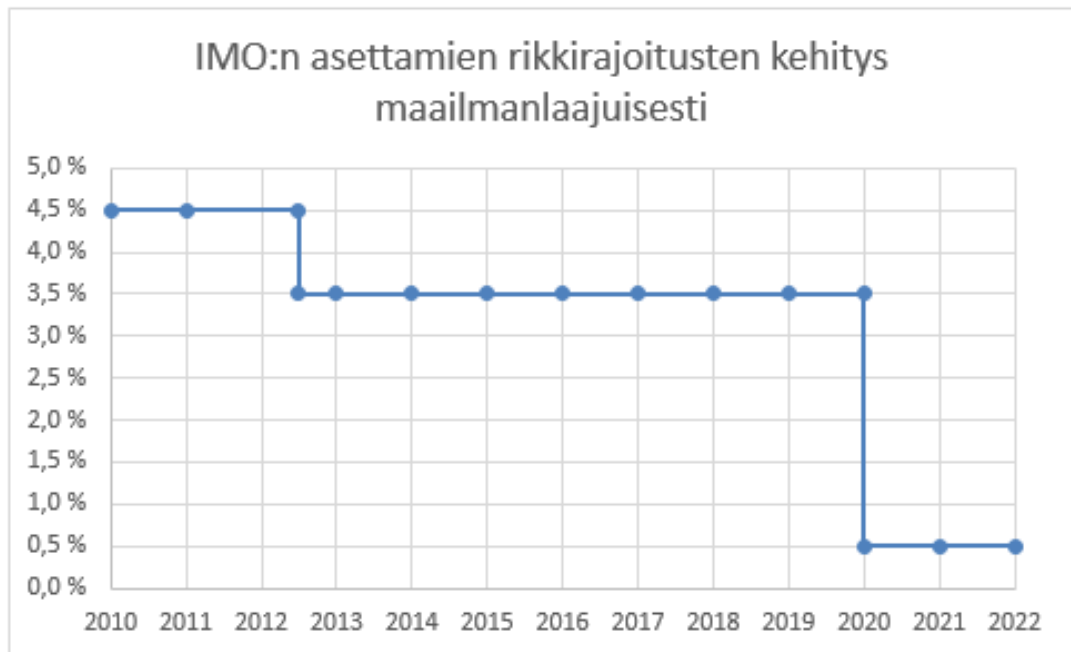
Aiheesta ei löydy juuri suomenkielistä tutkimusmateriaalia, joten tämä työ toimii myös suomenkielisenä tietopakettina ja yhteenvetona englanninkielisistä tutkimuksista. Tutkimusaineistona on siis käytetty lähinnä englanninkielistä lähdemateriaalia.

Koko tutkimuksen pohjana on käytetty IMO 2050 strategiaa. Tämä on siis kasvihuonepäästöjen vähentämistrategia, joka tähtää kasvihuonepäästöjen puolittamiseen merenkulun osalta vuoteen 2050 mennessä. Työn tekeminen alkoi tähän strategiaan perehtymällä, jonka jälkeen alettiin keräämään aiheeseen liittyvää tutkimusaineistoa. Tutkimusaineistoa löytyi usealta eri toimijalta ja näitä tutkimuksia vertailemalla ja yhdistelemällä rakennettiin kokonaisuus, joka käsittelee aihetta lähinnä polttoaineiden osalta.

### 3 IMO 2020

Vuoteen 2020 asti yleisin aluksilla käytetty polttoaine on raskas polttoöljy, jonka osuus on vuonna 2019 noin 75 % käytetyistä polttoaineista (Bureau Veritas Marine & Offshore 2019). Raskas polttoöljy sisältää rikkiä, joka päätyy pakokaasujen mukana ilmakehään. Alusten rikkipäästöjä rajoittamalla pyritään parantamaan ilmanlaatua ja suojelemaan ympäristöä. (IMO 2019.)

Taulukko 1. IMO:n asettamien rikkirajoitusten kehitys maailmanlaajuisesti (IMO 2019)

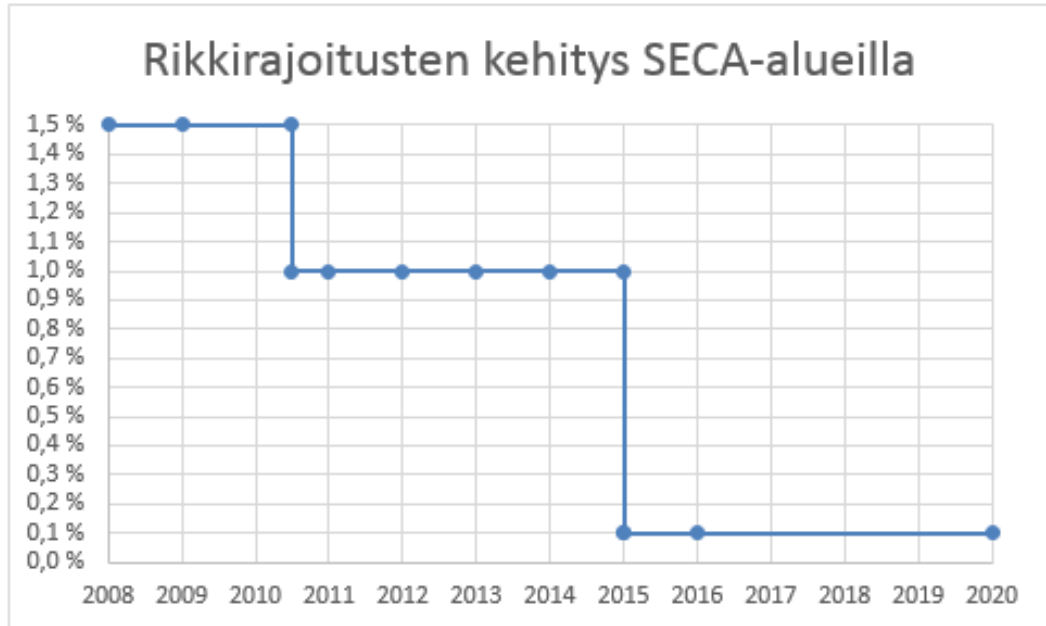


#### 3.1 Rikkioksidit (SO<sub>x</sub>)

Rikkioksidit (SO<sub>x</sub>) ovat haitallisia ihmisten terveydelle ja ilmastolle. Ihmiselle rikkioksidit aiheuttavat hengitysoireita ja keuhkosairauksia ja ilmakehässä rikkioksidit voivat johtaa hapansateeseen ja sitä kautta vahingoittaa viljakasveja, metsiä ja vesieliöitä sekä edistää merien happamoitumista. (IMO 2019.)



Taulukko 2. IMO:n asettamien rikkirajoitusten kehitys (IMO 2019)



### 3.2 Rikkirajoitukset

Ensimmäiset rikkipäästöjen vähentämistä koskevat kansainvälisen merenkulkujärjestön IMO:n määräykset tulivat voimaan 2005 (MARPOL- yleissopimuksen liite VI). Tästä lähtien rikkioksidien raja-arvoja on tiukennettu asteittain (Taulukko 1). Merkittävä määräys astuu voimaan 1. tammikuuta 2020, josta lähtien IMO edellyttää polttoaineilta 0,5 %:n rikkirajoitteiden täyttämistä vuoden 2020 alusta alkaen alueilla, joilla raja on aiemmin ollut 3,5%. Tarkoittaa alueita, jotka eivät kuulu SECA-alueisiin (sulphur emission control areas), joilla rikkirajoitus on jo ennestään rajoitettu. Erityisalueisiin kuuluvat Itämeri, Pohjanmeri, Yhdysvaltojen rannikot ja Hawaji (Kuva 1). SECA-alueilla rikkirajoitusta on tiukennettu jo aiemmin (Taulukko 2) ja nykyään raja näillä alueilla on 0,1%. Rajoitus vähentää merkittävästi alusten rikkioksidipäästöjen määrää ja sillä pitäisi olla merkittäviä terveys- ja ympäristöhyötyjä. (IMO 2019.)



Kuva 1. SECA-alueet (EGCSA 2019)

### 3.3 Rajoitusten valvonta

Rajoitusten noudattamista pyritään valvomaan useilla toimenpiteillä. Konkreettisin toimenpide on kieltää polttoaineiden, joiden rikkipitoisuus on yli 0,5 % kuljetus aluksiin, joissa ei ole pakokaasupesureita asennettuna muuten kuin rahina kuljetettavaksi. Aluksella on myös velvollisuus ilmoittaa lippuvaltiolle sekä määräsätaman viranomaiselle, mikäli se ei edellisestä satamasta ole voinut hankkia vaatimusten mukaista polttoainetta. Polttoaineista otetaan myös näytteitä, jotka toimitetaan testattavaksi. (Shell Marine 2019.)

### 3.4 Uhkatekijät

Siirtyminen uusiin rikkirajoituksiin maailmanlaajuisesti 2020 vaikuttaa kansainväliseen meriteollisuuteen huomattavasti enemmän kuin 2015 viimeksi tiukentuneisiin erityisalueiden (SECA) rikkirajoituksiin siirtyminen (Shell Marine 2019). Siirtyminen aiheuttaa suurta epävarmuutta öljytuotteiden saatavuuden ja hintatason osalta. Hintaan tulee vaikuttamaan monet eri tekijät kuten pakotteet, sodat, OPEC:n (Öljyä vientiin tuottavien valtioiden järjestö) toimet sekä kysyntä. Hinnan oletetaan joka tapauksessa kysynnän kasvaessa nousevan. Lopullista polttoaineiden hinnannousua on kuitenkin vaikea ennustaa. (Kuehne+Nagel 2019.) Öljypohjaisten polttoaineiden mahdollisesti rajoitetun saatavuuden vuoksi IMO:n rajoitusten saavuttamiseksi tarvitaan myös muita polttoaineita, kuten jatkuvasti yleistyvää nesteytettyä maakaasua (LNG) sekä biopolttoaineita (Shell Marine 2019).

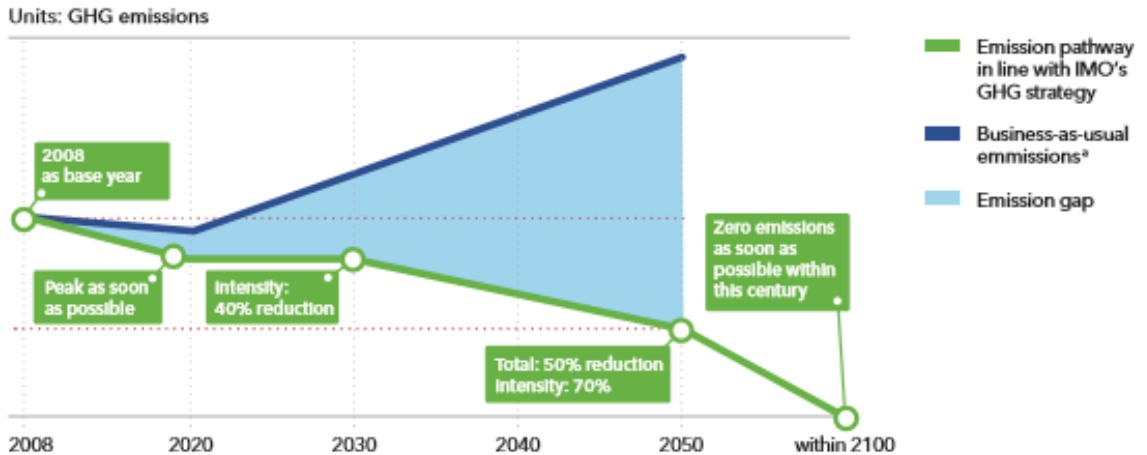
## **4 IMO 2050**

Kansainvälisen merenkulkujärjestön IMO:n tavoitteena on puolittaa merenkulusta aiheutuvat kasvihuonepäästöt vuoteen 2050 mennessä. Ensimmäinen askel tätä kohti otettiin, kun vuonna 2011 hyväksyttiin uusien alusten energiatehokkuutta koskevat määräykset. Määräykset tulivat voimaan vuonna 2013 ja tämä oli ensimmäinen pakollinen kasvihuonepäästöjen vähentämiseen tähtäävä toimenpide. Vuoden 2017 lopussa IMO hyväksyi uuden strategisen suunnan kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi. Vuoden 2019 alusta astuivat voimaan määräykset, joiden mukaan alusten, joiden bruttovetoisuus on vähintään 5000 gt tulee kerätä ja toimittaa polttoöljyjen kulutusta koskevat tiedot lippuvaltiolle ja tätä kautta IMO:lle. Määräykset hyväksyi IMO:n alainen MEPC (Marine Environment Protection Committee) komitea, joka hyväksyi myös etenemissuunnitelman alusten kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi. (IMO 2020.)

### **4.1 Tavoitteet**

IMO:n kasvihuonepäästöjen vähentämiseen tähtäävän strategian tavoitteina on parantaa uusien alusten energiatehokkuutta, vähentää hiilidioksidipäästöjä vähintään 40 % vuoteen 2030 ja 70 % vuoteen 2050 mennessä sekä vähintään puolittaa kasvihuonepäästöt kokonaisuudessaan vuoteen 2050 mennessä (kuva 2) (IMO 2020).

FIGURE 2.1

**IMO strategy for major reductions in GHG emissions from shipping**

Total: Refers to the absolute amount of GHG emissions from international shipping.

Intensity: Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emitted per tonne-mile.

\*Note that the business-as-usual emissions are illustrative, and not consistent with the emissions baseline used in our modelling (Chapter 6).

Source: DNV GL (2018a)

Kuva 2. Hiilidioksidipäästöjen vähentämissuunnitelma (DNV GL 2019)

## 4.2 Tavoitteiden saavuttaminen

Tutkimusten mukaan alukset, joiden bruttovetoisuus on yli 15 000 GT aiheuttavat 80 % hiilidioksidipäästöistä, vaikka näiden osuus maailman laivastosta on vain 30 %. Kasvihuonepäästöt ja erityisesti hiilidioksidipäästöt ovat kasvaneet viime vuosina tasaisesti. Meriteitse kuljetettavan rahdin määrä on myös viime vuosina kasvanut tasaisesti ja näiden välillä on selvä yhteys. IMO:n asettamiin päästötavoitteisiin pääseminen vaatii toimenpiteitä merenkulun toimijoilta mahdollisimman nopeasti. Jotta päästöjen kasvu saadaan pysäytettyä ja kääntymään laskuun, tulee varsinkin suurimpien alusten lähitulevaisuudessa ottaa enemmän vähäpäästöisiä ja päästöttömiä tekniikoita sekä ympäristöystävällisiä ja hiilineutraaleja polttoaineita käyttöön. (Dnv-GL 2019.)

### 4.2.1 Nopeuksien pienentäminen

Yksi vaihtoehto päästöjen pienentämiseen on laivojen nopeuksien rajoittaminen. Laivojen nopeuksia alentamalla vähenee laivan polttoaineenkulutus ja tämän ansiosta myös pakokaasupäästöt merkittävästi. Tutkimusten mukaan nopeutta vähennettäessä 20 %, laskee aluksen polttoaineenkulutus jopa 35 %. Etuna tässä vaihtoehdossa on, että se saadaan koskemaan myös nykyistä laivastoa, eikä ainoastaan uudisrakennuksia. Ongelmaksi tässä tulee alusten

kuljetustehokkuuden heikkeneminen, joka todennäköisesti paikattaisiin kasvattamalla alusten määrää. Tämä tarkoittaisi nopeuksien pienentämisestä saatujen päästöhyötyjen heikkenemistä. (DNV-GL 2019.)

#### **4.2.2 Vaihtoehtoiset polttoaineet**

Vaihtoehtoiset polttoaineet ovat varteenotettavin vaihtoehto huomattavien päästövähennysten toteuttamiseksi. Uusien ympäristöystävällisten polttoaineiden markkinoille tulon aikatauluista ei toistaiseksi ole tietoa. Ne vaativat vielä kehitystyötä tuotannon, kuljetus ja säilytys infrastruktuurin ja niitä käyttävien voimalähteiden osalta. Polttoaineen hinnalla ja varustamoiden investointikustannuksilla on myös suuri merkitys siihen, milloin uusia polttoaineita tulee yleisesti käyttöön. Vaihtoehtoiisiin polttoaineisiin siirtymistä voidaan nopeuttaa erilaisilla säädöksillä sekä taloudellisilla kannustimilla.

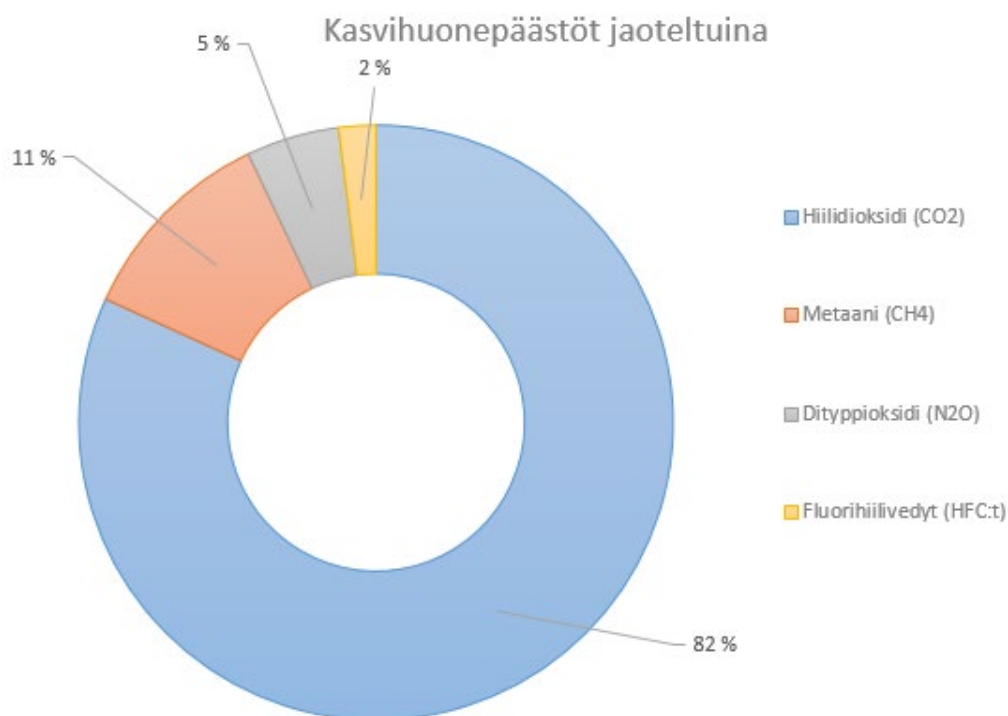
#### **4.3 Kasvihuonekaasupäästöt**

Vuonna 2017 ylivoimaisesti suurin osa kasvihuonepäästöistä EU:ssa syntyi energiantuotannosta. Energiantuotannon osuus tuotetuista kasvihuonepäästöistä on yli 80 %, kun seuraavaksi suurin osuus on maatalouden alle 9 %. (Euroopan parlamentti 2018.) Tämän vuoksi kasvihuonepäästöjen vähentämisessä suurin huomio tulee kiinnittää energiantuotantoon.

Yleisin ilmakehään päätyneet kasvihuonekaasu on hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>), jonka osuus kaikista kasvihuonepäästöistä oli 82 % vuonna 2017 (Taulukko 3). Muut kasvihuonepäästöjä aiheuttavat kaasut ovat metaani (CH<sub>4</sub>), dityppioksidi (N<sub>2</sub>O) ja Fluorihilivedyt (HFC:t). Kasvihuonepäästöiksi lasketaan myös perfluorihilivety (PFC), PCF- ja HFC- yhdistelmiä, rikkiheksafluoridi (SF<sub>6</sub>) ja typitrifluoridi (NF<sub>3</sub>). (Euroopan parlamentti 2018.)

Maailman kasvihuonepäästöistä kuitenkin vain hyvin pieni osa syntyy merenkulun seurauksena. Esimerkiksi vuonna 2018 maailman hiilidioksidipäästöistä vain noin 2,6 % aiheutui merenkulusta. Meriliikenne onkin ympäristöystävällisin kuljetusmuoto, kun päästöt suhteutetaan kuljetettuun rahtiin. (Hartonen 2019.)

Taulukko 3. Kasvihuonepäästöt v. 2017 (Euroopan parlamentti 2018)



### Hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>)

Hiilidioksidi on merkittävin ihmiskunnan tuottama kasvihuonekaasu ja valtaosa siitä on peräisin fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Hiilidioksidipäästöjä aiheutuu myös esimerkiksi metsien hävityksestä ja teollisuudesta. (Benviroc 2018.) Vuonna 2017 hiilidioksidin osuus kaikista kasvihuonepäästöistä oli n. 82% (taulukko 3).

### Metaani (CH<sub>4</sub>)

Metaani on huomattavasti hiilidioksidia voimakkaampi kasvihuonekaasu ja sitä syntyy fossiilisten polttoaineiden tuotannosta varastoinnista ja jakelusta. Metaanipäästöjä aiheuttaa myös karjantuotanto, riisinviljely, jätevedet, kosteikot sekä biomassan poltto. Metaania vapautuu siis luonnollisesti sekä ihmisen aiheuttamana. Ihmisten aiheuttamia metaanipäästöistä on arvioitu olevan noin

60-70 %. (Jokimäki 2011.) Vuonna 2017 metaanin osuus kaikista kasvihuonepäästöistä oli noin 11% (taulukko 3).

### **Dityppioksidi (N<sub>2</sub>O)**

Dityppioksidipäästöjä aiheuttavat maankäytön muutokset, typpilannoitteet, typpihapon valmistus ja polttoprosessit (Benviroc 2018). Vuonna 2017 dityppioksidien osuus kaikista kasvihuonepäästöistä oli noin 5 % (taulukko 3).

### **Fluorihilivedyt (HFC:t)**

Fluorihilivedyt ovat teollista alkuperää eikä niitä esiinny luonnostaan ilmakehässä. Fluorihilivetyjä käytetään esimerkiksi kylmälaitteissa. Vuonna 2017 fluorihilivetyjen osuus kaikista kasvihuonepäästöistä oli noin 2 % (taulukko 3).

## **5 POLTTOAINEET MERENKULUSSA**

Tällä hetkellä merenkulussa pääosin käytettävät polttoaineet ovat meridieselöljy eli MDO (marine diesel oil) ja raskas polttoöljy eli HFO (heavy fuel oil). Näiden lisäksi merenkulussa käytetään polttoaineena myös nesteytettyä maakaasua eli LNG:tä (liquid natural gas), jonka käyttö polttoaineena kasvaa jatkuvasti.

### **5.1 MDO (Marine diesel oil)**

MDO eli meridieselöljy on polttoaine, joka koostuu erilaisten tisleiden ja raskaiden polttoaineiden seoksista. Tavallisesta dieselistä se eroaa siten että siinä on mukana myös raskasta polttoöljyä, eikä pelkkää tisleettä. Meridieselöljy sisältää kuitenkin raskasta polttoöljyä vain hyvin vähän, mutta se voidaan kuitenkin luokitella tisleeksi. Meridieselöljyä ei tarvitse lämmittää varastoinnin aikana toisin kuin raskasta polttoöljyä. Meridieselöljyä myydään eri rikkipitoisuuksilla ja matalarikkisillä vaihtoehdoilla pystytään ajamaan myös päästöjenrajoitusalueella. (Oiltanking s.a.)

## 5.2 HFO (heavy fuel oil)

Raakaöljystä valmistetaan polttoaineita tislaamalla ja tästä yli jäänyt öljy tunnetaan nimellä HFO eli raskas polttoöljy. Raskas polttoöljy luokitellaan jäänöspolttoaineeksi ja on erittäin rikkipitoista, mutta rikkipitoisuutta voidaan vähentää jatkokäsittelyllä. (Oiltanking 2018.) Raskasta polttoöljyä voidaan käyttää polttoaineena, mutta se vaatii alukselta pakokaasujen puhdistusta rikkipeureilla.

## 5.3 LNG (liquid natural gas)

LNG eli nesteytetty maakaasu on tiukennettujen ympäristövaatimusten johdosta noussut merenkulussa käytettäväksi polttoaineeksi. Nesteytetyllä maakaasulla on alhaiset päästöt, joten se alittaa IMO:n asettamat päästörajoitukset maailmanlaajuisesti. Tämän ansiosta LNG- alusten kysyntä maailmalla kasvaa, mutta toistaiseksi LNG- alusten osuus on maailmanlaajuisesti varsin pieni. (Bureau Veritas Marine & Offshore 2019.) Sen kuitenkin odotetaan yleistyvän merkittävästi lähitulevaisuudessa (Kuva 6).

### 5.3.1 Käyttö merenkulussa

Vuonna 2017 maailman kolmanneksi suurin konttienkuljetusyhtiö CMA CGM tilasi kiinasta yhdeksän 22 000 TEU:n konttialusta, jotka käyttävät nestemäistä maakaasua polttoaineenaan. Tätä ennen yleisesti nesteytetyn maakaasun sopivan polttoaineeksi pienemmillä alueilla toimiville aluksille. Tämän jälkeen esimerkiksi nestemäistä maakaasua polttoaineena käyttäviä risteilyaluksia on tilattu jo yli 20. CMA CGM: n tilausta voidaankin pitää merkittävänä käännekohtana, mitä tulee nesteytetyn maakaasun käyttöön merenkulun polttoaineena. (Bureau Veritas Marine & Offshore 2019.)

LNG:n kasvua merenkulun polttoainemarkkinoilla on hidastanut sen saatavuuden mahdollistaman infrastruktuurin hidas kasvu alkuvaiheessa. Tällä hetkellä sen saatavuus on rajoittunut tietyille alueille, mutta uusia LNG-terminaaleja ollaan avaamassa useita (Kuva 3). Nyt LNG on kuitenkin saanut jalansijan me-



renkulun polttoainemarkkinoilla, jonka ansiosta sen tuotantoon ja jakeluun uskalletaan panostaa. Tämän ansiosta se tulee saataville yhä useammille alueille ja on valmis valtaamaan suuren osan maailman polttoainemarkkinoista.



Kuva 3. nykyiset ja tulevat LNG terminaalit (Bureau Veritas Marine & Offshore 2019)

### 5.3.2 Päästöt

LNG pienentää öljypohjaisiin polttoaineisiin nähden aluksen hiilidioksidipäästöjä 25 %, mutta sen ongelmana ovat metaanipäästöt. Palamatonta metaania voi pakokaasujen mukana päästä ilmakehään ja se on lyhyellä aikavälillä voimakas kasvihuonekaasu. Metaanipäästöihin vaikuttaa kuitenkin suuresti moottorin tyyppi ja sen käyttötapa, eikä sitä välttämättä aina vapaudu ilmakehään. (Mastomäki 2019, 4-5.)

## 6 POLTTOAINEET SUOMALAISILLA ALUKSILLA

Valtaosa suomalaisista aluksista liikennöi Itämeren alueella, joka kuuluu SECA-alueisiin. Tämän vuoksi suomalaiset alukset ovat jo ennestään käyttäneet vähärikkistä polttoainetta tai rikkipesureita, joten uudet rikkirajoitukset eivät juuri suomalaisiin aluksiin vaikuta. Suomalaisista aluksista suurin osa käyt-

tää polttoaineenaan vähärikkistä polttoöljyä eli meridieseliä. Osa suomalaisista aluksista käyttää myös raskasta polttoöljyä ja rikkipesureita esimerkkinä Finnlinesin Ro-Ro- alukset.

Turun telakalla rakennetut Tallink Siljan Megastar ja Viking Linen Viking Grace olivat ensimmäisiä matkustaja-aluksia, jotka ottivat nesteytetyn maakaasun käyttöön polttoaineena. Näistä Viking Grace käyttää hyväkseen myös tuulivoimaa siihen asennetun roottoripurjeen avulla. Turun telakalla rakennettiin myös Polaris, ensimmäinen jäänmurtaja, joka käyttää nesteytettyä maakaasua polttoaineenaan. Polaris on hybridialus, joka käyttää LNG:n lisäksi polttoaineenaan myös dieseliä. LNG- käyttöisiin aluksiin on myös siirtynyt konttialusvarustamo Containership, jolla on käytössään neljä kiinassa valmistettua LNG-konttialusta sekä ESL Shipping, jolla on kaksi LNG- käyttöistä kuivarah-tialusta. (Tuurnala s.a.)

## **7 PAKOKAASUPESURIT**

Vuoden 2020 alusta voimaan tulevien rikkirajoitusten takia, raskasta polttoöljyä käyttävien alusten tulee puhdistaa pakokaasujaan pakokaasupesureilla maailmanlaajuisesti. Pakokaasupesureiden päätarkoitus on poistaa pakokaasusta rikkioksideja, jotta pakokaasu alittaa sille asetetut rikkirajat. Pakokaasupesuri poistaa pakokaasusta myös suuren määrän hiukkasia. Pesureiden tehokkuutta valvotaan savukaasujen valvontajärjestelmällä, joka on sertifioitava. valvontajärjestelmällä tarkkaillaan erityisesti rikkioksidi- (SO<sub>2</sub>) ja hiilidioksidipitoisuuksia (CO<sub>2</sub>), jotka tulee olla IMO:n vaatimuksen mukaiset. (Bureau Veritas Marine & Offshore 2019.)

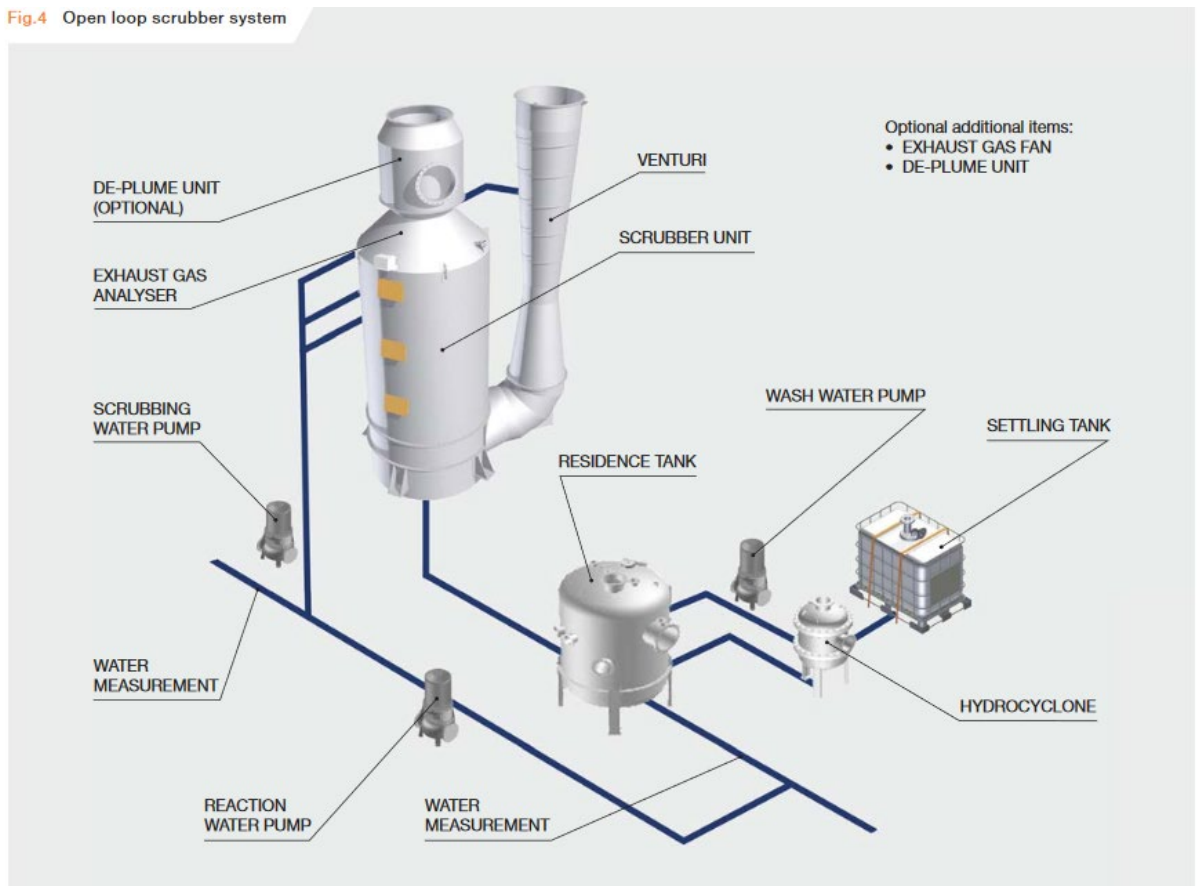
### **7.1 Pakokaasupesurijärjestelmät**

Pakokaasupesurijärjestelmiä on kolmentyyppisiä: avoimen kierron-, suljetun kierron- ja ne yhdistävä hybridi pesurijärjestelmiä. Pesurityyppi valitaan aluksen toiminta-alueen ja alustyyppin mukaan. (Bureau Veritas Marine & Offshore 2019.)

### 7.1.1 Avoin kierto

Avoimen kierron (open loop) pakokaasupesurit toimivat parhaiten aluksilla, jotka operoivat avomerellä. Avomerellä merivesi on riittävän emäksistä pakokaasujen pesua varten. Pesuvetenä käytetään merivettä, joka poistaa rikkioksidit pakokaasusta. Pakokaasu kulkee pesurin läpi, jossa se pestään merivedellä kolmessa eri vaiheessa. Pakokaasujen rikkioksidit reagoivat meriveden kanssa muodostaen rikkihappoa. meriveden emäksisyys neutraloi hapon, joten kemikaaleja ei tarvita. Pesuvesi käsitellään ja valvotaan, jotta se noudattaa määritettyjä päästökriteerejä ennen mereen päästämistä. (Wärtsilä 2017.)

Fig.4 Open loop scrubber system

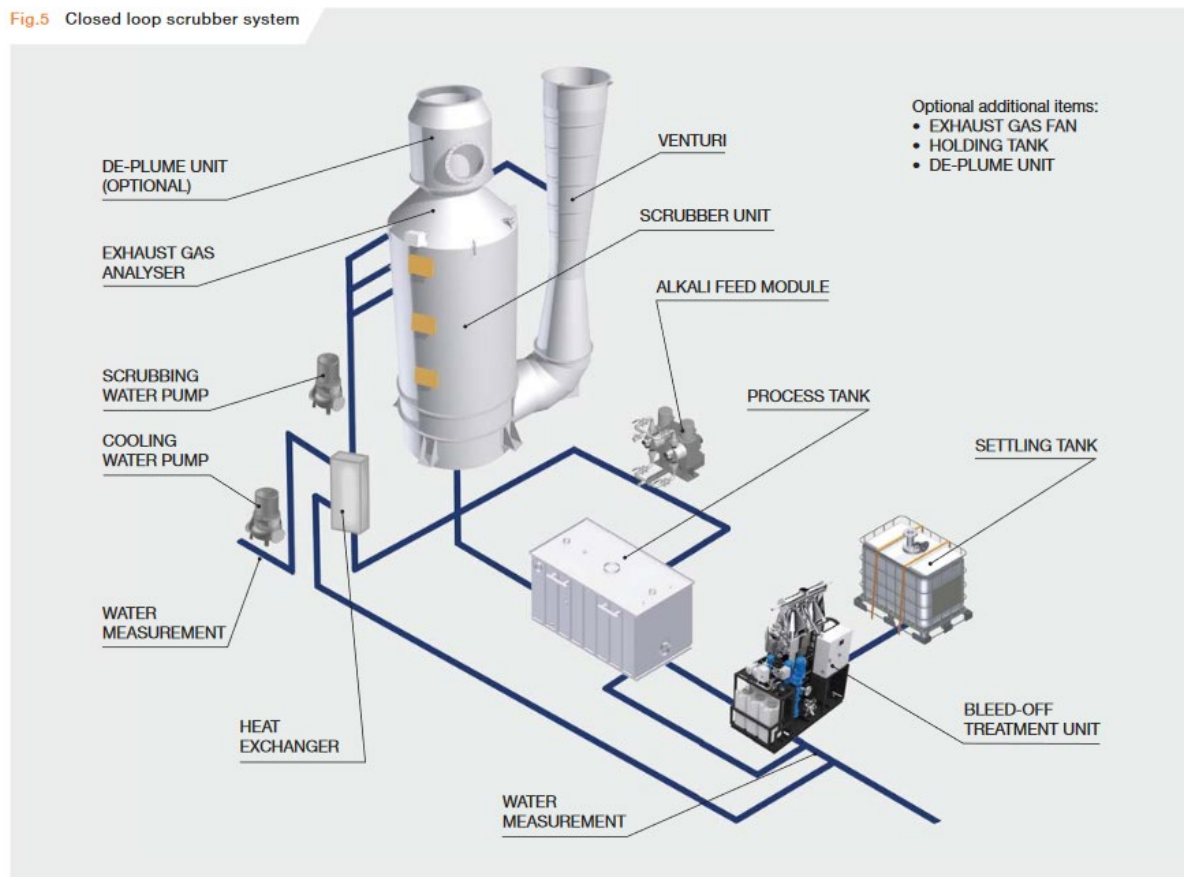


Kuva 4. Avoimen kierron pesurijärjestelmä (Wärtsilä 2017)

### 7.1.2 Suljettu kierto

Suljetun kierron (closed loop) pesujärjestelmä toimii suljettuna, joten meriveden emäksisyydestä ei tarvitse huolehtia. Suljetun kierron järjestelmä soveltuu

parhaiten käytettäväksi matalan emäksisyyden alueilla, kuten suurilla järviolueilla. suljetussa järjestelmässä pakokaasu menee pesuriin, jossa meriveden ja kaustisen soodan (NaOH) sekoitus reagoi pakokaasujen rikkioksidien kanssa ja neutraloi ne. Tämän jälkeen jätevesi puhdistetaan ja voidaan tyhjentää turvallisesti mereen. Jätevedet voidaan myös varastoida laivaan ja tyhjentää myöhemmin satamaan. (Wärtsilä 2017.)



Kuva 5. Suljetun kierron pesurijärjestelmä (Wärtsilä 2017)

### 7.1.3 Pesurijärjestelmän valinta

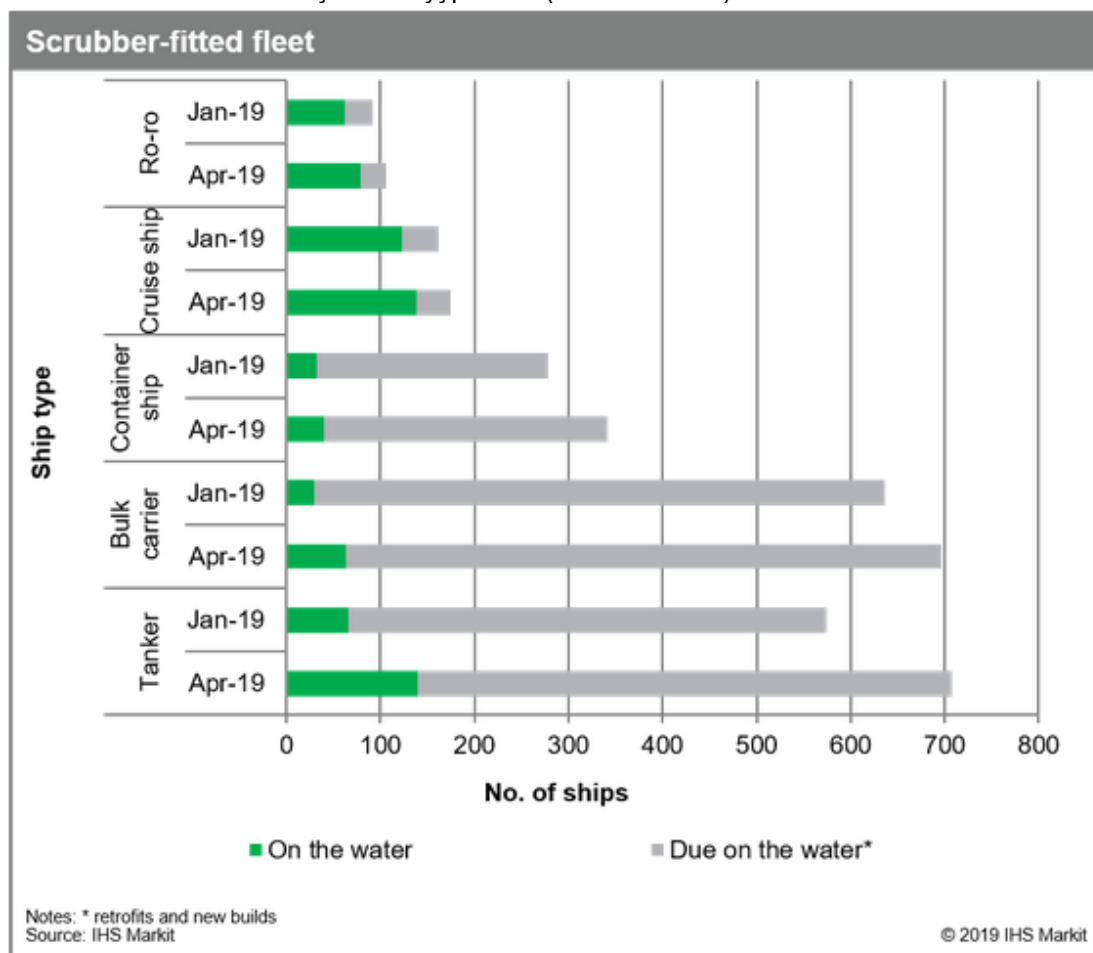
Pesuritekniikan ja kokoonpanon valintaan vaikuttaa myös moottorien lukumäärä, niiden teho ja aluksella käytössä oleva tila. Avoimen kierron pesurijärjestelmän muuttaminen jälkeinpäin suljettuun- tai hybridijärjestelmään on teknisesti mahdollista, mutta voi tuottaa vaikeuksia lähinnä tilanpuutteen takia. Tämän vuoksi yksi vaihtoehto on suunnitella avoimen kierron pesuri hybridivalmiiksi. Tällöin hybridijärjestelmän kytkentäpisteet asennetaan valmiiksi ja

tarvittaville laitteille, kuten vedenpuhdistusyksiköille, pumpuille ja tankeille jäte-  
tään tarpeeksi tilaa, jolloin sen muuttaminen hybridiksi esimerkiksi liikennealu-  
een muuttuessa on helppoa. (Bureau Veritas Marine & Offshore 2019.)

#### 7.1.4 Pakokaasupesurit alustyypeittäin

Arvioiden mukaan yli 2000 alusta käyttää vuoden 2020 alussa pakokaasupe-  
sureita, kun vuoden 2017 lopussa pesureita käytti noin 400 alusta (Shell ma-  
rine 2019). Eniten pakokaasupesurit tulevat lisääntymään kuivarahti- ja tank-  
kialuksilla, joissa pesurilla varustettujen alusten määrä tulee moninkertaistu-  
maan (Taulukko 4). Pakokaasupesureilla varustettujen konttialusten määrän  
odotetaan myös nousevan, mutta vähemmän kuin kuivarahti alusten ja tank-  
kereiden. Ro-ro ja risteilyaluksille odotetaan vain vähäistä lisäystä pakokaasu-  
pesureilla varustettujen alusten määrään, koska näissä pesureita otettiin käyt-  
töön muita alustyyppisiä aiemmin. (Atkinson 2019).

Taulukko 4. Pesureiden käyttö alustyypeittäin (Atkinson 2019)

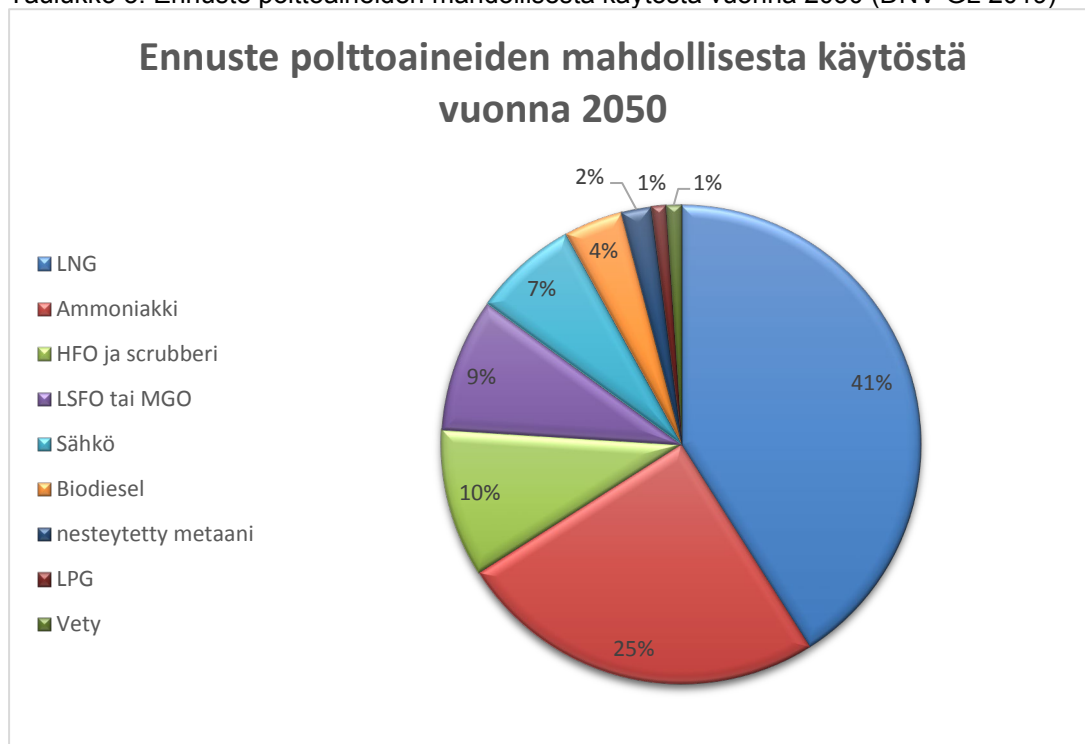


## 8 TULEVAISUUDEN VAIHTOEHTOISET POLTTOAINEET

Kansainvälinen merenkululaitos IMO on asettanut tavoitteet hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi vuosien 2020 ja 2050 välillä. Tavoitteena on vähentää hiilidioksidipäästöjä vuoteen 2030 mennessä 40 % verrattuna vuoden 2008 tasoon. Vuoteen 2050 mennessä on tavoitteena vähentää hiilidioksidipäästöjä 70 %, puolittaa kasvihuonepäästöt. Jotta näihin tavoitteisiin päästäisiin, kehitetään ja otetaan käyttöön entistä ympäristöystävällisempiä polttoaineratkaisuja. (Bureau Veritas 2019.)

Kasvihuonepäästöjä pyritään vähentämään ottamalla käyttöön polttoaineita, joista aiheutuu vähemmän tai ei ollenkaan kasvihuonekaasuja. Polttoaineita, joista ei aiheudu kasvihuonepäästöjä tai hiilijalanjälkeä, kutsutaan hiilineutraaleiksi polttoaineiksi. Hiilineutraaleja polttoaineita, joista ei aiheudu ollenkaan hiilidioksidipäästöjä ovat mm. sähkö, vety (H<sub>2</sub>), ja ammoniakki (NH<sub>3</sub>), mikäli niiden tuottaminen on ollut hiilineutraalia. Hiilineutraaleiksi polttoaineiksi laskeaan myös sellaiset polttoaineet, joista aiheutuu hiilidioksidipäästöjä, mutta ei enempää kuin luonnollisen hiilikierron aikana. Tällaisia polttoaineita ovat mm. biopolttoaineet. (Dnv-GL 2019.)

Taulukko 5. Ennuste polttoaineiden mahdollisesta käytöstä vuonna 2050 (DNV-GL 2019)

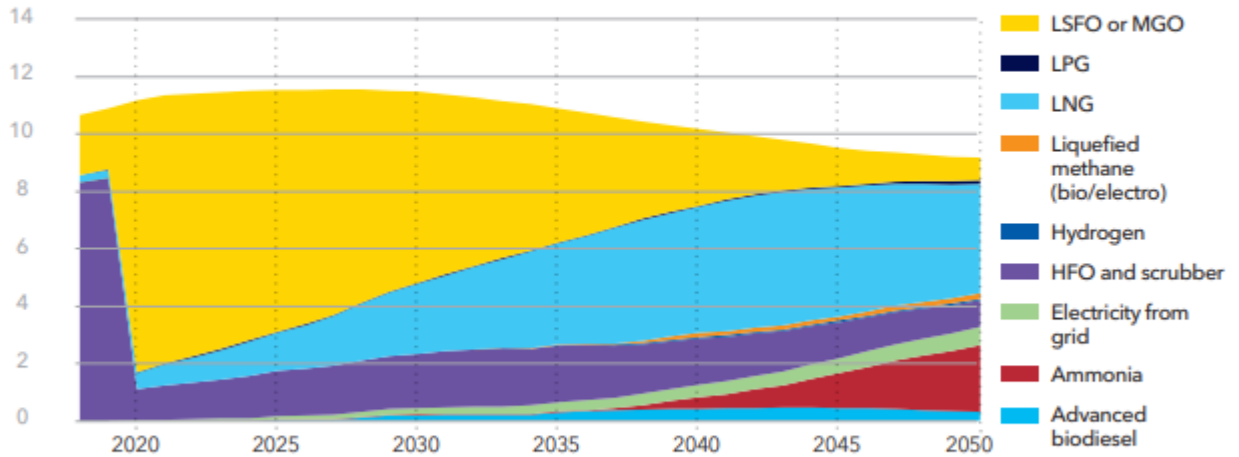


Lyhyen matkan aluksilla uusien hiilineutraalien polttoaineratkaisujen käyttöönotto on huomattavasti helpompaa kuin avomerialuksilla, koska monet vaihtoehtoisista energialähteistä ja voimansiirtokokoonpanoista sopivat tällä hetkellä ainoastaan lyhyisiin matkoihin. Tällaisena vaihtoehtona lyhyen matkan alukseen voidaan pitää esimerkiksi varastoidulla sähköllä toimivaa alusta, jonka akustot voidaan ladata satamassa ja sähkö riittää seuraavaan satamaan. Tällöin aluksella ei tarvitse tuottaa sähköä eikä päästöjä synny.

FIGURE 4

**Energy use and projected fuel mix 2018-2050 for the simulated IMO ambitions pathway with main focus on design requirements**

Units: EJ/yr



LSFO, low-sulphur fuel oil; MGO, marine gas oil; LPG, liquefied petroleum gas; LNG, liquefied natural gas; HFO, heavy fuel oil; Advanced biodiesel, produced by advanced processes from non-food feedstocks

©DNV GL 2019

Kuva 6. Polttoaineiden osuukien mahdollinen kehitys (DNV GL 2019)

Tulevaisuudessa käytetyimmäksi polttoaineeksi uskotaan nousevan nesteytetyn maakaasun eli LNG:n (Kuva 5). Uusina polttoaineina merenkulkuun uskotaan tulevan nesteytetyn metaanin, ammoniakin ja biodieselin. Lisäksi laivalle varastoidun sähkön käyttäminen aluksen kulkuun tulee yleistymään. (Dnv-GL 2019.)

### 8.1 Tulevaisuuden vaihtoehtoisten polttoaineiden ongelmat

Aluksissa maksimoidaan rahdin kuljettamiseen käytettävissä oleva tila. Polttoaineen tulee olla mahdollisimman energiatehokasta, jotta sen varastointiin ei kulu rahdin kuljettamiseen käytettävää tilaa. Myös moottorit, joita tämän päivän avomerialukset käyttävät, ovat erittäin energiatehokkaita varsinkin tasaisella nopeudella pitkiä matkoja ajettaessa. Aluksen käyttämää polttoainetta tulee myös olla saatavana aluksen liikennöintialueella. Puhuttaessa varsinkin pitkiä matkoja kulkevista avomerialuksista, useimmat tulevaisuuden vaihtoehtoiset ympäristöystävälliset polttoaineet eivät näitä vaatimuksia pysty vielä täyttämään. Polttoaineen hinnalla on myös suuri merkitys ja uusiutuvien energialähteiden alhaisemmat hinnat tekevät joistain hiilineutraaleista polttoaineista kilpailukykyisiä, mutta toistaiseksi monen vaihtoehtoisen polttoaineen hinta ei ole kilpailukykyinen. (Dnv-GL 2019.)



Aluksesta riippuen, polttoainevalintaan tuo eniten painoarvoa tietty tekijä. Jollain aluksella ratkaiseva tekijä polttoainevalinnassa on polttoaineen hinta, kun taas toisella aluksella voi ratkaista polttoaineen varastointiin käytettävä tila. Lyhyitä matkoja kulkevissa pienemmissä aluksissa pystytään ottamaan vaihtoehtoisia polttoaine- ja käyttövoimaratkaisuja käyttöön huomattavasti nopeam- malla aikataululla. (Dnv-GL 2019.)

Uusien polttoaineiden kohdalla suuri ongelma on siinä, että varustamot eivät voi sitoutua uuteen polttoaineeseen ennen, kun sen saatavuus on taattua. Polttoaineen toimittajat eivät kuitenkaan kehittä polttoaineen jakeluun tarvitta- vaa infrastruktuuria, ennen kuin ovat varmoja sen kysynnästä. (DNV-GL 2019.) Tämä tilanne koettiin myös LNG:n kohdalla ja se viivästytti LNG:n tuloa kilpailukykyiseksi polttoaineeksi.

### **8.1.1 Varastointi**

Monien vaihtoehtoisten polttoaineiden haittapuolena on niiden huono energia- tehokkuus tilavuuteen nähden. Tämän vuoksi niiden varastointi alukselle vie niin paljon tilaa, että niiden käyttöönotto polttoaineiksi vaatii vielä kehitystyötä. Joidenkin polttoaineiden varastointi vaatii myös erityisiä laitteistoja esim. jää- dytys- tai paineistuslaitteistoja, jotka vievät alukselta myös tilaa. Yleisesti ot- taen sellaiset polttoaineet, jotka ovat ilmakehän olosuhteissa nestemäisessä muodossa on huomattavasti helpompi ja edullisempi varastoida, kun kaasui- muodossa olevat polttoaineet. (Dnv-GL 2019.)

### **8.1.2 Saatavuus**

Vaihtoehtoisten polttoaineiden tuominen markkinoille vaatii, että sitä on saata- villa. Tämä tarkoittaa, että polttoaineen tuotannon, toimitusverkoston sekä va- rastoinnin tulee olla sillä tasolla, että sen saatavuus tulee olla taattua laivan lii- kennöintialueella. Joitakin polttoaineita käytetään jo muilla teollisuuden aloilla kuin merenkulussa ja tämä auttaa niiden polttoaineiden tuomisessa meren- kulkuun. Esimerkiksi ammoniakkaa käytetään suuria määriä maatalouslannoit- teena, joten sen tuotantoon, kuljettamiseen ja käsittelyyn on jo olemassa oleva varsin kattava infrastruktuuri (DNV-GL 2019).

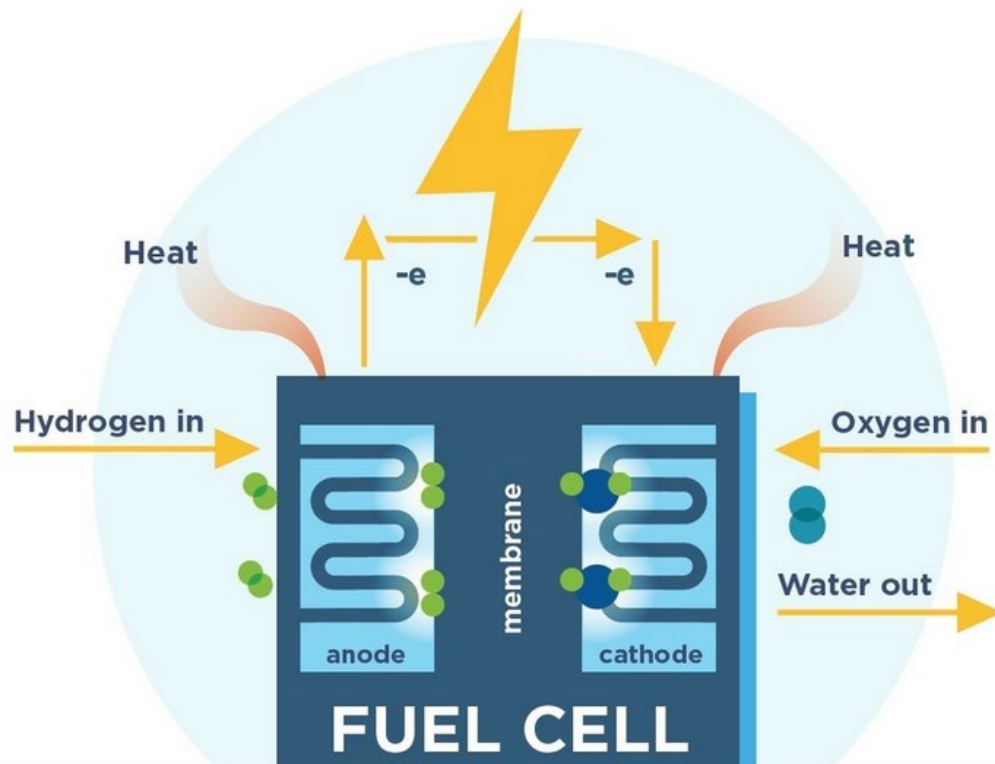
## 8.2 Siirtyminen tulevaisuuden vaihtoehtoisiin polttoaineisiin

Laivanvarustajat pyrkivät polttoaineratkaisuihin, jotka ovat halpoja, luotettavia, tehokkaita ja vievät mahdollisimman vähän tilaa. Ympäristöystävällisemmät vaihtoehtoiset polttoaineratkaisut ovat tyypillisesti näiden vaatimusten vastakohtia. Ne ovat kalliimpia, vähemmän tehokkaita, eivät niin luotettavia ja vievät enemmän tilaa. Ratkaisu millä laivanvarustajat saataisiin panostamaan ympäristöystävällisiin polttoaineratkaisuihin, olisi luoda kannustimia ja samalla tiukentaa säädöksiä.

LNG on otettu laajasti käyttöön tietyillä alueilla merenkulun polttoaineena hitaasta alkuvauhdista huolimatta. Se otettiin ensin käyttöön juuri tiukemmin säädellyillä päästörajoitusalueilla tarjoamalla ja sen käyttöönotosta tarjottiin taloudellisia kannustimia. LNG:n käyttöönotosta voidaankin ottaa mallia ja oppia kun tulevia polttoaineita tuodaan tulevaisuudessa markkinoille. (DNV-GL 2019.) Näin saadaan ympäristöystävälliseen polttoaineeseen siirtymisen kynnystä pienennettyä huomattavasti.

## 8.3 Polttokennot

Osa tulevaisuuden vaihtoehtoisista polttoaineista vaatii aluksella siirryttävän polttomoottoreista polttokennoihin. Polttokennot yhdistettynä vaihtoehtoisiin polttoaineisiin voivat vähentää melua ja päästöjä tehokkaasti ja samalla kasvattaa energiatehokkuutta. Polttokennoon syötetään polttoaineena vetyä tai vetypitoistakaasua, jolloin polttokenno muuttaa polttoaineen ja hapen kemiallisen energian sähkökemiallisella reaktiolla sähköksi (kuva 7). Osa energiasta muuttuu lämmöksi, mutta valtaosa sähköenergiaksi. (Dnv-GL 2019.)



Kuva 7. Polttokennon toiminta (FCHEA s.a.)

### 8.3.1 Ominaisuudet

Polttokennoja kehitetään jatkuvasti eri käyttötarkoituksiin ja niiden odotetaan tulevan käyttöön myös merenkulussa. Polttokennotyyppejä on useita erilaisia ja niillä on erilaisia ominaisuuksia. Erilaiset polttokennotyypit voivat esimerkiksi toimia eri lämpötiloissa ja se vaikuttaa lämmön talteenottomahdollisuuden vuoksi polttokennon energiatehokkuuteen. Polttokennojen sähkötehokkuuden odotetaan olevan n. 50-60 %, joka on hiukan korkeampi kuin meridielgeneraattoreilla. Korkeassa lämpötilassa toimivasta polttokennosta pystytään kuitenkin ottaa sen tuottama lämpö talteen, jolloin energiatehokkuus voi nousta jopa 80 prosenttiin. Matalissa lämpötiloissa toimivat polttokennot puolestaan kestävät dynaamisia kuormituksia paremmin kuin korkeissa lämpötiloissa toimivat. Polttokennotyypit eroavat toisistaan myös mm. käytettävän polttoaineen, polttoaineen puhtauden toleranssin ja asennuksen monimutkaisuuden osalta. Polttokennojen hyötyjä ovat myös niiden tuottaman melun ja värinän vähäisyys. (Dnv-GL 2019.)

### 8.3.2 Polttokennot merenkulussa

Toistaiseksi polttokennot ovat liian kallis ratkaisu, jotta se voisi yleistyä aluksilla. Polttokennojärjestelmän hankinta- ja asennuskustannukset ovat huomattavasti dieselmoottorijärjestelmää suuremmat. Myös käyttö- ja huoltokustannukset ovat reilusti dieseljärjestelmää suuremmat. Polttokennot eivät sovi hyvin jälkiasennukseen, joten polttokennojärjestelmää sopii ainoastaan uusiin aluksiin. Polttokennojen käyttöönottoa merenkulussa hidastaa myös niihin sopivien polttoaineiden varastoinnin ja saatavuuden ongelmat. Polttoaineista esimerkiksi vety tulee merenkulussa vaatimaan polttokennoja. Vedyn hinnan, sääntelyn ja jakeluinfraktuurin kehitys vaikuttaakin suuresti myös polttokennojen yleistymiseen lähitulevaisuudessa. (Dnv-GL 2019.)

### 8.4 Vaihtoehtoiset polttoaineet

Vaihtoehtoisiksi tulevaisuuden polttoaineiksi on tässä kappaleessa lueteltu biodiesel, nesteytetty metanoli, vety, ammoniakki ja sähkö, joiden uskotaan olevan todennäköisimmät merenkulkuun tulevat uudet ympäristöystävälliset polttoaineet. Nämä vaihtoehtoiset polttoaineet voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan niiden vaatiman voimanlähteen mukaan. Polttomoottorit käyttävät näistä polttoaineinaan Biodieseliä ja nesteytettyä metanolia, vety ja ammoniakki puolestaan vaativat voimanlähteekseen polttokennon ja varastoitu sähkö sähkömoottorin. (DNV-GL 2019.)

#### **Biodiesel**

Biodiesel on muiden biopolttoaineiden ohella hiilineutraali polttoaine, jota tullaan käyttämään myös merenkulussa. Muut teollisuudenalat käyttävät sitä jo polttoaineena laajasti, mutta sen massatuotanto ei ole kestävää ja juuri tuotanto-ongelmien vuoksi siitä ei kuitenkaan odoteta tulevan laajasti käytetty polttoaine. (Bureau Veritas 2019.) Biodieselin odotetaan kuitenkin olevan tulevaisuudessa myös merenkulussa käytettävä polttoaine (Kuva 6).

Biodiesel tuotetaan kasviöljyistä, käytetyistä paistoöljyistä sekä eläinrasvoista. Biodiesel on uusiutuva polttoaine ja sitä voidaan käyttää puhtaassa muodossa

sellaisenaan tai sekoitettuna fossiiliseen dieseliin. Biodieselin käyttöön siirtymisen etuja ovat, että se ei vaadi suuria muutoksia polttoaineen jakelujärjestelmässä ja sen käyttö vähentää hiilidioksidipäästöjä 65-90 % verrattuna perinteiseen dieseliin. (EBB 2019.)

Biodieseliä voidaan käyttää sekoittamalla sitä tavanomaiseen polttoaineeseen tai korvata sillä käytetty fossiilinen polttoaine kokonaan. Parhaiten biodiesel sopii MDO:n eli meridieselöljyn kanssa sekoitettavaksi tai korvaajaksi. Biodieselin lisäksi lupaava biopolttoaine on biokaasu, joka sopii korvaamaan LNG:n aluksen polttoaineena. (Dnv-GL 2019.)

### **Nesteytetty metanoli**

Metanolista tulee polttoaineena tulevaisuudessa mahdollinen vaihtoehto. Metanolia tuotetaan pääasiassa biomassasta eikä sitä pystytä tuottamaan maailmanlaajuisiin tarpeisiin, joten sen käyttö tulee jäämään suhteellisen pieneksi maailmanlaajuisesti. (Dnv-GL 2019.)

Metanolin huonoja puolia, jotka vaikuttavat sen yleistymiseen ovat sen myrkyllisyys, kallis hinta sekä sen energiasisältö on muita polttoaineita pienempi, joten se vaatii suuremmat varastointitankit. Metanolista voi kuitenkin kehittyä tulevaisuudessa kilpailukykyinen polttoaine markkinoille. (Dnv-GL 2019.)

### **Vety (H<sub>2</sub>)**

Vetyä voidaan tuottaa sähkön avulla tai maakaasusta ja sitä voidaan käyttää itsessään polttoaineena tai siitä voidaan tuottaa eri polttoaineita. Itsessään sitä voidaan käyttää polttoaineena merenkulussa tulevaisuudessa paineistettuna tai nesteytettynä polttokennoissa. (Aakko-Saksa ym. 2018.)

Vedystä voidaan tuottaa myös muita polttoaineita yhdessä hiilidioksidin tai typen kanssa. Vedystä ja hiilidioksidista saadaan tuotettua mm. metaania, metanolia ja dieseliä, kun taas vedystä ja tpeestä voidaan tuottaa mm. ammoniakkia. Toistaiseksi näiden polttoaineiden tuottaminen on kallista, eivätkä ne ole riittävän energiatehokkaita, jotta niiden käyttö lähitulevaisuudessa yleistyisi potentiaalisista eduista huolimatta. (Aakko-Saksa ym. 2018.)

### **Ammoniakki (NH<sub>3</sub>)**

Ammoniakkia tuotetaan vedystä ja typestä (Aakko-Saksa ym. 2018). Ammoniakilla on hyvä energiatiheys verrattuna moniin muihin polttoainevaihtoehtoihin, joten sen puolesta se soveltuisi hyvin myös pidempää matkaa kulkeviin avo-merialuksiin polttoaineeksi. Toistaiseksi markkinoilla ei kuitenkaan ole moottoria, joka voisi ammoniakkia käyttää polttoaineena. Tällaisten moottoreiden kehitystyö on kuitenkin käynnissä ja lähivuosina niitä odotetaan kuitenkin tulevan markkinoille. (Dnv-GL 2019.)

Tämänhetkisten tutkimusten mukaan merenkulussa ammoniakkia voidaan käyttää polttoaineena polttomoottorissa ja polttokennoissa. Polttomoottorissa ammoniakkia käytettäisiin seoksena vedyn kanssa. Ammoniakki vähentäisi huomattavasti pakokaasuista aiheutuvia kasvihuonepäästöjä. Ammoniakin odotetaan tulevaisuudessa tulevan varteenotettavaksi polttoainevaihtoehdoksi ja yleistyvän jopa toiseksi käytetyimmäksi polttoaineeksi vuoteen 2050 mennessä (kuva 6). (de Vries 2019.)

### **Varastoitu sähkö**

Sähköä varastoidaan alukselle energian varastointijärjestelmään eli yleisimmin akkuihin. Sähköllä alus pystyy kulkemaan ilman pakokaasuista aiheutuvia päästöjä. Täysin varastoidulla sähköllä toimiva järjestelmä sopii esimerkiksi lautoille, joilla on lyhyet kiinteät reitit ja pienempi tehontarve. (Bureau Veritas Marine & Offshore 2019.) Tällöin aluksen akustot ladataan satamassa sähköverkosta.

Sähkömoottoreiden etuna on niiden erittäin matala melutaso verrattuna polttomoottoreihin eikä niistä aiheudu päästöjä, mutta sen ympäristöystävällisyys määräytyy sen mukaan, miten se on tuotettu. Se on hiilineutraali käyttövoimanlähde aluksella, mikäli se on tuotettu hiilineutraalisti. Täysin päästötön käyttövoimanlähde sähkö ei siis ole, koska sähköön tuottamisesta aiheutuu ilmastopäästöjä.

Sähköä voidaan myös käyttää osana käyttövoimaa hybridialuksilla, jolloin varastoidun sähkön käyttäminen energialähteenä vähentää polttoaineen kulu- tusta ja tätä kautta aluksen päästöjä. Tämä järjestelmä sopii aluksille, joilla on suurempi virrankulutus, eikä pelkällä sähköllä toimiminen ole mahdollista. Va- rastoitua sähköä voidaan käyttää aluksella myös varajärjestelmänä. (Bureau Veritas Marine & Offshore 2019.)

### **8.5 Siirtyminen vaihtoehtoisiin polttoaineisiin**

Siirtyminen perinteisistä polttoöljyistä lopulta hiilineutraaleihin polttoaineisiin tulee tapahtumaan asteittain vähähiilisimpien polttoaineiden kautta. Uusien alusten tulee varautua uusiin polttoaineisiin sellaisilla moottori- ja varastointi- järjestelmillä, jotka voivat käyttää useita polttoaineita suoraan tai jotka on helppo muuntaa käyttämään vaihtoehtoisia polttoaineita. Tämä mahdollistaa uusien ympäristöystävällisempien polttoaineiden käyttöönoton mahdollisim- man nopeasti, kun niiden ja niiden tuotannon ja jakelun kehitys on riittävällä tasolla niiden käyttöönottoon. Tällaiset polttoainejoustavat moottorit ja varas- tointijärjestelmät mahdollistavat myös sen, että alus on valmistautunut otta- maan käyttöön sen polttoaineen mistä tulee kaikkein kilpailukykyisin. (DNV-GL 2019.)

Siirtyminen vaihtoehtoisiin ympäristöystävällisimpiin polttoaineisiin vaatii yh- teistyötä ja toimenpiteiltä eri sidosryhmiltä, joita ovat mm. lastinomistajat, rah- taajat, satamat, telakat, palveluiden ja laitteiden toimittajat, polttoaineiden toi- mittajat, luokituslaitokset, sijoittajat, pankit, rahoituslaitokset sekä sääntelijät kuten IMO, EU ja lippuvaltiot. Siirtyminen vaatii myös merkittäviä investointeja sekä yksityisiltä-, että julkisilta tahoilta. Näillä kaikilla on rooli vaihtoehtoisten polttoaineiden tuomisessa markkinoille ja kasvun edistämiseksi. (DNV-GL 2019.)

Vaihtoehtoisiin polttoaineisiin siirtymisessä ensimmäisiä askeleita on otettu Norjassa, missä ensimmäinen LNG:tä käyttävä lautta otettiin käyttöön jo vuonna 2000 ja täysin sähköinen autolautta otettiin käyttöön 2015. Norjassa

ollaan myös ottamassa käyttöön kaksi vetykäyttöistä lauttaa vuonna 2021. (DNV-GL 2019.)

## 9 YHTEENVETO

Työn tarkoitus oli perehtyä merenkulkuun asetettujen päästörajoitusten ja -tavoitteiden vaikutukseen alusten käyttämiin polttoaineisiin. IMO:n tiukentuneet päästörajoitukset tulivat voimaan tammikuussa 2020, joka vaikutti alusten polttoaineratkaisuihin nyt ja IMO:n kunnianhimoiset tavoitteet merenkulun päästöjen suhteen tulevat tulevaisuudessa vaikuttamaan alusten polttoaineratkaisuihin merkittävästi.

1.1.2020 voimaan tulleet rikkirajoitukset vaikuttivat merkittävästi maailman merenkulkuun. Ennen tätä päästörajoitusta maailmalla ylivoimaisesti eniten käytetty polttoaine oli raskas polttoöljy. Rajoituksen seurauksena alukset, jotka käyttivät raskasta polttoöljyä, joutuivat ottamaan käyttöön pakokaasupesurijärjestelmän tai vaihtamaan polttoaineen vähärikkiseen polttoaineeseen. Tämän seurauksena vuonna 2020 ylivoimaisesti eniten käytetty polttoaine on vähärikinen meridieselöljy.

Uutena ympäristöystävällisempänä polttoaineena markkinoille on tullut LNG. LNG on ainoa ympäristöystävällinen polttoaine, jota on merenkulussa saatavilla maailmanlaajuisesti. Se tulee valtaamaan alaa öljypohjaisilta polttoaineilta ja sen uskotaan yleistyvän eniten käytetyksi polttoaineeksi merenkulussa. LNG näyttää tietä myös muille vaihtoehtoisille polttoaineille, joiden kohdalla voidaan ottaa mallia siitä, miten LNG:n suosiota saadaan kasvatettua ja varsinkin, miten sen levitys saadaan sille tasolle, että sitä on saatavilla maailmanlaajuisesti.

Useassa vaihtoehtoisessa hiilineutraalissa polttoaineessa on valtavasti potentiaalia, mutta niiden kehitystyö on vielä kesken ja vaatii aikaa ennen kuin niitä saadaan kilpailukykyisinä varteenotettaviksi vaihtoehdoiksi. Vaihtoehtoisissa polttoaineissa isoimmat esteet käyttöönotolle ovat niiden korkeat kustannukset niin polttoainejärjestelmän, kuin itse polttoaineen osalta. Lisäksi polttoaineiden



tuotanto sekä jakelu vaativat suuria investointeja, jotta uusi polttoaine saadaan kilpailukykyisenä maailmanlaajuisille markkinoille.

Siirtyminen hiilineutraaleihin polttoaineisiin ei käy nopeasti, mutta varustamot voivat vauhdittaa tätä panostamalla joustaviin ratkaisuihin uusien laivojen polttoainejärjestelmissä. Joustavat ratkaisut tarkoittavat sellaisia moottori ja polttoaineen varastointijärjestelmiä, jotka mahdollistavat laivan vaihtaa uuteen vaihtoehtoiseen polttoaineeseen suoraan tai pienillä muutostöillä sellaisen tullessa markkinoille. Merkittävä siirtyminen tällaisiin polttoaineisiin tapahtuu kuitenkin vasta, kun ne ovat taloudellisesti kilpailukykyisiä tai kun lastiomistajat tai viranomaiset vaativat niitä (DNV-GL 2019).

IMO:n asettamiin päästötavoitteisiin on mahdollista päästä vuoteen 2050 mennessä, mutta se on erittäin haasteellista. Näin pitkällä aikavälillä on paljon epävarmuustekijöitä ja mahdollisia skenaarioita on useita. Markkinoille tulevien polttoaineiden osalta voi esimerkiksi hintojen kehityksen tai säädösten johdosta tulla suuriakin yllätyksiä tämän hetken ennusteisiin nähden. Jotta näihin kunnianhimoisiin tavoitteisiin päästään, tarvitaan ympäristöystävällisiä polttoaineita markkinoille. Sillä mitä nämä polttoaineet ovat ei ole varsinaisesti merkitystä. Varustamoiden tulisi varmistaa laivastonsa kilpailukyky myös pitkällä tähtäimellä varautumalla vaihtoehtoisten polttoaineiden tulon markkinoille. Tämä onnistuu tekemällä uudisrakennuksen suhteen joustavia ratkaisuja, jotka mahdollistavat vaaditut muutostyöt käytettävän polttoaineen vaihtamiseksi markkinatilanteen tai säädösten muuttuessa.

## LÄHTEET

Aakko-Saksa, P., Cook, C., Kiviaho, J. & Repo, T. 2018. Liquid organic hydrogen carriers for transportation and storing of renewable energy – Review and discussion. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com> [Viitattu 11.2.2020].

Atkinson, K. 2019. Scrubbing up for 2020. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ihsmarkit.com/research-analysis/scrubbing-up-for-2020.html> [Viitattu 28.01.2020].

Benviroc. 2018. Ilmastonmuutos. Artikkel. Saatavissa: <https://www.benviroc.fi/ilmastonmuutos?showall=1&limitstart=> [Viitattu 31.1.2020].

Bureau Veritas. 2019. Future marine fuels: pathways to decarbonization. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://marine-offshore.bureauveritas.com/insight/future-marine-fuels-pathways-decarbonization> [Viitattu 7.12.2019].

Bureau Veritas Marine & Offshore. 2019. 2020 Fuels and beyond - Compliance now and the road to 2050. PDF- dokumentti. Saatavissa: <https://marine-offshore.bureauveritas.com/our-publications/2020-fuels-and-beyond> [Viitattu 7.12.2019].

De Vries, N. 2019. Safe and effective application of ammonia as a marine fuel. PDF-dokumentti. Saatavissa <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:be8cbe0a-28ec-4bd9-8ad0-648de04649b8?collection=education> [Viitattu 28.1.2020].

DNV GL. 2019. Maritime Forecast to 2050 – Energy transition outlook 2019. PDF- dokumentti. Saatavissa: <https://eto.dnvgl.com/2017/maritime> [Viitattu 3.12.2019].

EBB. 2019. Biodiesel. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ebb-eu.org/biodiesel.php> [Viitattu 8.12.2019].

Euroopan parlamentti. 2018. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20180301STO98928/kasvihuone-kaasupaastot-eu-ssa-ja-maailmalla-infografiikka> [Viitattu 30.1.2020].

FCHEA. s.a. Fuel Cell Basics. WWW-dokumentti. saatavissa: <http://www.fchea.org/fuelcells> [Viitattu 3.3.2020].

GCSA. 2019. The international maritime organization – MARPOL ANNEX VI. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.egcsa.com/regulatory> [Viitattu 3.3.2020].

Hartonen, S. 2019. Merenkulun hiilidioksidipäästöt. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://shipowners.fi/vastuullisuus/ymparisto/ilmastosuojelu-ja-ilmastonmuutos/merenkulun-hiilidioksidipaastot/> [Viitattu 20.1.2020].

IMO. 2020. Greenhouse Gas Emissions. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/GHG-Emissions.aspx> [Viitattu 29.1.2020].

IMO. 2019. Sulphur 2020 – cutting sulphur oxide emissions. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.imo.org/en/mediacentre/hottopics/pages/sulphur-2020.aspx> [Viitattu 3.12.2019].

Jokimäki, A. 2011. Metaanin päästöjä ja ilmastovaikutuksia. WWW-dokumentti. Saatavissa: [http://www.co2-raportti.fi/?heading=Metaanin-p%C3%A4st%C3%A4st%C3%B6j%C3%A4-ja-ilmastovaikutuksia&page=ilma-  
toustisia&news\\_id=3012](http://www.co2-raportti.fi/?heading=Metaanin-p%C3%A4st%C3%A4st%C3%B6j%C3%A4-ja-ilmastovaikutuksia&page=ilma-<br/>toustisia&news_id=3012) [Viitattu 31.1.2020].

Kuehne+Nagel. 2019. Cutting oxide emissions – IMO 2020 Regulation. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://fi.kuehne-nagel.com/fileadmin/country\\_page\\_structure/WE/Finland/Flyers/IMO\\_2020\\_FAQ\\_June\\_2019.pdf](https://fi.kuehne-nagel.com/fileadmin/country_page_structure/WE/Finland/Flyers/IMO_2020_FAQ_June_2019.pdf) [Viitattu 9.12.2019].

Mastomäki, L. 2019. Containerships uudistuu vauhdilla. *Ulkomatala* 1/2019, 4-5. Saatavissa: [http://ulkomatala.net/magazine/UM\\_2019-1.pdf](http://ulkomatala.net/magazine/UM_2019-1.pdf) [Viitattu 7.12.2019].

Oiltanking. S.a. Marine Diesel Oil (MDO) & Intermediate Fuel Oil (IFO). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.oiltanking.com/en/news-info/glossary/details/term/marine-diesel-oil-mdo-intermediate-fuel-oil-ifo.html> [Viitattu 29.1.2020].

Oiltanking. 2018. Marine Fuels (Bunker Fuels). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.oiltanking.com/en/news-info/glossary/details/term/marine-fuels-bunker-fuels.html> [Viitattu 29.1.2020].

Shell marine. 2019. IMO 2020 Ready. PDF- dokumentti. Saatavissa: <https://www.shell.com/business-customers/marine/imo-2020.html> [Viitattu 8.12.2019].

Tuurnala, T. s.a. Ympäristöinnovaatiot. Artikkelit. Saatavissa: <https://shipowners.fi/vastuullisuus/ymparisto/ymparistoinnovaatiot/> [Viitattu 8.12.2019].

Wärtsilä. 2017. SOx scrubber technology. PDF- dokumentti. Saatavissa: <https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/egc/product-guide-o-env-sox-scrubber-tech.pdf> [Viitattu 3.12.2019].