

Anssi Sorvali

# Metanoli meripolttoaineena Merenkulun kestävä kehitys

Opinnäytetyö  
Merenkulku

2018



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

<b>Tekijä/Tekijät</b> Anssi Sorvali	<b>Tutkinto</b> Merenkulun insinööri	<b>Aika</b> Huhtikuu 2018
<b>Opinnäytetyön nimi</b> Metanoli meripolttoaineena Merenkulun kestävä kehitys		40 sivua
<b>Toimeksiantaja</b> Viking Rederi Oy Ab		
<b>Ohjaaja</b> Joel Paananen		
<b>Tiivistelmä</b> <p>Tässä työssä on tarkoitus tutustua metanoliin vaihtoehtoisena laivan polttoaineena, sekä pohtia, kuinka suuria muutoksia sen käyttöönotto vaatii konehuoneeseen. Polttoaineeksi valittiin metanoli, koska sitä voidaan tuottaa missä tahansa ja melkein mistä tahansa. Metanoli palaa puhtaammin ja täyttää kiristyvät ympäristövaatimukset. Raportti on katsaus metanolin käytöstä polttoaineena merikelpoisilla aluksilla.</p> <p>Esimerkkinä muutostöistä konehuoneessa on käytetty Stena Linen Germanicaa, jonka konehuone on muutettu metanolin käyttöön sopivaksi. Germanica on aiemmin toiminut normaalisti polttoöljyllä. Metanolia käytettäessä päästöt on helpompi prosessoida, eikä aluksen infrastruktuuri vaadi niin suuria muutoksia kuin käytettäessä esimerkiksi nesteytettyä maakaasua, LNG:tä.</p> <p>Rikkidioksidit ovat merkittävä haitta maaperälle ja merelle. Päästöjä syntyy käytettäessä rikkiä polttoaineena. Toissijaisena rikkidioksidi osallistuu pienhiukkasten syntyyn ilmakehässä, joka saastuttaa ilmaa. EU:ssa on säädetty tämän vuoksi niin sanottu rikkidirektiivi, joka sääntelee päästöjä maalla käytettävälle polttoöljylle, raskaalle polttoöljylle ja merellä käytettäville polttoaineille.</p> <p>Sustainable Shipping on kokonaisvaltainen johtamissysteemi kestävän kehityksen aikaansaamiseksi merenkulussa, sisältäen ympäristön- ja sosiaalisenvastuun. Kestävä kehitys käsittää kolme ydinasiaa: ympäristö, yhteiskunta ja talous, ja näiden tavoitteena on saavuttaa taloudellinen ja ekologinen merenkulku.</p>		
<b>Asiasanat</b> polttoaineet, metanoli, lainsäädäntö, ympäristö		

Author (authors)	Degree	Time
Anssi Sorvali	Bachelor of Engineering	April 2018
<b>Thesis Title</b> Methanol as a marine fuel Sustainable shipping		40 pages
<b>Commissioned by</b> Viking Rederi Oy Ab		
<b>Supervisor</b> Joel Paananen		
<p data-bbox="165 734 300 763"><b>Abstract</b></p> <p data-bbox="165 801 1374 981">Sulphur dioxide is a significant pollutant of the soil and sea. Emission is produced when using sulphur as a fuel. As a secondary pollutant, sulphur dioxide contributes to forming particulates in the atmosphere, which pollute air. In the EU, a directive for sulphur has been legislated which regulates emissions limits to the fuel oil used on land, heavy fuel oil and the fuels used at sea.</p> <p data-bbox="165 1025 1401 1317">The objective of the thesis was to define the benefits of methanol as a marine fuel. Methanol has been chosen for this study because it can be produced anywhere in the world and almost from any material, including garbage. This is a study of methanol as a fuel and the changes that need to be done in the engine room. Stena Lines Germanica serves as an example in this study. Germanica's engine room has been modified, the first in the world, to use methanol as a fuel. When using methanol as a fuel, emissions are easier to process. The vessel's infrastructure does not need so large changes as when, for example, using liquified natural gas, LNG.</p> <p data-bbox="165 1391 1390 1570">This thesis shows that the engine room does not need so significant changes, and the safety issues are clear and easy to address. The changes in the engine room are not difficult or too expensive to execute. The changes should be properly planned, and all the safety issues taken into consideration. It is possible for any vessel to change to methanol or simultaneously use methanol and heavy fuel oil as a power source.</p>		
<p data-bbox="165 1720 320 1749"><b>Keywords</b></p> <p data-bbox="165 1794 727 1823">fuel, methanol, legislation, environment</p>		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	ALUSTEN KÄYTTÄMÄT YLEISIMMÄT POLTTOAINEET .....	8
2.1	Maakaasu .....	8
2.2	Rikkipesuri .....	9
2.3	Case VG-Shipping .....	11
3	METANOLI .....	12
3.1	Metanolin valmistus .....	12
3.2	Metanolin saatavuus .....	13
3.3	Metanolin tulevaisuus .....	13
3.4	Vihreä laivasto .....	14
3.5	Rikkidioksidin haitat .....	15
4	KONEHUONEEN MUUTOKSET .....	17
4.1	Koneen muutostyöt .....	18
4.2	Metanolin bunkraus .....	19
4.3	Metanolin varastointi aluksella .....	19
4.3.1	Kaasujen poisto, inertointi ja polttoainetankkien tuuletus .....	20
4.3.2	Polttoainetankit sääkannella .....	21
4.4	Metanolin käsittely ja prosessointi pääkoneessa .....	21
4.4.1	Polttoaineen käyttöjärjestelmän turvaaminen .....	22
4.4.2	Venttiilit .....	23
4.4.3	Polttoainepumput .....	24
4.4.4	Lämpötilan kontrollointi .....	25
4.4.5	Turvallisuusnäkökohdat .....	26
4.4.6	Metanolin polttaminen pääkoneessa .....	26
4.4.7	Metanolin käsittely ja prosessointi pääkoneen jälkeen .....	28
4.4.8	Osoitetut turvallisuusnäkökohdat .....	30
5	TURVALLISUUS .....	31

5.1	Metanoli ja paloturvallisuus.....	33
5.2	Palon torjunta.....	34
6	YHTEENVETO .....	35
	LÄHTEET.....	37
	KUVALUETTELO	

## 1 JOHDANTO

Sustainable Shipping on kokonaisvaltainen johtamisjärjestelmä kestävän kehityksen aikaansaamiseksi merenkulussa, sisältäen ympäristö- ja sosiaalisen vastuun. Kestävä kehitys käsittää kolme ydinasiaa: ympäristö, yhteiskunta ja talous. Näiden tavoitteena on saavuttaa taloudellinen ja ekologinen merenkulku (sustainable shipping 2017.)

Useat eri tekijät vaikuttavat merenkulun kestävään kehitykseen. Kaikkien on sitouduttava kestävän merenkulun tavoitteisiin, ihmisten, markkinoiden, sekä erilaisten sidosryhmien (sustainable shipping 2017.)

Rikkidioksidit ovat merkittävä ympäristöhaitta maaperälle ja merelle. Päästöjä syntyy käytettäessä rikkiä polttoaineena. Rikkidioksidi on saaste, joka on osallisena happamien kerrostumien syntymiseen, mikä taas aiheuttaa maaperän ja vesistön saastumista. Tämä johtaa pitkällä aikavälillä jokien, järvien ja ympäristön saastumiseen, mikä taas johtaa viljelymaiden, viljan sekä muiden kasviperäisten aineiden saastumiseen. Rikkidioksidi osallistuu myös pienhiukasten syntyyn ilmakehässä mikä saastuttaa ilmaa. Ilmansaaste on vaarallista ihmisille ja aiheuttaa erilaisia sairauksia.

EU:ssa on säädetty tämän vuoksi niin sanottu rikkidirektiivi (2016/802), joka sääntelee päästöjä maalla käytettävälle polttoöljylle, raskaalle polttoöljylle ja merellä käytettäville polttoaineille. Direktiivi sisältää myös ylimääräisiä, polttoainespesifejä määräyksiä aluksille, jotka vierailevat EU:n alueen satamissa. Direktiivissä on vaatimukset käytetylle polttoaineelle ja tiettyjen polttoaineiden sijoitusmarkkinoilla, kuten esimerkiksi merenkulussa käytettävälle polttoaineelle.

Direktiiviä korjattiin viimeksi vuonna 2012 sopimaan EU:n lainsäädäntöön sekä MARPOL:iin (Sulphur directive 2017.) MARPOL, the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships. MARPOL Annex VI, on suunnattu merikelpoisten alusten ilmansaasteiden torjuntaan. Kansainväliset säännöt ilmansaasteiden torjuntaan vaativat rajoituksia typpioksidipäästöihin sekä edellyttävät sellaisten polttoaineiden käyttöä, joissa on matalat rikkipitoisuudet. (MARPOL Annex VI 2017.)

Tammikuun ensimmäinen päivä vuodesta 2015 lähtien on vaadittu tiukempia rikkipäästöjä merellä käytettäviin polttoaineisiin SECA-alueella. SECA tulee sanoista Sulphur Emission Control Area. Sen alueilla päästöt saavat olla 0,10 % ja ulkopuolella 3,50 %. EU-alueen laitureissa olevat alukset eivät saa ylittää 0,10 %. Matkustajalaivat, jotka operoivat tavanomaisissa asioissa EU:n alueen satamissa, eivät saa käyttää polttoainetta, jonka rikkipäästörajat ylittävät 1,50 % SECA-alueen ulkopuolella (Sulphur directive 2017.)

EMSA, European Maritime Safety Agency, tarjoaa koulutusta ja teknistä ohjausta Euroopan Komissiolle rikkidirektiivin toimeenpanon ajaksi. EMSA tarjoaa tukea tarkastajien koulutukseen sekä jäsenmaille teknistä tukea siirtymäajalle. EMSA toimii teknisenä sihteeristönä ESSF:ssä, European Sustainable Shipping Forumissa, joka perustettiin rikkidirektiivin luomien haasteiden ratkaisemiseksi. EMSA valvoo kehitystä kansainvälisellä tasolla laivojen rikkipäästöjen torjunnan suhteen sekä seuraa tarkasta muun muassa IMO:n, International Maritime Organizationin, ilmastopäästöjen torjumisen kehitystä (Sulphur directive 2017.)



Kuva 1. SECA-alueet.

## 2 ALUSTEN KÄYTTÄMÄT YLEISIMMÄT POLTTOAINEET

MDO, Marine diesel oil, on yleisnimitys merikelpoisten alusten käyttämästä polttoöljystä. MDO pitää sisällään erilaiset sekoitukset, tisleet, joita käytetään yhdessä raskaan polttoöljyn kanssa. Toisin kuin autoissa ja rekoissa, laivoissa käytettävä dieselöljy ei ole täysin puhdasta. MDO on melko samanlaista kuin tavallinen dieselöljy, mutta se on tiheämpää. Raskas polttoöljy, HFO, täytyy lämmittää varastoinnin aikana, kun taas MDO:ta ei tarvitse lämmittää varastoinnin aikana. MDO on huomattavasti kalliimpaa kuin raskas polttoöljy (MDO & IFO 2017.)

Raskas polttoöljy on nimensä mukaisesti raskasta sekä rikkiä sisältäviä. Se sisältää enimmäkseen hiilivetyä. Laivojen käyttämää raskasta polttoöljyä kutsutaan bunkkeriöljyksi. Se on muunnettua raskasta polttoöljyä, jonka setaaniluku on korkea (Raskaat polttoöljyt Nd.) Setaaniluku kuvaa dieselin syttymisherkkyyttä, samoin kuin oktaaniluku bensiinin puristuskestävyyttä. ”Mitä korkeampi setaaniluku, sen nopeammin se syttyy moottoriin ruiskuttamisen jälkeen. Kun setaaniluku on alhainen, diesel syttyy hitaammin, kuluttaa moottoria enemmän ja aiheuttaa enemmän päästöjä” (Uusi Shell diesel powered by GTL Nd.) Laivojen käyttämä raskas polttoöljy on ikään kuin jäännös öljyn jalostamisesta. Raskaan polttoöljyn ominaisuuksien vuoksi sitä suositellaan säilytettäväksi korkeissa lämpötiloissa. Riippumatta sen korkeasta palamisherkkyydestä, palamisjäte sisältää paljon epäpuhtauksia, kuten NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> ja CO<sub>2</sub>. Sitä käytetään alusten polttoaineena, koska se on edullista (Properties of heavy fuel oil 2012–2016.)

### 2.1 Maakaasu

Nesteytetty maakaasu, LNG, (liquefied natural gas), on nesteolomuodossa olevaa kaasua, jota voidaan helposti kuljettaa ja varastoida niin maalla kuin merellä. Kaasun nesteyttäminen pienentää kaasun tilavuutta. LNG on ympäristöystävällisin polttoaine meriliikenteelle. ”Se ei tuota lainkaan rikkidioksidipäästöjä ja täyttää tiukentuvat päästövaatimukset, jotka koskevat typenoksid



hiukkas- ja hiilidioksidipäästöjä” (LNG Puhdasta energiaa Pohjoismaihin 2017.)

Maakaasu on hajuton, väritön ja myrkytön. Turvallisuuden nimissä on siihen lisättävä valmistusvaiheessa ominaishaju. Maakaasua saadaan maakaasu- ja öljyesiintymistä, sekä liuskekivistä, joka sijaitsee maankuoressa maalla ja merellä. Suomella ei ole omia maakaasuvaroja. Venäjä on yksi suurimpia maakaasun tuottajia: 33 % maailman kaikesta tuotannosta. Venäjän lisäksi maakaasua saadaan Eurooppaan Algerista ja Turkista. Euroopassa on noin 2,2 % maailman maakaasuesiintymistä. Iso-Britannia käyttää Pohjanmeren laajoja maakaasuesiintymiä. Maakaasu toimitetaan sitä varten rakennetussa maakaasuputkiverkostossa (Maakaasun käyttö Suomessa, 2017.)

Maakaasun käyttöön siirtyminen onnistuu yleensä vain uudisrakenteisissa aluksissa. Itämeren ja Suomen alueelta puuttuu LNG-jakeluverkosto, joka vaikeuttaa maakaasun käyttöönottoa (Merenkulun rikkipäästöt Nd.)

## **2.2 Rikkipesuri**

Kolmas vaihtoehto alusten päästöjen vähentämiseksi ja rikkidirektiivin täyttämiseksi on alukseen asennettava rikkipesuri. Rikkipesuri on vaihtoehto, jolla voidaan mahdollistaa raskaan polttoöljyn käyttö myös tulevaisuudessa. Rikkipesuri maksaa noin 4–8 miljoonaa, joka saattaa joissain tapauksissa olla enemmän kuin aluksen senhetkinen hinta (Kallis rikkipesuri... 2014.) Rikkipesuri pesee rikin pois pakokaasusta veden avulla, eli ruiskuttamalla vettä pakokaasuun, jolloin rikki jää veteen. Saastunut vesi varastoidaan ja jätetään sata-massa jatkokäsittelyyn (Laivojen rikkipesurit 2016.) Kuvassa 2 voidaan nähdä, miten rikkipesuri sijoitetaan alukseen.



Kuva 2. (Rikkipesuri 2016).

Suomen Varustamon mukaan, Suomen lipun alla kulkevista jäsenaluksista, noin 85 prosenttia vaihtaa polttoainetta ja noin 15 prosenttiin asennetaan rikkipesuri. Polttoaineen vaihtaminen on varustamoille edullisempaa polttoaineiden hintojen laskun vuoksi, sekä rikkipesurin asentamisen kalleuden vuoksi (Kallis rikkipesuri... 2014.) Taulukko 2. kuvaa yleisimmin käytettyjen polttoaineiden päästöjä ja ominaisuuksia (Methanol as a marine fuel report 2015.)

Taulukko 2. Polttoaineiden ominaisuudet

Ominaisuudet	Metanoli	Metaani	LNG	Diesel
Molekyylikaava	CH <sub>3</sub> OH	CH <sub>4</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> ; 90 - 99% CH <sub>4</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>1.8n</sub> ; C <sub>8</sub> -C <sub>20</sub>
Hiilipitoisuus (wt %)	37.49	74.84	≈75	86.88
Tiheys 16°C (kg/m <sup>3</sup> )	794.6	422.5a	431 to 464a	833 to 881
Kiehumispiste 101.3 kPa (°C) b	64.5	-161.5	-160 (-161)	163 to 399
kokonaislämpöarvo (MJ/kg)	20	50	49	42.5
kokonaislämpöarvo (GJ/m <sup>3</sup> )	16		22	35
itsestään syttymislämpötila (°C)	464	537	580	257
leimahduspiste (°C)c	11		-136	52 to 96
setaaniarvo	5		0	>40
leimahdusrajat (vol % in air)	6.72 to 36.5	1.4 to 7.6	4.2 to 16.0	1.0 to 5.0
vesiliukoisuus	täydellinen	ei		ei
rikkipitoisuus (%)	0	0	<0.06	Vaihtelee, <0.5 or <0.1

### 2.3 Case VG-Shipping

VG-Shipping on valittu esimerkiksi sen vuoksi, että yhtiö valmistaa itse polttoainetta ja käyttää sitä ainakin yhdessä aluksessaan. Polttoaine on ympäristöystävällistä ja mahdollista valmistaa lähituotantona, eli siellä missä sitä tarvitaan. VG-Shipping on turkulainen varustamo ja laivanhoitoyhtiö. Yhtiö tarjoaa palveluina alusten miehistystä, teknistä hoitoa ja turvallisuutta. Yhtiö tuottaa varustamopalveluita usealle eri alukselle, mm. Arandalle, Pohjanmerelle, Letolle. Erikoista VG-Shippingissä on kuitenkin oma biopolttoainejalostamo. Polttoaine tuotetaan täysin teollisuuden sivutuotteina syntyvistä bio- ja kierrätys öljyistä, sekä kalanperkuujätteistä. Raaka-aineet ovat 100 % kierrätettyjä tai jättepohjaisia. Polttoaineen kasvihuonekaasupäästövaikutus on 60–97 % pienempi fossiilisiin öljyihin ja polttoaineisiin verrattuna. Polttoaine valmistetaan yhtiön omassa tuotantolaitoksessa Uudessakaupungissa (VG EcoFuel.) Tarkoituksena on tuottaa ekodieseliä alusten käyttöön. Varustamon aluksista ensimmäisenä ekodieseliä on kokeiltu Arandassa ja kokeilu on toiminut oikein hyvin. Ekodieselin valmistus ei ole tällä hetkellä taloudellisesti kannattavaa, mutta yhtiö uskoo, että vielä sekin päivä koittaa. Ajatuksena on myös valtion omavaraisuus polttoaineen tuotannossa (Länsi-Suomi 2015.) Kuvassa 3 on VG-Shippingin M/S Aranda, jossa on ensimmäisenä kokeiltu ekodieseliä.



Kuva 3. M/S Aranda

### 3 METANOLI

Metanoli on helposti syttyvä, väritön ja myrkyllinen alkoholi. Pieninä annoksina se voi aiheuttaa sokeuden tai kuoleman ihmiselle. Teollisuus valmistaa metanolia hiilimonoksidista ja vedystä,  $\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightarrow$  katalyytti, lämpö ja paine  $\rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$  (Arvonen & Levonen 2005, 173.) Metanolia voidaan käyttää vaihtoehtoisena polttoaineena tai polttoaineen lisänä. Metanoli sekoittuu veden sekä useimpien orgaanisten aineiden, kuten bensiinin kanssa. Bensiiniin sekoitettuna se vähentää hiilimonoksidipäästöjä, mutta lisää hiilivetypäästöjä. Käytettäessä ainoastaan metanolia polttoaineena, haitat otsonikerrokselle ovat vähäisemmät. Metanolia käytetään myös orgaaniseen synteesiin, joka tarkoittaa kemiallisten yhdisteiden valmistamista (Methanol  $\text{CH}_3\text{OH}$  2017.)

Metanoli muodostuu neljästä osasta vetyä, yhdestä osasta happea sekä yhdestä osasta hiiltä. Se on yksinkertaisin jäsen alkoholien ryhmässä. Nykyään metanolia tuotetaan teollisesti käyttäen maakaasua raaka-aineena. Metanolia käytetään johdannaisena sellaisten muiden tuotteiden valmistukseen, joita käytämme päivittäin, esimerkiksi rakennusmateriaali, muovi, maalit sekä erilaiset terveys- ja lääkintätuotteet. Metanoli palaa puhtaasti ja se on biologisesti hajoava, minkä vuoksi se on houkutteleva vaihtoehto perinteisille polttoaineille. Metanoliteollisuuden uskotaan työllistävän pelkästään Amerikassa 5000 vakituista työntekijää, sekä välillisesti 19 000 henkilöä ja liikevaihdon uskotaan olevan 12 miljoonaa vuoteen 2020 mennessä (What is methanol? 2017.)

#### 3.1 Metanolin valmistus

Metanolia voidaan valmistaa useista erilaisista raaka-aineista. Metanolin valmistukseen tarvitaan ensin kemiallista kaasua, joka on sekoitus hiilimonoksidia, hiilidioksidia sekä vetykaasua. Metanolin etuja on se, että se voidaan valmistaa mistä tahansa raaka-aineista, joista voidaan valmistaa synteettistä kaasua. Käytettäessä edistynyttä teknologiaa, voidaan kaasua valmistaa mistä tahansa, mikä on tai on ollut kasvi, esimerkiksi biomassa, maatalouden jäte, puujäte yms. Synteettistä kaasua voidaan valmistaa myös tehtaiden hiilidioksidipäästöistä. Metanolia voidaan valmistaa missä tahansa maailmassa, jossa on edistynyttä teknologiaa sekä eloperäisiä jätteitä (How is methanol made 2017.)

### 3.2 Metanolin saatavuus

Metanoliteollisuus laajenee globaalisti kovaa vauhtia. Metanolia valmistetaan Aasiassa, Pohjois- ja Etelä-Amerikassa, Afrikassa, Euroopassa ja Keski-Idässä. Maailmanlaajuisesti metanolia valmistetaan noin 90 tehtaassa, valmistusmäärän ollessa yhteensä noin 138 miljardia litraa. Päivittäin noin 200 000 tonnia metanolia käytetään polttoaineena tai kemiallisena raaka-aineena. Metanoliteollisuus tuottaa 55 miljardia dollaria vuosittain ja työllistää noin 90 000 ihmistä ympäri maailman (The methanol industry 2018.)

### 3.3 Metanolin tulevaisuus

Euroopan Unionin tavoitteena on hiilen poisto vuoteen 2050 mennessä. Tarkoituksena on lisätä uusiutuvien energianlähteiden käyttöä sekä vähentää otsonikerroksen häviämistä. Käytännön tavoitteet vuoteen 2030 mennessä ovat:

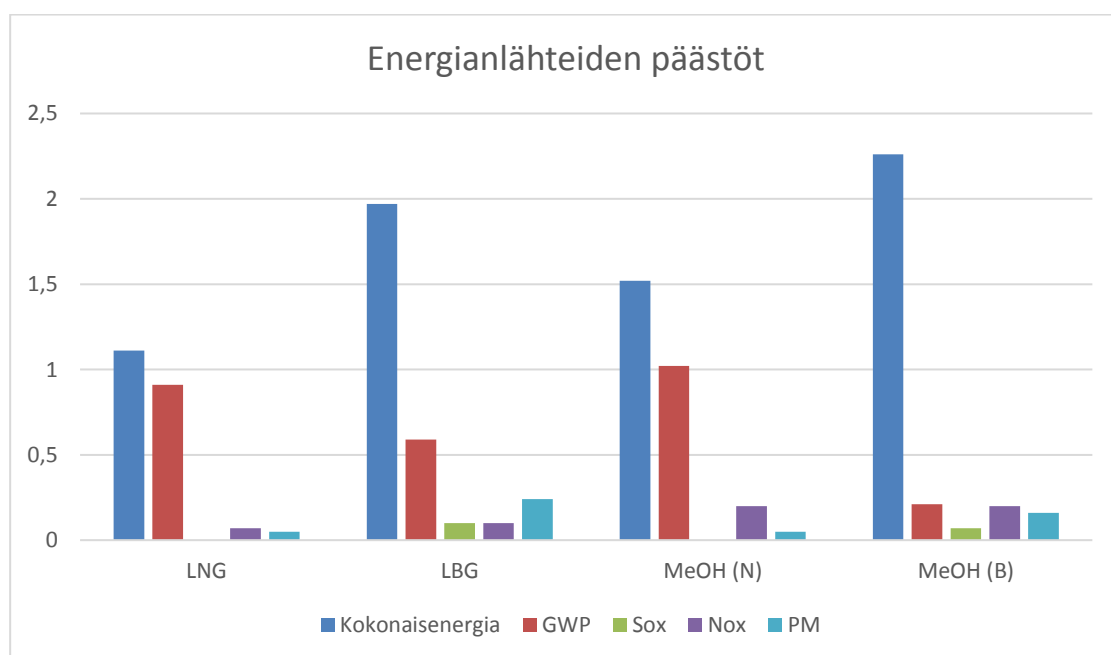
- vähentää kasvihuonepäästöjä 40 % vuoden 1990 tasosta,
- ainakin 27 % energian käytöstä uusiutuvia energianlähteitä,
- ainakin 27 % säästö energian käytössä tavalliseen energian käyttöön verrattuna.
- Käytännössä tämä tarkoittaa uudistettua EU:n päästökauppaa, uusia mittareita kilpailun ja energiansaannin turvaamiseksi sekä uusia ideoita uusiutuvien energioiden lähteeksi (2030 Energy Strategy Nd.)

Euroopan Unionin energiastrategiassa vuodelle 2050 Unionin tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 80–95% vuoteen 2050 mennessä, vuoden 1990 tasosta. Tavoitteena on, että hiilen poisto energian käytöstä on teknisesti ja taloudellisesti kannattavaa ja mahdollista. Uusiutuvan energian ja energian tehokas käyttö ovat välttämättömiä, riippumatta siitä mitä energiayhdistelmää käytetään. Infrastrukturi tulee joka tapauksessa uusia jossain vaiheessa ja se uusitaan teknologialla, joka tukee vähähiilisiä päästöjä. Euroopalaisella lähestymistavalla energian saanti on turvatumpaa, kustannukset alhaisempia ja energiaa voidaan tuottaa siellä, missä se on halvinta ja toimittaa sinne, missä sitä tarvitaan. Tämä on tehokkaampaa kuin yksittäiset kansalliset suunnitelmat (2050 Energy Strategy Nd.)

### 3.4 Vihreä laivasto

Aiemmin kerrotun mukaan Euroopan Unionin tavoitteena on tarjota asukkailleen turvallista, kestävä, edullista ja kilpailukykyistä energiaa. Tämä tarkoittaa myös sitä, että kaikkien niin maalla liikkuvien kuljetusyksiköiden kuin merellä liikkuvien kuljetusyksiköiden on osallistuttava energiatalkoisiin. Tämä on osa EU:n suurempaa energiapolitiikkaa, jonka tarkoitus on olla ympäristöystävällinen, vähähiilinen ja ilmastoystävällinen ja jonka tavoitteena on kestävä tulevaisuus (EU-Lex 2015.)

Kansainväliset säännökset vaativat myös merikelpoisilta aluksilta puhtaampia päästöjä. Tehokkaan kansainvälisen kaupankäynnin vuoksi onkin syytä harkita vaihtoehtoisia polttoaineita dieselin sijaan. Laivasto on toiseksi suurin päästöjen aiheuttaja tieliikenteen jälkeen. Hiilidioksidipäästöjä tulee 15 %, typpioksidia 42 % ja rikkidioksidia 72 %. Tieliikenteestä tulee enemmän päästöjä vain hiilidioksidista ja typpioksidista (Ramne 2017) Rikkidioksidi reagoi veden kanssa muuntuen rikkihapokkeeksi ja lopulta rikkihapoksi. Tämä tekee rikkidioksidista haitallista ympäristölle (Arvonen & Levonen 2005, 138.)



Kuva 4. Elinkaarienergian käyttö ja ympäristövaikutukset (Ramne 2017.)

Kuvassa 4 olevassa kaaviossa on esitetty vaihtoehtoisten energianlähteiden päästöt sekä kokonaisenergiantuotto. Kaaviossa raskaspolttoaine kulkee suorana viivana vasemman palkin ykkösen kohdalla. Vertailukohteina on nestemäinen biokaasu (LBG), maakaasu (LNG) sekä metanoli (MeOH), natural eli maakaasusta valmistettu ja bio eli eloperäisistä aineista valmistettu. GWP eli Global warming growth kuvaa ilmaston lämpenemistä käytetyn polttoaineen mukaan. Particulate matter emission (PM) taas kuvaa käytetyn polttoaineen hiukkaspäästöjä. Kyseisen polttoaineen rikkidioksidi ja typpioksidi päästöt on kuvattu kyseisten palkkien (SOx) ja (NOx) alla.

Maakaasu eli LNG, tunnetaan lähemmin metaanina. Se jäähdytetään  $-163^{\circ}\text{C}$  asteeseen, jolloin se muuttuu nesteeksi (LNG-Nesteytetty maakaasu, nd.) Näin se vie 600 kertaa pienemmän tilan ja voidaan helposti kuljettaa tankeissa, junissa tai kuorma-autoissa. Poltettuna siitä lähtee vähemmän hiilidioksidia ja typpidioksidia kuin öljyn käytöstä (Så funkar det 2013.)

Nestemäistä biokaasua saadaan lämmittämällä ruoanjätteitä  $+38^{\circ}\text{C}$  asteeseen (Nordicgreen 2012). Maakaasua saadaan onkaloista, jotka ovat jääneet maakuoren alle joko maalla tai merellä. Maakaasu on syntynyt ajan kuluessa, kun eloperäistä ainetta on jäänyt hapettomiin olosuhteisiin. (Biokaasu ja maakaasu, nd.)

Metanoli (MeOH) valmistetaan maakaasusta tai eloperäisestä jätteestä höyryttämällä. Metanolin valmistus on halpaa, se ei leimahda yhtä helposti kuin tavallinen polttoaine ja sen tuottaminen on turvatumppaa, koska sitä voidaan tehdä eloperäisestä jätteestä. Näin ollen riippumattomuus energian saannista on mahdollista kaikille maille. (Methanol 2016.)

### **3.5 Rikkidioksidin haitat**

Rikkidioksidi (SO<sub>2</sub>) vaikuttaa sekä ympäristöön, että ihmisten terveyteen. Lyhytaikaisesti vaikuttaa ihmisen elimistöön hengitysvaikeuksina. Lapset, vanhuksset ja astmaatit eritoten kärsivät rikkidioksidin vaikutuksista helposti. Rikkidioksidi muiden yhdisteiden kanssa aiheuttaa pienhiukkaspäästöjä, jotka voivat aiheuttaa keuhkoihin päästessään vakavia terveydellisiä ongelmia.

Suurina määrinä kaasumainen rikkidioksidi vahingoittaa puiden ja kasvien lehdistöä sekä heikentää niiden kasvua. Rikkidioksidi ja muut rikkioksidit yhdessä voivat aiheuttaa happosateita, mikä vahingoittaa ekosysteemiä.

Erityisesti vesistöissä voidaan nähdä happosateiden vaikutuksia. Happosateiden saastuttama vesi huuhtelee mennessään alumiinia maaperästä, joka lisää maaperän happamuutta, mikä taas on haitallista eläimille ja kaloille. Puut kärsivät happosateen huuhtomasta ravinteiden puutteesta eivätkä näin ollen pysty imemään itseensä auringonvaloa ja ne jäävät pakkasen armoille kuolemaan.

Happamat pölyhiukkaset aiheuttavat vahinkoa rakennuksille ja patsaille laskeutuessaan niiden päälle. Tämä taas johtaa tuhoutuneen materiaalin poistoon, mikä nostaa huoltokustannuksia ja patsaiden sekä monumenttien yksityiskohtien häviämistä (EPA 2016.)



#### 4 KONEHUONEEN MUUTOKSET

Stena Line Germanica on ensimmäinen alus maailmassa, jonka koneisto on muutettu käyttämään metanolia polttoaineena. Tässä työssä käytetään Stena Germanicaa esimerkkinä konehuoneen muutoksista, mitä muutoksella on saatu aikaan ja miten turvallisuus tulee huomioida käytettäessä metanolia. Stena Germanica on rakennettu vuonna 2001, se kulkee väliä Gothenburg-Kiel. Alus ottaa 1500 matkustajaa ja siinä on tilaa ajoneuvoille 4000 kaistametriä.

Päästöt ovat suurin piirtein samat käytettäessä metanolia kuin käytettäessä LNG:tä (natural liquified gas) polttoaineena. Metanolia käytettäessä päästöt on helpompi prosessoida, eikä aluksen infrastruktuuri vaadi niin suuria muutoksia kuin käytettäessä LNG:tä. Stena Line on vuodesta 2005 pyrkinyt vähentämään osaltaan ympäristövaikutuksia energiansäästöohjelmalla ja on pystynyt vähentämään noin 2,5 % vuotuisesta polttoainekulutuksesta. Vaihdettaessa metanoliin rikkipäästöt ovat pudonneet noin 99 %, typpioksidit 60 %, pienhiukkaspäästöt 95 % sekä hiilidioksidipäästöt 25 %, verrattuna muihin tällä hetkellä saataviin polttoaineisiin.

Stena Line on saanut Green Ship Technology palkinnon muutoksistaan Stena Germanicaan. Tällä on merkittävä vaikutus koko toimialalle tarvittaessa lisää uusia, pidemmän aikavälin ympäristöystävällisiä polttoaineita kuitenkin varustamoiden pysyessä kilpailukykyisinä (Stena Germanicas methanol conversion.) Stena Line on tilannut neljä uutta metanolilla toimivaa alusta, joiden on arvioitu valmistuvan vuosina 2019 ja 2020 (Stena Line.)



Kuva 4. Stena Germanica

#### 4.1 Koneen muutostyöt

Yleisimmät koneet joita nykyään aluksissa käytetään, ovat kaksitahti- ja nelitahtimoottoreita. Molempiin on mahdollista saada metanoli polttoaineeksi. Moottorin polttoaineruisku muutetaan siten, että siihen saadaan korkeampi ruiskutusvoima, joka tarvitaan metanolin sytyttämiseksi. Metanolissa on pienempi viskositeetti, se ei ole yhtä paksua kuin dieselissä ja raskaassa polttoöljyssä, siksi tulee kiinnittää huomiota tiivisteisiin, niin että metanolia ei pääse vuotamaan niistä. Polttoaineensyöttöjärjestelmän tulee olla erittäin turvallinen, siten, että normaalit huoltotyöt ja korjaukset pystytään tekemään ilman altistusta metanolille. Tästä syystä metanolimoottorit varustetaan polttoainejakelu- ja polttoainejärjestelmän kaksinkertaisella seinällä. Vaihtoehtoisesti järjestelmä voidaan rakentaa niin, että se voidaan puhdistaa nitrogeenillä, jotta työskentely on turvallista. Toisin kuin raskaita polttoaineita, metanolia ei tarvitse lämmittää, toisinaan kuitenkin jäähdyttää (Methanol as a marine fuel report 2015, 26.)

IMO:n International Code of Safety for Ships using Gases or other LOW-Flashpoint Fuel, (IGF- Code), tarjoaa kansainväliset standardit aluksille, jotka käyttävät matalan leimahduspisteen (jatkossa LFL-polttoaine) omaavia polttoaineita. Säännöstö tarjoaa pakolliset säännökset järjestelyyn, asennukseen, koneen kontrollointiin ja valvontaan, sekä laitteiden ja systeemin käyttöön, aluksen, miehistön ja ympäristön turvallisuuden suojelemiseksi, ottaen huomioon käytetyn polttoaineen. IGF- säännöstö on tullut pakolliseksi tammikuusta 2017 alkaen ja tulee sisältämään vaatimukset metanolin myöhemmästä käytöstä. Tästä riippumatta suurin osa eri maista joutuu täyttämään säännöstön jo ennen sen pakollisuutta, koska se on IMO:n säädös. IGF- säännöstön toiminnalliset vaatimukset ovat seuraavat; turvallisuus, luotettavuus ja systeemin käyttövarmuus tulee olla vastaavanlainen ja verrattavissa oleva perinteisiin öljy- ja apumoottorillisiin koneisiin. Tämä turvallisuustaso saavutetaan suorittamalla riskien arviointi, vaarojen tunnistaminen, (HAZID), virhemoodit, vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi, (FMECA), polttoainejärjestelmään. Tämä toteutetaan suunnitteluvaiheessa riskien välttämiseksi, sekä apuvälineenä vaihtoehtoisten riskien arvioinnissa ja vähentämisessä, mikäli riskien arvioidaan olevan korkeat (Use Of Methanol as a Fuel 2016, 20.)

## 4.2 Metanolin bunkraus

Metanolin säilytykseen ja lastaukseen on molempiin omat säädökset. Bunkkeriasema on sijoitettava niin, että alueella on riittävä luonnollinen ilmanvaihto ja että se on erotettu laivan muista osista laipiolla, paitsi silloin kun se sijoitetaan tankkereiden lastialueelle. Suljetut tai osittain suljetut bunkkeriasemat ovat erikoisharkinnanvaraisia ja niissä tulee olla koneellinen ilmanvaihto (Use of methanol as a fuel 2016, 21–22.)

Bunkkeroinnin kontrollointi tulee olla mahdollista turvallisesta paikasta. Tähän paikkaan tulee sijoittaa myös ylitäyttöhälytys sekä automaattinen sammutus. Tästä paikasta on myös voitava valvoa tankin pintaa.

Käsin operoitava pysäytysventtiili sekä kauko-ohjattava pysäytysjärjestelmä tai yhdistetty käsin operoitava käyttöjärjestelmä sekä kauko-ohjausventtiili on sijoitettava jokaiseen bunkkeriin satamaletkun lähelle. Bunkkerointiletkujen on oltava itsestään tyhjeneviä. Bunkkerilinja puhdistetaan tyypellä kaasuvapaaksi. Liittämiskytkennän siirtoputken tulee olla itsestään sulkeutuvaa mallia. Mitkään näistä systeemeistä eivät ole uusia tai haasteellisia toteuttaa vaan ne ovat jo käytössä olevia, toimivia ratkaisuja.

Näiden sääntöjen on tarkoitus myös suojella metanolin kanssa työskenteleviä henkilöitä (Use of methanol as a fuel 2016, 21–22.)

## 4.3 Metanolin varastointi aluksella

Polttoainetta, metanolia, ei saa säilyttää lähellä aluksen koneita tai majoitustiloja. Pienin horisontaalinen etäisyys laivan rungon ja polttoaineensäilytystankin välillä tulee olla 760 mm. Tilat aluksen keulassa tai perällä eivät sovellu polttoaineen säilytykseen. Molemmille käytettäville polttoaineille tulee olla oma tankki, mikäli aluksessa on käyttömahdollisuus eri polttoaineille, sekä muut tärkeät laitteet tulee olla saatavilla. Mikäli käytetään vain metanolia polttoaineena, jokaisen tankin käyttökapasiteetti on oltava niin suuri, että normaalissa ajossa voidaan käyttää pääkoneita sekä apukoneita moitteettomasti vähintään kahdeksan tuntia (Use of methanol as a fuel 2016, 21–22.)

Laivan sisällä olevien polttoainetankkien suojaksi tulee tehdä erillinen tyhjätila, cofferdamn, mikäli aluksen pohjassa ei ole suojalevyä tai erillistä polttoainehuonetta. Tyhjätilan tulee olla varustettu kaasu- ja nestevuotohälyttimillä sekä mahdollisuudella täyttää vedellä, mikäli mahdollinen vuoto havaitaan. Veden-täyttö mahdollisuus ei saa olla kytkettynä vaarattomien aineiden vesikalusteisiin. Tyhjennys tulee myös suorittaa erillisellä järjestelmällä. Pilssipumput jotka palvelevat riskitiloja eivät saa olla pysyvästi kytkettynä ajovesisysteemiin (Use of methanol as a fuel 2016, 21–22.)

#### **4.3.1 Kaasujen poisto, inertointi ja polttoainetankkien tuuletus**

Polttoainetankkeihin tulee järjestää mahdollisuus inerttihuuhteluun sekä turvalliseen kaasujen poistoon. Polttoainetankit, joista ei ole suoraa yhteyttä avoimelle kannelle, tulee varustaa riittävällä määrällä ilmansisäänotto- ja ulostuloaukoin, kuitenkin vähintään kaksi kappaletta molempia. Tankeissa tulee olla mahdollisuus paineen/vakuumin poistoon niin ajon, bunkkeroinnin kuin polttoaineen siirron aikana ja ne tulee varustaa suljettavilla luukuilla (Use of methanol as a fuel 2016, 24.)

Jokaisessa tankissa tulee olla erikseen oma venttiili paineen tasaamiseen. Ilmanvaihtojärjestelmä pitää olla varustettuna ylimääräisillä paineen- ja vakuuminpoistolla. Paineentunnistimet jokaisessa tankissa yhdistettynä hälytysjärjestelmään saatetaan hyväksyä vaihtoehtoisesti. Paineen- ja vakuuminpoistaventtiilit tulee sijoittaa avoimelle kannelle ja niiden tulee olla sellaisia, että venttiilien toiminta on helppo tarkistaa. Paineen- ja vakuuminpoistoon tarkoitettua ilman sisäänottoventtiilit tulee sijoittaa 1,5 m tankkien yläpuolelle ja ne on suojattava mereltä (Use of methanol as a fuel 2016, 24.)

Venttiilit tulee mitoittaa niin, että niissä on ”flame screen”, joka estää mahdollisten liekkien etenemisen ilman että se aiheuttaa tankkiin ylipainetta. Erityisesti olosuhteissa joissa kyllästetty polttoainehöyry vapautetaan ilmanvaihtoventtiilin kautta, maksimi bunkkerointi nopeudella. Paine ero polttoainetankin höyryjen ja ilmakehän välillä ei saa ylittää tankkien suunniteltua höyryn kestoa tai yksittäisissä tankeissa tankin maksimi paineen sietoa (Use of methanol as a fuel 2016, 24.)

Ilmanvaihtosysteemi tulee yhdistää jokaisen tankin korkeimpaan kohtaan ja venttiililinjojen on oltava itsestään tyhjeneviä normaaleissa toimintaolosuhteissa. Kaasuja vapauttavat tankit on järjestettävä siten, että niiden aiheuttamat vaarat on minimoitu, kun vapautetaan syttyviä kaasuja ilmakehään sekä säilytetään tankeissa syntyviä syttyviä kaasuja. Ilmanvaihtosysteemiä jota käytetään kaasujen vapauttamiseen polttoainetankeissa, tulee käyttää vain tätä tarkoitusta varten (Use of methanol as a fuel 2016, 24.)

#### **4.3.2 Polttoainetankit sääkannella**

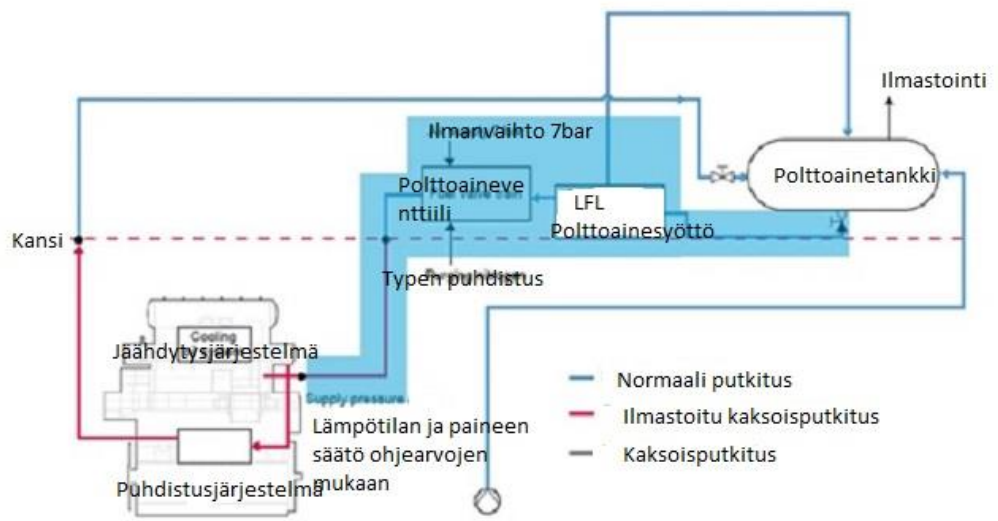
Polttoainetankit, (LFL), jotka on sijoitettu sääkannelle, tulee suojata mahdollisilta mekaanisilta vaurioilta. Tankit jotka on sijoitettu avoimelle kannelle, tulee ympäröidä kuorilla, vierekkäisiä tankeja tulee harkita niiden aiheuttaman palovaaran minimoimiseksi. LFL tankkien suojaaminen mahdollisilta tulipaloilta aluksella tulee ottaa huomioon aina erikseen (Use of methanol as a fuel 2016, 24–25.)

Metanolin säilytys ja varastointi eivät ole niin yksinkertaisia kuin tavanomaisen polttoöljyn. Tämä johtuu metanolin ominaisuuksista, muun muassa siitä, että metanoli palaa värittömästi ilman liekkiä toisin kuin tavanomainen polttoöljy. Sen vuoksi erilaiset mittarit ja anturit ovat elintärkeitä säilytettäessä metanolia aluksella. Ne eivät ole uusia keksintöjä, mutta niiden pakollinen asentaminen saattaa aiheuttaa lisäkustannuksia (Use of methanol as a fuel 2016, 24–25.)

#### **4.4 Metanolin käsittely ja prosessointi pääkoneessa**

Kuvassa 5. on kuvattu metanolin prosessointi ja käsittely kohti pääkonetta, säädösten mukaan. Polttoainesysteemin tulee olla täysin erillinen laivan muista putkituksista. Putkien tulee sijaita vähintään 760 mm päästä laivan rungosta. Aluksilla joissa käytetään vain LFL, tulee polttoaineen syöttöjärjestelmä sijoittaa niin, että se on tankilta kuluttajille erillinen. Mikäli järjestelmässä esiintyy vuotoja, vaaditaan kuvatulainen toimenpide jotta pystytään havaitsemaan, että siitä ei aiheudu vaaraa työntövoiman menetyksenä, sähköön tuotan-

toon tai muihin tärkeisiin toimintoihin. Kaikki putket, jotka sisältävät LFL:ä, tulee voida inertoida sekä vapauttaa kaasuja. Suunnittelupaine on suurin paine, johon käyttöjärjestelmä voidaan altistaa. Polttoaineputken minimi suunnittelupaine on 10 bar:ia. Voidaan ottaa huomioon mahdollinen nesteisku ja se tulee huomioida siksi, että linjan paine on yli 10 baria polttoainejärjestelmän sulkeamisessa. Valuma-altaita tulee sijoittaa mahdollisiin vuotokohtiin (Use of methanol as a fuel 2016, 25–26.)



Kuva 5. Metanoli pääkoneessa

#### 4.4.1 Polttoaineen käyttöjärjestelmän turvaaminen

Polttoaineputket tulee suojata mahdolliselta mekaaniselta vahingolta. Kaikki putket, jotka sisältävät LFL:ä aluksen sisätiloissa, tulee suojata erillisellä putkella joka kestää kaasun ja veden joita saattaa esiintyä LFL:ä sisältävien putkien ympäröivässä tilassa. Polttoaineputkia ei saa kulkea majoitus- valvonta ja huoltotilojen läpi. Mikäli polttoaineputkia kuitenkin joudutaan sijoittamaan majoitustiloihin, läpivientien tulee olla kaasun ja veden kestäviä.

Kahden putken välinen tila tulee voida tuulettaa avoimeen ilmaan, sekä varustaa neste- ja kaasuhälyttimillä. Myös putkien välisen tilan inertointi voidaan hyväksyä. Inertoitavan kaasun paineen tulee olla suurempi kuin polttoaineen paineen, putket on myös varustettava sopivilla hälytysjärjestelmillä, joilla voidaan

havaita inertoivan kaasun poistuminen putkistosta (Use of methanol as a fuel 2016, 26.)

#### **4.4.2 Venttiilit**

Tankkien, joissa säilytetään LFL:ä, sisäännotot ja ulostulot tulee varustaa kauko-ohjattavilla kiinnimenoventtiileillä, mahdollisimman lähelle tankkia. Tankin venttiiliin tulee automaattisesti katkaista LFL:n syöttö.

Venttiilit, joiden tulee toimia normaalisti mutta niihin ei päästä käsiksi, tulee olla etäkäytettäviä. Normaalilla käytöllä tarkoitetaan bunkkerointia sekä polttoaineen tarjoamista käyttäjälle (Use of methanol as a fuel 2016, 26.)

Kaikki konehuoneeseen menevät pääputket on varustettava automaattisesti toimivalla pääventtiilillä, joka voi pysäyttää LFL:n syötön koneeseen. Venttiili tulee sijoittaa konehuoneen ulkopuolelle. LFL polttoainejärjestelmä tulee varustaa kauko-ohjattavilla venttiileillä, jotka sulkevat polttoaineen syötön jokaiselle käyttäjälle (koneelle) erikseen. Jokaiseen koneeseen menevässä LFL putkessa on oltava yksi manuaalisesti käytettävä sulkuventtiili, joka takaa huoltotöiden turvallisen tekemisen. Kaikissa automaattisesti käytettävissä venttiileissä tulee olla nähtävissä, merkki tai näyttö, josta voidaan nähdä onko venttiili auki vai kiinni (Use of methanol as a fuel 2016, 26.)

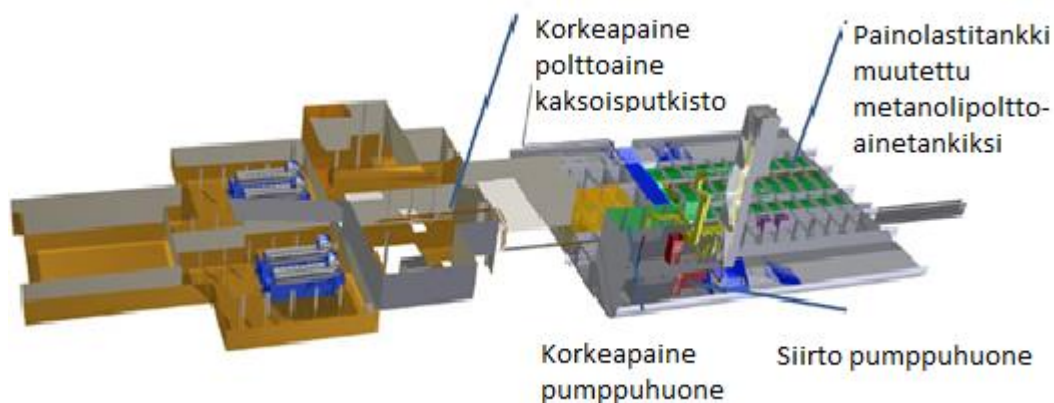


Kuva 7. Metanoli putkistoa

#### 4.4.3 Polttoainepumput

Kaikki pumppuhuoneet tulee sijoittaa konehuoneen ulkopuolelle ja niiden tulee olla vesitiiviitä ja kaasutiiviitä ympäröivään tilaan nähden, sekä se tulee voida tuulettaa avoimeen ilmaan. Hydrauliset polttoainepumput, jotka on upotettu polttoainetankkiin, tulee suojata kaksinkertaisella seinällä tai esteellä, niin että ne eivät ole suoraan kosketuksissa polttoaineeseen. Kaksinkertainen este tulee järjestää mahdollisen polttoaineen vuodon havaitsemiseksi ja kuivaimiseksi. LFL-pumppuhuoneissa on oltava erillinen pilssijärjestelmä, jota voidaan käyttää pumppuhuoneen ulkopuolelta. Pilssiejektorit, jotka palvelevat vaarallisia tiloja, eivät saa olla suoraan kytkettynä ajovesijärjestelmään. Pilssijärjestelmässä voi olla mahdollisuus tyhjennykseen siihen sopivaan lastitankkiin, jätetankkiin tai vastaavaan. On kuitenkin otettava huomioon vaarat yhteensopimattomuuden kanssa (Use of methanol as a fuel 2016, 27.)





Kuva 8. Metanoli pumppuhuone

#### 4.4.4 Lämpötilan kontrollointi

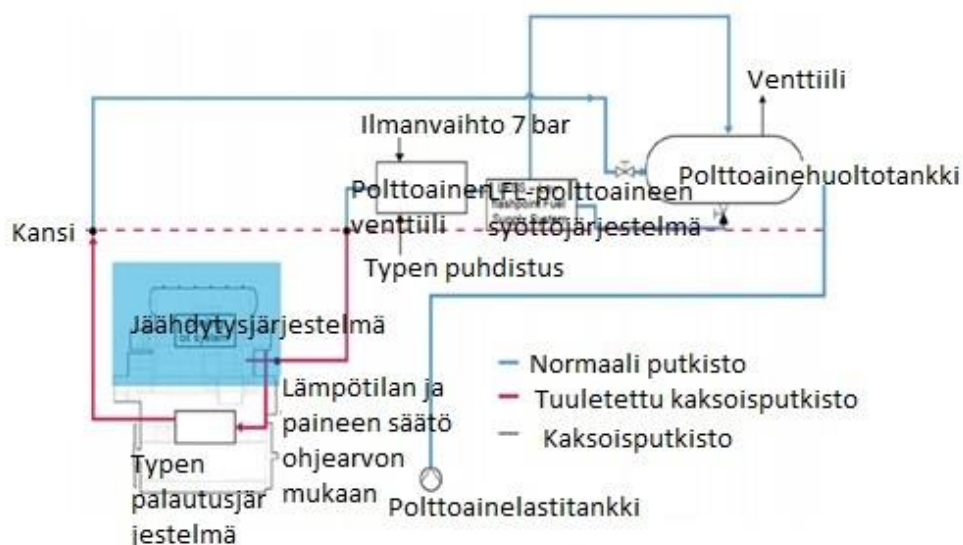
Lämpötilan ohjausjärjestelmä toissijaisena järjestelmänä on järjestettävä riippumattomaksi aluksen muista palveluista ja se tulee olla varustettuna venttiileillä, joilla voidaan eristää jokainen syöttölinja ja tankki erikseen. Mille tahansa lämpötilansäätöjärjestelmälle on järjestettävä keino, jolla taataan, että missä tahansa muissa, kuin tyhjiissä järjestelmissä, tulee olla korkeampi paine, kuin mitä polttoainesäiliön pitoisuus järjestelmässä aiheuttaa. Lämpötilan säätöpiirin paisuntasäiliö on varustettava kaasunilmaisimella sekä matalan tason hälyttimellä ja se tulee voida tuulettaa ulkoilmaan. Metanolin polttoaineen siirto- ja syöttöjärjestelyn kokoonpano metanolisäiliöstä kohti pääkonetta on monimutkaisempi verrattuna tavanomaisiin polttoainejärjestelmiin. Pääasiallisin monimutkaisuutta edistävä tekijä on putkitus jossa tulee olla kaksoisseinä sekä tarvittava kaasunpoisto ja inerttiominaisuudet, rengasmaisen tilan tuuletus, höyryn ja nesteen vuotojen havaitseminen. Lisääntynyt monimutkaisuus johtuu myös kauko-ohjatuista sulkuventtiileistä tankkeihin, venttiileistä jotka ovat toiminnassa normaali käytössä sekä LFL-polttoaineen syöttöventtiileistä kullekin kuluttajalle niiden vastaavan ohjausjärjestelmän kanssa. Lisääntynyt monimutkaisuus lisää asennuskustannuksia (Use of methanol as a fuel 2016, 27.)

#### 4.4.5 Turvallisuusnäkökohdat

Metanolipolttoaineen siirtäminen tankeista pääkoneeseen on monimutkainen tapahtuma metanolin fysikaalisten ominaisuuksien vuoksi. Metanolin leimahduspiste on noin 12c, joka on vähimmäislämpötila, jossa metanoli höyrystyy riittävässä konsentraatiossa muodostaakseen syttyvän seoksen ilman kanssa. Kaksoiseinäiset putket riittäväällä ilmanvaihdolla sekä erottelu mahdollisuudella, kauko-ohjattavien venttileiden kanssa ovat siksi tarpeen. Metanolihöyry on raskaampaa kuin ilma ja se liikkuu alaspäin, siksi kaasunilmaisimien ja tuuletuksen sijoittaminen alemmille tasoille on tarpeen. Metanolin prosessointi- ja käsittelyjärjestelmässä on useita eri venttiili- ja putkiliitoksia. Tämä tarkoittaa sitä, että järjestelmässä on useita potentiaalisia vuotokohtia jotka pitää huomioida, ottaen huomioon metanolin matala viskositeetti. Tämä otetaan huomioon valittaessa tiivisteet ja muut vastaavat tuotteet oikeanlaisista materiaaleista (Use of methanol as a fuel 2016, 27.)

#### 4.4.6 Metanolin polttaminen pääkoneessa

Tämä osa metanolin polttojärjestelmästä koostuu ylimääräisistä tehostus suuttimista, sylinteriin asennetuista nestekaasun injektointilohkosta, jotka sisältävät säätöventtiilin metanolin polttoaineen ruiskutukseen, tiivistysvahvistimen aktivointiventtiilin, pakotettu imuventtiili, puhdistusventtiilin sekä metanolin tulo- ja poistovenntiilit. Kuvassa 9, on kuvattu metanolin poltto pääkoneessa (Use of methanol as a fuel 2016, 29.)



Kuva 9. Metanolin poltto pääkoneessa

Yleisiä asioita, jotka koskevat sekä LFL-polttoainekäyttöisiä koneita että koneita, joissa voidaan käyttää kahta eri polttoainetta. Toimenpiteet tulee tehdä niin, että voidaan taata tehokas tiivistys ruiskutukselle tai pääsy laitteisiin, jotka voisivat vuotaa polttoainetta konehuoneeseen. Toimenpiteet tehdään niin, että LFL-polttoaineen ruiskutuspumput, sekä ruiskutuslaitteet ovat hyvin voideltuja. Käynnistysjärjestys tehdään siten, että LFL-polttoainetta ei ruiskuteta tai lisätä sylintereihin ennekuin sytytys aktivoidaan ja kone on saavuttanut minimirotaationopeuden. Tässä suhteessa esiruiskutusta tarvitaan. Mikäli sytytystä ei ole havaittu odotetun ajan kuluessa polttoaineen syöttö- ja ruiskutusjärjestelmän aktivoinnista, LFL-polttoaineen syöttö sammutetaan automaattisesti ja aloitussekvenssi päättyy (Use of methanol as a fuel 2016, 29.)

#### 4.4.6.1 Kahden polttoaineen moottorin toiminnalliset vaatimukset

LFL-kaksoispolttomoottoreiden on voitava käynnistyä ja pysähtyä normaalisti sekä pitää matalatehoinen toiminta vakaana. LFL-polttoaineen syötön sammumisen yhteydessä moottorin on kyettävä toimimaan jatkuvasti öljypolttoaineella. Vaihto LFL-polttoaineeseen ja takaisin on tapahduttava hyväksyttävällä

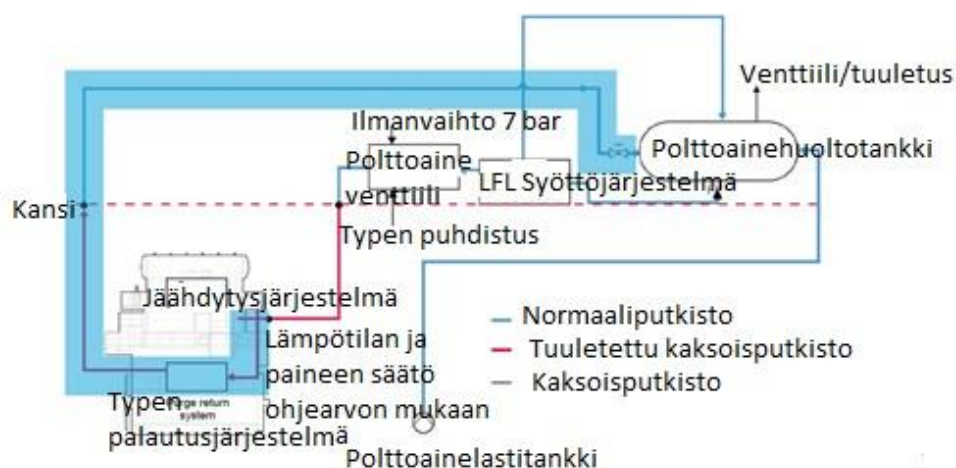
luotettavuudella, kuten testaus on osoittanut. LFL-polttoaineen käyttöönoton valmistuttua on vaihdon tapahduttava automaattisesti. Normaalin- ja hätäsammutuksen yhteydessä LFL-polttoaineen syötön on mentävä pois päältä samanaikaisesti, kun öljypolttoaineen syöttö käynnistyy. LFL-ilmaseoksen polttaminen sylintereissä on aloitettava riittävällä energialla, että voidaan taata tehokas sytytys johon vastaa LFL-ilmaseoksen palaminen. Se ei saa olla mahdollista, että sytytyslähde sammutetaan ilman, että LFL-polttoaineen syöttö sylintereihin ja koneeseen ei sammu samanaikaisesti (Use of methanol as a fuel 2016, 29.)

#### **4.4.6.2 LFL-polttoaine koneen toiminnalliset vaatimukset**

Yksittäinen vika LFL-polttoaineen syöttöjärjestelmässä ei saa johtaa täydelliseen polttoaineen syötön menettämiseen. LFL-polttoainejärjestelmiä on kehitetty vuodesta 2012. Kaksoispolttoainejärjestelmiä on tilattu noin 7 kappaletta yhteensä, joka tarkoittaa suhteellisen tuoretta ratkaisua tällä järjestelmällä. Metanolin käyttöjärjestelmä vaatii myös erilaiset voitelujärjestelmät, jotka poikkeavat huomattavasti tavanomaisesta öljypolttoainejärjestelmästä. Metanolin käyttö polttoaineena edistää puhtaampaa voiteluympäristöä, mutta aiheuttaa huomattavasti suurempaa kulumista moottorissa, kuin tavanomainen öljypolttoaine. Kulumisen voi vaikuttaa moottorin toimintaan ja kestävyYTEEN (Use of methanol as a fuel 2016, 29.)

#### **4.4.7 Metanolin käsittely ja prosessointi pääkoneen jälkeen**

Tämä osa sisältää puhdistuspalautusjärjestelmän koko koneen läpi. Kuvassa 10, on kuvailtu metanolin prosessointi.



Kuva 10. Metanolin prosessointi

Toiminnalliset vaatimukset kaasujen poistoon ja inertointiin metanolijärjestelmistä löytyvät useista kohdista DNV GL-säännöistä. DNV GL:n luokittelua koskevat säännöt sisältävät toimintaohjeita ja teknisiä vaatimuksia sertifiointin ylläpitämiseen ja säilyttämiseen. Säännökset esittävät kaikki yhteiskunnan hyväksymät vaatimukset luokittelun perusteeksi (Rules for classification 2017.)

Kaikki LFL-polttoainetta sisältävät putket on järjestettävä kaasun poistolla ja inertoinnilla. Kussakin moottorissa on oltava yksi manuaalinen sammutusventtiili LFL-polttoaineen syöttöputkea varten turvallisten huoltotöiden takaamiseksi moottorissa. Nämä vaatimukset ovat toimivia ja koneen sekä järjestelmän suunnittelijan tulkittavissa. Useita ratkaisuja on olemassa, mutta yleinen tulkinta on, että metanolipolttoainejärjestelmä tulee voida tyhjentää, puhdistaa ja vapauttaa kaasusta koko järjestelmän matkalta. Tämä soveltuu myös pääkoneen jäänteille. Metanoli kerätään lopulta huoltotankkiin tai lisäjäämäsäiliöön.

Typellä on huomattava rooli koko prosessissa ja sen asennukseen vaadittavat toimenpiteet ovat seuraavia. Kaikki LFL-polttoainetta sisältävät tankit tulee inertoida. Polttoainehöyryjen palaaminen kaasuturvallisiin tiloihin tulee estää niin, että inertin kaasun syöttölinja on varustettu kahdella venttiilillä joiden vä-

lissä on ilmastusventtiili. Lisäksi voidaan asentaa takaiskuventtiili kaksoislohkon ja ilmausjärjestelmän sekä polttoainesäiliön väliin. Nämä venttiilit tulee sijoittaa alueille, jotka eivät ole vaarallisia ja niiden tulee toimia kaikissa normaali olosuhteissa, kuten aluksen tärinässä, kallistuksessa sekä liikkeessä (Use of methanol as a fuel 2016, 31.)

Seuraavat olosuhteet mukaan lukien, silloin kun putkien liitännät eivät ole pysyviä, kaksi takaiskuventtiiliä voivat korvata yhden takaiskulaitteen joka on sijoitettu yläpuolelle. Matalapainehälytys on sijoitettava tyypin syöttölinjalla polttoainetankkiin mille tahansa kaksoislohko- ja ilmausventtiiliin sekä paineentasausyksikköön. Mikäli paine/vakuuhälytyslaitteita sijoitetaan kaikkiin polttoainetankkeihin riittäväillä venttiileillä, ei tarvita erillistä matalapainehälytintä. Valvontahuoneeseen sijoitetaan korkeahappihälytys, jonka tulee hälyttää, kun inertin kaasun happipitoisuus ylittää 5 prosenttia. Mikäli typpigeneraattori tai typpisäiliö sijoitetaan konehuoneen ulkopuolelle erilliseen lokeroon, tulee tämä tila varustaa erillisellä mekaanisella ilmanvaihdolla niin, että ilma vaihtuu vähintään kuusi kertaa tunnissa. Alhainen happihälytys on myös asennettava. Tällaisia tiloja tulee käsitellä kuten muitakin konehuoneentiloja paloturvallisuuden osalta (Use of methanol as a fuel 2016, 31.)

#### **4.4.8 Osoitetut turvallisuusnäkökohdat**

Metanolin käsittely pääkoneen jälkeen liittyy erityisesti kaksoispolttomootteihin, sekä mahdolliseen polttoaineiden vaihtamiseen. On erityisen tärkeää huomioda tämä koneen huoltotöiden yhteydessä. On olemassa useita skenaarioita milloin polttoaineputkisto tulee tyhjentää metanolista sen alhaisen leimahdusvaaran sekä myrkyllisyyden vuoksi (Use of methanol as a fuel 2016, 31.)

Erilaisille alustyypeille on mainittu omia vaatimuksia LFL-polttoainejärjestelmän suhteen. Esimerkiksi matkustaja-aluksien sääkansilla ei voida säilyttää LFL-polttoainetankkeja ja alueet jotka on merkitty vaarallisiksi, on eristettävä matkustajista täysin. Pääasialliset erot tälle alustyyppille löytyvät kemikaalirah-tialuksista, pääasiassa tulee ottaa huomioon paloturvallisuus, sekä se, että rahti ei pääse saastumaan polttoaineesta (Use of methanol as a fuel 2016, 33.)

## **5 TURVALLISUUS**

Turvallisuutta metanolin käytössä on sivuttu melkein joka kappaleessa, tämä osio on koonti metanolin turvallisesta käsittelystä. Väärinkäsiteltynä metanoli on vaarallista kaikelle elolliselle. Se on helposti syttyvää, myrkyllistä, se reagoi alkalimetalleiden ja vahvojen hapettimien kanssa ja sekoittuu 100 prosentti-

sesti veteen. Näiden ominaisuuksien vuoksi metanolia käsiteltäessä ja varastoitessa vaaditaan tietynlaisia toimenpiteitä (Safe handling manual, 4th edition, 8–10.)

Metanoli tulee varastoida omalla paikallaan, missä se on suojattuna lämmöltä ja sytytyslähteiltä. Kaikki sähköjärjestelmät tulee olla täysin suljettuja sekä räjähdyksen pitäviä. Metanoli on säilytettävä suljetussa astiassa, jotta se ei ime itseensä kosteutta. Mikäli säiliö on tiivis ja suljettu, siinä tulee ottaa huomioon lämpölaajeneminen, muuten metanoli voi aiheuttaa säiliön repeämisen. Lämpötilaa tulee kontrolloida koko käsittelyn ajan, liian nopea lämpötilan nousu voi johtaa syttymiseen tai räjähtämiseen, myös liian alhainen lämpötila voi johtaa prosessin keskeytymiseen. Mahdollisuus läikkymiseen on myös otettava huomioon, sen vuoksi suljetut järjestelmät ovat suositeltuja (Safe handling manual 4th edition, 28.)

Metanoli on myrkyllistä hengitettynä, joutuessaan ihokontaktiin sekä nieltäessä. Nieltäessä metanolia, se muuttuu metaanihapoksi tai formiaattisuoloiksi, joka on vaarallista keskushermostolle, se voi aiheuttaa kooman, sokeuden tai kuoleman. Ainoastaan 10 ml puhdasta metanolia riittää aiheuttamaan sokeuden, 30 ml on hengenvaarallista ja 100 ml aiheuttaa kuoleman. Matkapuhelimen käyttö metanoliasemilla tai sen lähetyvillä on kielletty. Matkapuhelimet voivat sytyttää metanoli höyryjä, niiden soidessa tai aktivoituessa vapautuu tähän tarpeeksi energiaa. Sama koskee kannettavia tietokoneita, taskulamppuja sekä muita akuilla ja pattereilla toimivia laitteita (Safe handling manual 4th edition, 55.)

Metanolia käsiteltäessä tulee aina olla suojavaarusteet. Minimi suojavaarusteina ovat käsineet sekä suojalasit, joissa on sivusuojat. Hengityssuojain vaaditaan tietyn pitoisuuden ylittyessä. Toistuvassa mahdollisessa kontaktissa tulee käyttää kemikaalisuojattuja suojavaatteita, kuten kumisaappaita, hansikkaita, sekä haalareita. Kemikaalisuojattuja suojalaseja tulee käyttää, mikäli on mahdollista, että metanolia tai metanolihöyryä voi joutua silmiin. Kasvojen edessä voidaan käyttää kokomaskia, mutta se ei saa korvata suojalaseja (Safe handling manual 4th edition, 59–60.)



Metanolia sisältävällä alueella tupakointi on kiellettyä, ajoneuvoilla ajo rajoitettua, riittävä ilmanvaihto on oltava mahdollisten höyryjen tuulettamiseen, mahdolliset vuodot/läikkymiset tulee imeyttää hiekkaan tai maa-ainekseen ja alue tulee huudella vedellä. Yksityiskohtaisempia ohjeita löytyy Amerikan metanoli-instituutin sivuilta (Safe handling manual 4th edition, 148.) Vaarallisten aineiden käsittelyä varten tulee olla kirjallinen suunnitelma koko prosessista sekä nimetty vastuuhenkilö (Tukes, 2018).

## 5.1 Metanoli ja paloturvallisuus

Metanolin turvallinen käsittely vaatii kaikkien paloriskien tunnistamisen ottaen huomioon metanolin erityispiirteet. Tulessa höyryt palavat, metanoli on neste normaaliolosuhteissa, mutta se vapauttaa höyryjä riippuen lämpötilasta. Metanoli vapauttaa enemmän höyryä kuin diesel, mutta vähemmän kuin bensiini. Polttoaineen syttyvyys riippuu sen kyvystä vapauttaa höyryjä yhdessä sen leimahdusherkkyyden kanssa. Nämä määrittävät pitoisuuden jossa höyry voi palaa ilmassa. Alhaisemman syttymisrajan alapuolella polttoaine ei pala, koska seos on liian vähäistä. Ylemmän rajan yläpuolella seos on liian rikasta ja palaminen sammuu. Metanolin syttyvyysalue on 6–36 tilavuusprosenttia, bensiiniin 1.4–7.6 vol % ja dieselin 1–6 vol %. Alempi syttymisraja liitettynä ominaisuuteen päästää höyryä voidaan kääntää lämpötilaksi, jossa riittävä määrä höyryä nesteen yläpuolella syttyy. Tätä lämpötilaa kutsutaan leimahduspisteeksi. Tämä on tärkeä lämpötila, jonka YK on luokitellut maailmanlaajuisesti yhdenmukaiseksi kemikaalien luokittelujärjestelmäksi.

Metanolihöyry on lähellä neutraalia kelluvana ja se seuraa mielellään ilman liikkeitä. Tämä riippuu kuitenkin lämpötilasta. Lämpimät lämpötilat voivat tuottaa höyryä vaikka matalat lämpötilat voivat aiheuttaa kertymistä alhaisilla alueilla.

Höyryn kertyminen on tavallista myös bensiinille, joka on raskaampaa kuin ilma. Molempia, bensiiniä ja metanolia pidetään räjähdysvaarallisina suljetuissa tiloissa (Safe handling manual 4th edition, 136–149.)

## 5.2 Palon torjunta

Metanolin tulipalo ja räjähdys voidaan periaatteessa estää kontrolloimalla polttoainehöyryjä ja estää sytytyslähteet. Tässä raportissa on useasti mainittu hälytysjärjestelmistä konehuoneessa ja metanolin syöttöputkistossa. Metanolitankkeissa tulee minimoida höyryn mahdollisuus sekä ilman pääsy tankkeihin. On tärkeää myös kontrolloida tankeista vapautuvaa höyryä varustamalla tuuletusaukot ja venttiilit liekkivahdeilla. Liekkivahteja ei saa valmistaa alumiini-seoksesta, koska metanoli syövyttää alumiinia. On raportoitu tapauksesta, jossa vahingoittunut liekkivahti on aiheuttanut tulipalon tankissa, kun on vapautettu höyryjä. Toinen tapa hallita metanolihöyryä tankissa on inerttikaasu vaippa tai peitto. Se tuo lisäturvallisuutta syttymiselle tankin kaasutilassa sekä estää syttyvien höyryjen pääsyn tankista. Tämä toimenpide on erityisen tärkeä, mikäli normaali polttoaineen lämpötila voi aiheuttaa höyryn konsentroitumisen tai tankki on paloherkällä alueella (Safe handling manual 4th edition, 136–149.)

Metanolitankit tulee maalata ulkopuolelta kuumuutta heijastavalla maalilla, joka vähentää höyryjen syntymistä ja poistumista tankeista. On myös tärkeää, että sytytyslähteet ovat tiukasti valvottuja metanolitankkien läheisyydessä, riippumatta siitä, onko säilytys tankeissa vai kannettavissa säiliöissä. Varastointialueet tulee merkitä selkeästi merkeillä, ne tulee voida tuulettaa sekä sitoa ja maadoittaa kunnolla. Tankkien sisäistä painetta on voitava säädellä paineentasaus- ja tyhjennysventtiileillä. Metanolipaloja ja räjähdyksiä voidaan välttää poistamalla alueelta, missä saattaa esiintyä metanolihöyryä, sytytyslähteet (Safe handling manual 4th edition, 136–149.)

Metanolin läheisyydessä ja alueella missä saattaa esiintyä metanolikaasua ei saa tupakoida, ei käyttää kipinöitä aiheuttavia työkaluja. Radiot, matkapuhelimet, kannettavat tietokoneet sekä muiden elektronisten laitteiden käyttöä metanolin läheisyydessä tulee välttää. Vähintään seitsemän metriä tulisi olla varoalue, "No Ignition source", metanolitankkien varastojen läheisyydessä. Sama alue tulee olla 17 metriä sellaisilla alueilla, joilla säilytetään tai kuljetetaan suuria määriä metanolia, esimerkiksi tankkiautot. Vähintään 70 metriä, "no Ignition source"-alue niillä alueilla, joissa täytetään tai tyhjennetään useita tankkiautoja, junia, laivoja tai muita isoja metanolitankkeja. Mahdollisessa

tankkiauton tai vastaavan palossa, evakuointietäisyys on vähintään 850 metriä. Metanoli palaa puhtaammin ja ilman savua, jolloin palohälyttimestä tai savuhälyttimestä ei ole hyötyä. Hyvä vaihtoehto sen sijaan on liekintunnistin, toinen hyvä on kaasujentunnistin sekä kamerat (Safe handling manual 4th edition, 136–149)

Henkilökohtaisia varusteita esimerkiksi metanolin vuototilanteessa tulee olla vähintään palosuojattu haalari, kypärä, saappaat ja käsineet. Kokomaski kasvoille sekä kommunikointivälineet (Safe handling manual 4th edition, 136–149.)

## **6 YHTEENVETO**

Työn tavoitteena oli tutustuttaa lukija yhteen vaihtoehtoiseen polttoaineeseen joka täyttää nykyiset ympäristövaatimukset. Ajatuksena oli tuoda esille sellai-

nen vaihtoehto, joka on kestävä myös tulevaisuudessa mahdollisten ympäristö- sekä poliittisten vaatimusten lisääntyessä. Maailman ekologisen tilanteen huomioiden omavaraisuus polttoaineen tuotannossa tulee lisääntymään, jotta voidaan turvata polttoaineen saanti tulevaisuudessakin.

Työnantajalle työ toi tietoa vaihtoehtoisesta polttoaineesta ja sen vaatimuksista käytettäessä metanolia polttoöljykäyttöisissä aluksissa. Työ oli lähinnä ajatusten herättämistä varten. Työ tehtiin kirjallisuuskatsaustyypisesti, aiheena metanoli. Tietoa haettiin laajalti internetistä, liittyen aiheeseen ja tukemaan ajatusta metanolin käytöstä polttoaineena. Lopuksi vielä tiivistelmä koko työn sisällöstä, näin lukijan ei tarvitse tutustua koko raporttiin ennekuin tietää sen olevan itsellensä tarpeellinen.

Sustainable Shipping on kokonaisvaltainen johtamiskonsepti, jonka tavoitteena on kestävä kehitys merenkulussa. Kestävä kehitys käsittää kolme pylvästä, ympäristö, yhteiskunta ja talous, tavoitteena merenkulun kestävä kehitys näitä kolmea pilaria vahvistamalla (Sustainable Shipping 2017.)

Euroopan Unionin energiapolitiikassa on kolme pääteemaa, tavoitteena turvata energian saanti missä tahansa ja milloin tahansa. Tavoitteena taata, että energian tarjoajat toimivat kilpailukykyisessä ympäristössä joka tarjoaa kuluttajille, yritystoiminnalle ja teollisuudelle energiaa edulliseen hintaan. Tavoitteena, että energian kulutus on kestävä, vähentämällä kasvihuonekaasupäästöjä, saasteita ja riippuvuutta fossiilisista polttoaineista (Energy Nd.)

Rikkidioksidi aiheuttaa ympäristön pilaantumista, se vahingoittaa puiden ja kasvien lehtiä ja hidastaa kasvua. Rikkioksidit aiheuttavat happamia sateita, jotka vahingoittavat vesistöä, rakennuksia ja ympäristöä. Rikkioksidit aiheuttavat ilmaan mikropartikkeleita, jotka ovat haitallisia hengitettynä sekä tuhoavat kallisarvoisia monumentteja ja patsaita (EPA 2016.)

Laivoissa käytetään pääsääntöisesti dieselöljyä eri tavoin valmistettuna, Marine gasoil, MGO, distillate marine diesel, MDO. Raskas polttoöljy on yleisin polttoaine merikelpoisissa aluksissa. Sitä on käytetty vuosikymmeniä, sen varastointi ja kuljetus on tunnettua ja hallittavissa olevaa. Käytössä raskas polttoöljy tuottaa paljon rikkidioksidipäästöjä (Vermeire, 2012.)

Metanoli on yksi vaihtoehtoinen polttoaine, se on ympäristöystävällistä, koska se ei päästä rikkipäästöjä, siinä on pienet päästöarvot, se on kolme tai neljä kertaa halvempaa kuin polttoöljy tisle. Metanolilla on myös korkeampi tehokkuussuhde International Maritime Organisation, IMO, energia tehokkuusindeksissä, EEDI, kuin LNG:llä tai dieselillä. Maailmanlaajuisesti metanolia tuotetaan noin 70 miljoonaa tonnia vuosittain (Marine Fuel, 2018.)

## LÄHTEET

Arvonen, A & Levonen, H. 2005. Ammattikorkeakoulun Kemia. 3. painos. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

Biokaasu ja maakaasu. Nd. Verkkodokumentti. <https://autokauppias.fi/kaasu-autot/biokaasu-ja-maakaasu/>. [Viitattu 22.3.2018].

Energy. Nd. Verkkodokumentti. <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union>. [Viitattu 8.3.2018].

EPA. 2016. What are the harmful effects of CO2. Verkkodokumentti. <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics#effects>. [Viitattu 7.3.2018].

EU-Lex. 2015. Acces to European Union Law. Verkkodokumentti. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2015:80:FIN>. [Viitattu 17.10.2017].

What is methanol?. 2017. Verkkodokumentti. <http://www.methanol.org/about-methanol/>. [Luettu 14.10.2017].

How is methanol made. 2017. Verkkodokumentti. <http://www.methanol.org/about-methanol/>. [Viitattu 15.10.2017].

Kallis rikkipesuri löytää tiensä enää harvaan laivaan. 2014. Helsingin Sanomat. Verkkootikkeli. <https://www.hs.fi/talous/art-2000002778156.html>. [Viitattu 17.11.2017].

Laivojen rikkipesurit. Laivojen rikkipesureilla on iso ongelma, eikä se liity tekniikkaan. Verkkootikkeli. <http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/laivojen-rikkipesureilla-on-iso-ongelma-eika-se-liity-tekniikkaan-6306454>. [Viitattu 17.11.2017].

LNG Puhdasta energiaa Pohjoismaihin 2017. Gasum. Verkkodokumentti. <https://www.gasum.com/kaasusta/maakaasu/lng/>. [Viitattu 16.11.2017].

LNG-Nesteytetty maakaasu. Nd. Verkkodokumentti. <https://www.viking-line.com/fi/ymparisto/lng/>. [Viitattu 22.3.2018].

Länsi-Suomi 2015. Kiertotalous konkretisoituu Uudessakaupungissa. Verkkotulkaisu. <https://ls24.fi/plus/kiertotalous-konkretisoituu-uudessakaupungissa>. [Viitattu 18.11.2017].

Marine Fuel. 2018. A clean and affordable alternative marine fuel. Verkkodokumentti. <http://www.methanol.org/marine-fuel/>. [Viitattu 8.3.2018].

MDO & IFO 2017. Important terms from a to z. Marquard and Bahls. Verkkodokumentti. <https://www.marquard-bahls.com/en/news-info/glossary/detail/term/marine-diesel-oil-mdo.html>. [Viitattu 16.11.2017].

Maakaasun käyttö Suomessa 2017. Puhtain fossiilinen energian lähde. Verkkodokumentti. <https://www.gasum.com/kaasusta/maakaasu/maakaasu/>. [Viitattu 17.11.2017].

MARPOI Annex VI 2017. United States Environmental Protection Agency. EPA. Verkkodokumentti. <https://www.epa.gov/enforcement/marpol-annex-vi>. [Viitattu 28.9.2017].

Merenkulun rikkipäästöt. Nd. Suomen varustamot. Verkkodokumentti. <https://shipowners.fi/fi/ymparisto/merenkulun-rikkipaastot>. [Viitattu 17.11.2017].

Methanol as a marine fuel report. 2015. Verkkodokumentti. [http://www.g2xenergy.com/images/downloads/0815\\_MethanolMarineFuel\\_Report-EN-low-res.pdf](http://www.g2xenergy.com/images/downloads/0815_MethanolMarineFuel_Report-EN-low-res.pdf). [Viitattu 19.11.2017].

Methanol. 2016. Alternative fuels data center. [https://www.afdc.energy.gov/fuels/emerging\\_methanol.html](https://www.afdc.energy.gov/fuels/emerging_methanol.html). [Viitattu 17.10.2017].

Methanol (CH<sub>3</sub>OH). 2017. Business Dictionary. Verkkodokumentti. <http://www.businessdictionary.com/definition/methanol-CH3OH.html>. [Viitattu 14.10.2017].

Nordicgreen. 2012. Sweden's first plant for production of liquid biogas, plant design by Swedish Biogas International. Verkkodokumentti. <http://www.nordicgreen.net/startups/article/sweden-s-first-plant-production-liquid-biogas-plant-design-swedish-biogas-i>. [Viitattu 17.10.2017].

Properties of heavy fuel oil, 2012-2016. Bright Hub Engineering. Verkkodokumentti. <http://www.brighthubengineering.com/marine-engines-machinery/73473-properties-of-heavy-fuel-oil/>. [Viitattu 16.11.2017].

Raskaat polttöljyt. Nd. Verkkodokumentti. <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/oljytuotteet/raskaat.htm>. [Viitattu 16.11.2017].

RMB 30, 2017. Energy Net. Verkkodokumentti. <http://www.energy-net.com.cy/rmb-30>. [Viitattu 16.11.2017].

Rules for classification. 2017. Verkkodokumentti. <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/dnvgl/ru-ship/2017-01/DNVGL-RU-SHIP-Pt6Ch2.pdf>. [Viitattu 24.2.2018].

Safe handling manual. 4th edition. Verkkodokumentti. <http://www.methanol.org/wp-content/uploads/2017/03/Safe-Handling-Manual.pdf>. [Viitattu 24.2.2018].

Stena Germanicas methanol conversion. Nd. Stena Line. Verkkodokumentti. <https://www.stenalinefreight.com/news/Methanol-project>. [Viitattu 18.11.2017].

Stena Line. 2017. Stena Line's four new vessels planned for Belfast routes. Verkkodokumentti. <http://news.stenaline.co.uk/pressreleases/stena-lines-four-new-vessels-planned-for-belfast-routes-1808452>. [Viitattu 25.2.2018].

Sulphur Directive. 2017. European Maritime Safety Agency. Verkkodokumentti. <http://www.emsa.europa.eu/main/air-pollution/sulphur-directive.html>. [Viitattu 28.9.2017].

Sustainable Shipping. 2017. European Maritime Safety Agency. Verkkodokumentti. <http://www.emsa.europa.eu/implementation-tasks/environment/sustainable-toolbox.html?start=10>. [Viitattu 7.3.2018].

Så funkar det: Grön våg inom sjöfarten-alternativa fartygsbränslen. 2013. Verkkodokumentti. <https://www.goteborgshamn.se/press/nyheter/sa-funkar-det-gron-vag-inom-sjofarten--alternativa-fartygsbranslen/>. [Viitattu 17.10.2017].

The methanol industry. 2018. Methanol institute. Verkkodokumentti. <http://www.methanol.org/the-methanol-industry/>. [Viitattu 5.3.2018].

Tukes. 2018. Kemikaalien ja kaasujen käsittely. Verkkodokumentti. <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kemikaalit-ja-kaasu/>. [Viitattu 24.2.2018].

Uusi Shell diesel powered by GTL. Nd. Shell Suomessa. Verkkodokumentti. <http://www.shell.fi/motorists/shell-fuels/shell-diesel.html>. [Viitattu 16.11.2017].

2030 Energy strategy. Nd. Energy. European Commission. Verkkodokumentti. <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/2030-energy-strategy>. [Viitattu 15.10.2017].

2050 Energy Strategy. Nd. Energy. European Commission. Verkkodokumentti. <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/2050-energy-strategy>. [Viitattu 17.10.2017].

Use of methanol as a fuel. 2016. Methanol as marine fuel; Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility. Verkkodokumentti. <http://www.imo.org/fr/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Report%20Methanol%2021.01.2016.pdf>. [Viitattu 19.11.2017].

Vermeire, M. B. 2012. Everything you need to know about marine fuels. Verkkodokumentti. [http://www.chevronmarineproducts.com/content/dam/chevron-marine/Brochures/Chevron\\_EverythingYouNeedToKnowAbout-Fuels\\_v3\\_1a\\_DESKTOP.pdf](http://www.chevronmarineproducts.com/content/dam/chevron-marine/Brochures/Chevron_EverythingYouNeedToKnowAbout-Fuels_v3_1a_DESKTOP.pdf). [Viitattu 8.3.2018].

VG EcoFuel. Nd. Korkealaatuista kierrätettyä bioöljyä. Verkkodokumentti. [http://www.vg-shipping.fi/vg-shipping/vg\\_ecofuel](http://www.vg-shipping.fi/vg-shipping/vg_ecofuel). [Viitattu 18.11.2017].



## KUVALUETTELO

Kuva 1. SECA-alueet. Verkkokuva.

[https://www.google.fi/search?q=seca+area&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiy1YWi-8DZAhXIEywKHc4wDcoQ\\_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=50k2XH\\_xzTJi1M:](https://www.google.fi/search?q=seca+area&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiy1YWi-8DZAhXIEywKHc4wDcoQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=50k2XH_xzTJi1M:). [Viitattu 25.2.2018].

Kuva 2. Rikkipesuri. 2016. Verkkokuva. <http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/laivojen-rikkipesureilla-on-iso-ongelma-eika-se-liity-tekniikkaan-6306454>. [Viitattu 17.11.2017].

Kuva 3. M/S Aranda. VG\_Shipping laivastoa. Verkkokuva. [http://www.vg-shipping.fi/vg-shipping/laivat/mirva\\_vg](http://www.vg-shipping.fi/vg-shipping/laivat/mirva_vg). [Viitattu 18.11.2017].

Kuva 4. Stena Germanica. Verkkokuva. <https://www.stenalinerefreight.com/news/Methanol-project>. [Viitattu 18.11.2017].

Kuva 5. Ramne, B. 2017. Methanol as marine fuel. Verkkodokumentti. <http://www.methanol.org/wp-content/uploads/2017/03/3.-Bengt-Ramne-Final-Methanol-as-Marine-fuel.pdf>. [Viitattu 17.10.2017].

Kuva 6. Metanoli pääkoneessa. Use of methanol as a fuel 2016. Methanol as marine fuel; Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility. Verkkodokumentti. <http://www.imo.org/fr/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Report%20Methanol%2021.01.2016.pdf>. [Viitattu 19.11.2017].

Kuva 7. Metanoli putkistoa. Verkkodokumentti. <http://www.motorship.com/news101/engines-and-propulsion/second-methanol-engine-for-stena-germanica>. [Viitattu 25.2.2018].

Kuva 8. Metanoli pumppuhuone. Verkkokuva.

[https://www.google.fi/search?q=metanol+pump+room&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiy6o7Pg8HZAHWChSwKHa-kBrAQ\\_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=6yKUXgG863WUtM:](https://www.google.fi/search?q=metanol+pump+room&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiy6o7Pg8HZAHWChSwKHa-kBrAQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=6yKUXgG863WUtM:). [Viitattu 25.2.2018].

Kuva 9. Metanolin poltto pääkoneessa. 2016. Methanol as marine fuel; Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility. Verkkodokumentti. <http://www.imo.org/fr/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Report%20Methanol%2021.01.2016.pdf>. [Viitattu 21.02.2018].

Kuva 10. Metanolin käsittely pääkoneen jälkeen. Verkkodokumentti. <http://www.imo.org/fr/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Report%20Methanol%2021.01.2016.pdf>. [Viitattu 25.2.2018].