

samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

TUOMAS PHUPHUSIT

Laivan metanolikonversion suunnittelu

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA
2025

TIIVISTELMÄ

Phuphusit, Tuomas: Laivan metanolikonversion suunnittelu
Opinnäytetyö, AMK
Konetekniikka
Maaliskuu 2025
Sivumäärä: 34

Opinnäytetyö tehtiin Planneri-Groupille, joka tarjoaa muun muassa laivankoneistosuunnittelua telakoille. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin laivan metanolikonversion suunnittelua sekä siihen liittyviä teknisiä, turvallisuuteen liittyviä sekä säädöksellisiä näkökulmia. Kansainvälisen merenkulkujärjestön (IMO) kiristävät päästösanktiot ovat lisänneet kiinnostusta vaihtoehtoisin polttoaineisiin, joista metanoli on yksi mahdollinen vaihtoehto.

Työn tavoitteena oli antaa yleinen suunnitteluopas laivan metanolikonversion suunnitteluun ja auttaa laivanrakennusalan suunnittelijoita ymmärtämään, mihin tulisi kiinnittää huomiota. Työssä tarkasteltiin metanolin käyttöä laivan polttoaineena sekä siihen liittyviä teknisiä vaatimuksia. Erityisesti keskityttiin polttoainejärjestelmän muutostarpeisiin, kuten säiliöihin, putkistoihin, venttiileihin ja moottorin soveltuvuuteen metanolikäyttöön. Työssä vertailtiin perinteisiä polttoainejärjestelmiä metanolipolttoainejärjestelmien vaatimukseen IMO:n ja Bureau Veritaksen säädösten perusteella.

Tulokset osoittivat, että metanolikonversio vaatii muutostöitä laivan järjestelmiin. Huomiota tulee kiinnittää materiaalivalintoihin, paloturvallisuuteen ja inertointivaatimukseen. Metanoli on ympäristöystävällisempi vaihtoehto kuin fossiiliset polttoaineet, ja sitä on helposti saatavilla. Sen käytössä tulee kuitenkin kiinnittää huomiota turvallisuusvaatimukseen ja alhaisempaan energiatiheuteen. Jatkossa aiheetta voisi tutkia lisää muiden vaihtoehtoisten polttoaineiden, kuten vedyn ja ammoniakkin, soveltuvuuden osalta. Lisäksi voisi selvittää metanolikonversion taloudellisia vaikutuksia.

Avainsanat: Metanoli, metanolikonversio, laivanrakennus, merenkulku, polttoaineet

ABSTRACT

Phuphusit, Tuomas: Ship methanol conversion design
Bachelor's thesis
Mechanical engineering
March 2025
Number of pages: 34

This thesis was conducted for Planneri-Group, which provides, among other services, marine engine system design for shipyards. The study examined the design of ship methanol conversion and the associated technical, safety, and regulatory aspects. The tightening emission sanctions imposed by the International Maritime Organization (IMO) have increased interest in alternative fuels, with methanol being one of the possible options.

The objective of this study was to provide a general design guide for ship methanol conversion and to help shipbuilding industry designers understand key considerations. The study explored the use of methanol as a marine fuel and the related technical requirements. The focus was particularly on the necessary modifications to the fuel system, such as tanks, pipelines, valves, and the suitability of engines for methanol use. Traditional fuel systems were compared to methanol fuel system requirements based on IMO and Bureau Veritas regulations.

The results showed that methanol conversion requires modifications to the ship's systems. Attention must be paid to material selection, fire safety, and inerting requirements. Methanol is a more environmentally friendly alternative to fossil fuels and is readily available. However, its use requires careful consideration of safety requirements and its lower energy density. In the future, further research could explore the suitability of other alternative fuels, such as hydrogen and ammonia. Additionally, the economic impacts of methanol conversion could be investigated.

Keywords: Methanol, methanol conversion, shipbuilding, maritime industry, fuels

ALKUSANAT

Haluan kiittää Planneri-Groupia mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyöni tästä mielenkiintoisesta ja ajankohtaisesta aiheesta sekä saamastani tuesta. Työn myötä innostukseni laivanrakennusta kohtaan on kasvanut entisestään ja olen saanut arvokasta oppia, josta on varmasti hyötyä tulevaisuudessa. Tämä opinnäytetyö on ollut merkittävä osa oppimisprosessiani ja sen tekeminen on vahvistanut osaamistani ja ammatillista suuntaani.

Kiitokset kuuluvat myös ystäväilleni, jotka ovat tarjonneet tukea ja auttaneet minua irrottautumaan opintojen parista tarvittaessa. Koulukavereilleni olen kiitollinen yhteisistä oppimiskokemuksista ja vertaistuesta. Erityisen suuren kiitoksen haluan antaa valmentajalleni, jonka avulla olen onnistunut yhdistämään kilpaurheilun ja koulunkäynnin kiireisestä aikataulusta huolimatta. En ole opintojeni aikana joutunut jättämään ainuttakaan harjoitusta välistä kiireen takia.

Perheeni tuki on ollut korvaamatonta koko matkan ajan. Haluan erityisesti kiittää äitiäni, joka on pitänyt minusta huolta silloinkin, kun kuvittelin pärjääväni ilman apua.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 TUTKIMUSMENETELMÄT JA RAJAUS	8
3 VAIHTOEHTOISET POLTTOAINEET	10
3.1 Metanoli.....	10
3.2 Metanoli meripolttoaineena	11
3.3 Ammoniakki.....	12
3.4 Ammoniakki meripolttoaineena	13
3.5 Vety	14
4 METANOLIKONVERSIO	15
4.1 Moottorin järjestelmät	15
4.2 Moottorin muuntaminen metanolikäyttöiseksi SPIRETH	17
4.3 Dual-fuel moottorien vaatimukset	18
4.4 Metanolimoottoreiden järjestelmät.....	19
4.5 Metanolijärjestelmän tyhjennys ja inertointi	19
4.6 Polttoainejärjestelmät	21
4.7 Polttoainesäiliöt	22
4.8 Bunkrausasema ja -järjestelmät	25
4.9 Apujärjestelmät.....	25
5 SYSTEEMIN OSAT	27
5.1 Putket	27
5.2 Venttiilit.....	27
5.3 Metanolipumput.....	29
6 POHDINTA	30
LÄHTEET.....	32

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

IMO	International Maritime Organization, kansainvälinen merenkulkujärjestö.
BV	Bureau Veritas, luokituslaitos.
MDO	Marine Diesel Oil.
HFO	Heavy Fuel Oil.
MGO	Marine Gas Oil.
Pilot-polttoaine	Polttoaine, jonka tehtävänä on sytyttää pääpolttoaine.
LSHFO	Low Sulphur Fuel Oil.
Dual-fuel	Käytetään kahta eri polttoainetta samanaikaisesti tai vaihdellen.
Propulsio	Työntövoimaa tuottava järjestelmä.
Cofferdam	Suojatila säiliön ympärillä.
LNG	Nesteytetty maakaasu.
IMDG	Vaarallisten aineiden kansainväliset kuljetusmääräykset.
Inertointi	Muun aineen syrjäyttäminen tilasta inertillä kaasulla.

1 JOHDANTO

Vuodesta 2025 alkaen fossiilisten polttoaineiden käytöstä merenkulussa on otettu käyttöön sakkomaksut, jotka nousevat porrastetusti vuoteen 2050 asti (Wideskog, 2024). YK:n alainen merenkulkujärjestö International Maritime Organization (IMO) on päättänyt, että kansainvälisen meriliikenteen kuljetussuoritusten hiilidioksidipäästöjä tonnia/kilometri vähennetään vähintään 40 % vuoteen 2030 mennessä. Vuonna 2050 päästöjä tulee olla vähennetty 70 %. Vertailu on vuoden 2008 päästöjen tasoon. Maailmankaupasta 90 % kulkee meriteitse. Merenkulusta aiheutuvat päästöt ovat maailman päästöistä 2,6 %. Merikuljetus on ympäristöystävällisin tapa kuljettaa tavaraa, etenkin jos kuljetetaan suuria tavaramääriä. Merikuljetuksille ei ole korvaavaa vaihtoehtoista liikennemuotoa. (Björkendahl, n.d.)

Tässä tutkimuksessa selvitetään sitä, miten perinteisten polttoainejärjestelmien säädökset eroavat metanolipolttoainejärjestelmien säädöksistä yleisellä tasolla ja pyritään luomaan yleinen kokonaiskuva siitä, mitä on otettava huomioon, kun konvertoidaan laivaa metanolikäyttöiseksi. Työssä käydään läpi myös SPIRETH-projektia, joka oli tutkimus- ja kehityshanke, jossa pyrittiin muuntamaan laivakoneistoja toimimaan perinteisten polttoaineiden sijaan metanolilla. Projektissa haluttiin kehittää ympäristöystävällisempi vaihtoehto merenkulkuun fossiilisten polttoaineiden sijasta. Projektissa kehitettiin laivakoneistoja polttoainejärjestelmiä, niin että voitaisiin käyttää metanolia pääpolttoaineena. Työssä myös perehdytään IMO:n säädöksiin liittyen metanolinkäyttöön polttoaineena ja verrataan luokituslaitoksen Bureau Veritaksen sääntöjä metanolipolttoainejärjestelmän ja fossiilisten polttoaineiden välillä.

Fossiilisten polttoaineiden käytöstä aiheutuvat sakkomaksut herättävät varmasti kiinnostusta vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöön. Tässä työssä käydään läpi mitä vaihtoehtoja on fossiilisille polttoaineille ja keskitytään siihen, mitä laivan koneistosuunnittelussa pitää ottaa huomioon, kun halutaan että laiva käyttäisi polttoaineena metanolia suurimmaksi osaksi. Opinnäytetyössä selvitetään myös sitä, kävisivätkö tavanomaisille polttoaineille suunnitellut

osat kuten tankit ja venttiilit suoraan metanolikäyttöön vai pitääkö niitä käsitellä tai vaihtaa metanolikonversiota varten. Tavoitteena olisi saada aikaan yleinen suunnitteluopas tilanteeseen, jossa halutaan konvertoida laiva metanolikäyttöiseksi.

Työn tilaaja Planneri-Group on erikoistunut laivan koneistosuunnitteluun ja teollisuuden suunnittelupalveluihin. Yrityksessä työskentelee noin 50 suunnittelijaa sekä omissa tiloissa että asiakkaiden toimitiloissa. Yritys tarjoaa laivan koneistosuunnittelun lisäksi myös teollisuuden suunnittelupalveluita, kuten LVI- ja mekaniikkasuunnittelua. Planneri-Group on ollut mukana useimmissa Suomessa rakennetuissa laivaprojekteissa, kuten jäänmurtaja IB Polarissa ja Spirit of Tasmania -aluksessa. (Planneri-Group, n.d.)

2 TUTKIMUSMENETELMÄT JA RAJAUS

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan, millaisia muutoksia laivan järjestelmiin on tehtävä, jotta se voisi käyttää polttoaineena metanolia fossiilisten polttoaineiden rinnalla. Erityisesti tarkastellaan, voidaanko olemassa olevia järjestelmän osia, kuten tankkeja, putkia ja venttiileitä, hyödyntää sellaisenaan vai edellyttävätkö ne muutostöitä tai vaihtamista metanolikäyttöä varten.

Kirjallisuuskatsaus on menetelmä, jossa kootaan ja analysoidaan tietoa tietyltä aihealueelta. Sen avulla etsitään vastauksia kysymyksiin tai ongelmiin hyödyntämällä erilaisia artikkeleita ja julkaisuja. Tavoitteena on yhdistää aiempi tutkimustieto ja selvittää, mitä aiheesta jo tiedetään. (Jamk, 2023.) Kuvailevassa kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan monipuolisesti eri näkökulmia, ja siinä voidaan hyödyntää laajaa aineistoa. Kirjoittaja pyrkii muodostamaan kokonais kuvan tarkasteltavasta aiheesta ja koostamaan siitä yhteenvedon. (Salminen, 2023.)

Tässä opinnäytetyössä käytettiin kuvailevaa kirjallisuuskatsausta ja aiempien tutkimusten analyysiä, koska metanolikonversio on tekninen aihe, johon liittyy paljon sääntelyä ja standardeja. Lähteinä käytettiin kansainvälisiä merenkulkujärjestöjen julkaisuja, kuten IMO:n ja Bureau Veritaksen sääntöjä, sekä metanolia koskevia tutkimusartikkeleita. Lisäksi työssä hyödynnettiin SPIRETH-hankkeen dokumentaatiota, joka antaa käytännön näkökulmaa metanolikonversioon.

Tutkimus on luonteeltaan soveltava ja sen tavoitteena on tuottaa käytännönläheistä tietoa laivanrakennuksen suunnittelijoille. Työssä hyödynnetään kirjallisuuskatsausta, jossa perehdytään alan standardeihin, säädöksiin sekä aiempiin tutkimuksiin metanolikonversiosta. Lisäksi työssä analysoidaan aiempia toteutettuja projekteja, kuten SPIRETH-hanketta, jossa metanolikäyttöä on testattu laivakoneistoissa.

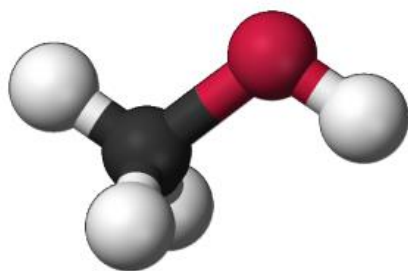
Lähteiden löytämiseen käytettiin hakukoneita sekä tarkasteltiin aiempia opinnäytetöitä ja tutkimuksia, joista löytyi relevanttia aineistoa. Hakusanoina käytettiin muun muassa 'metanolikonversio', 'laiva' ja 'polttoainejärjestelmät'.

Työ rajataan käsittelemään erityisesti metanolikonversiota laivan teknisestä näkökulmasta. Muihin vaihtoehtoisiin polttoaineisiin, kuten ammoniakkiin ja vetyyn, viitataan vain vertailun vuoksi. Taloudelliset näkökulmat, kuten kustannusvaikutukset varustamoille ja suunnittelutoimistoille, rajataan tämän työn ulkopuolelle. Myös valtioiden lainsäädäntö rajataan tämän työn ulkopuolelle.

3 VAIHTOEHTOISET POLTTOAINEET

3.1 Metanoli

Metanoli on (CH_3OH) pienmolekyylisin alkoholi (kuva 1). Se on kirkasta ja veden sekoittuvaa. Se on erittäin myrkyllistä ja herkästi syttyvää. (Methanol Institute, n.d.)



Kuva 1. Metanoli CH_3OH (Methanol Institute, n.d.)

Metanolin ominaisuuksista (Taulukko 1) nähdään, että metanoli jäätyy hyvin matalissa lämpötiloissa ja kiehuu paljon matalammassa kuin vesi. Tämä tarkoittaa myös sitä, että se höyrystyy helposti.

Taulukko 1. Metanolin ominaisuuksia (Työterveyslaitos, 2022a).

Molekyyli massa	32
Tiheys	0,79 (vesi=1) 20°C
sulamispiste	-98°C
Kiehumispiste	65°C

Metanoli on hyvä liuotin ja sillä voidaan liuottaa lakkoja, maaleja ja rasvoja sekä syövyttää alumiinia ja lyijyä (Työterveyslaitos, 2022a). Tämä on syytä ottaa huomioon materiaalivalinnoissa.

Metanoli on herkästi syttyvä neste. Metanoli syttyy herkästi lämmön, kipinän, staattisen sähkön tai liekin vaikutuksesta. (Työterveyslaitos, 2022a.) Metanoli liekki on matalalämpöinen ja se on lähes näkymätön. Metanoli tuottaa vähemmän lämpösäteilyä kuin bensiini palaessaan. Palamiseen tarvittavan

metanolin määrä ilmassa on bensiiniin verrattuna noin nelinkertainen. (Methanol Institute, n.d.) Taulukosta 2 voidaan nähdä, että syttymisraja metanolille on 5,5–36,5 % (Työterveyslaitos, 2022a). Tämä siis tarkoittaa sitä, että metanolia pitää vähintään olla alarajan verran ilmassa, jotta se voi syttyä.

Taulukko 2. Metanolin palamisrajat (Työterveyslaitos, 2022a).

Leimahduspiste	11°C
Syttymisraja	5,5–36,5 %
Itsestäänsyttymislämpötila	385°C

Metanoli on myrkyllistä ihmiselle, jos sitä hengitetään suuria määriä. Metanoliroiskeet ja höyry ärsyttävät silmiä ja ihoa. Myös suun kautta metanoli on ihmiselle myrkyllistä. (Työterveyslaitos, 2022a.)

Metanoli hajoaa ilmassa, sekä haihtuu nopeasti maan pinnasta. Metanoli hajoaa biologisesti aerobisissa ja anaerobisissa olosuhteissa. Metanoli liukenee veteen ja haihtuu nopeasti pintavedestä. Metanoli on lievästi myrkyllistä vesieliöille. Sen akuutit LC50-arvot ovat kalalle 8 530–29 000 mg/l (96 h). (Työterveyslaitos, 2022a.) Moottoribensiinillä vastaava arvo 4–16 mg/l (96 h) (Työterveyslaitos, 2025).

Metanoli on siis ympäristölle varsin vaaratonta, koska se haihtuu ja hajoaa biologisesti luonnosta. Vedessä sitä pitäisi olla moninkertaisesti, jotta se olisi yhtä vaarallista kuin perinteiset polttoaineet.

3.2 Metanoli meripolttoaineena

Jos verrataan metanolia perinteisiin fossiilisiin polttoaineisiin (Taulukko 3), niin huomataan, että metanolilla on matala tehollinen lämpöarvo. Voidaan myös huomata, että verrattaessa energiatiheyttä ero metanolin ja perinteisen polttoaineen ero on yhä suurempi. Tästä syystä metanoli tarvitsee yli kaksinkertaisen määrän tilaa varastointiin verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin. (Merilogiikka, 2024.)

Taulukko 3. Metanolin ominaisuuksia verrattuna merikelpoisten alusten käyttämään polttoöljyyn MDO (Hürpeklı & Özsezen, 2023).

Poltt- aine	Ti- heys	Teholli- nen läm- pöarvo (LHV)	Ener- giati- heys	Kiehu- mis- piste	Poltto- aineen tilan- tarve VS LSHF O	Itsesytty- mislämpö- tila ilmassa	lei- mah- dus- piste	sytty- misraja ilmassa
	[kg/m ³]	[MJ/kg]	[MJ/m ³]	[°C]		[°C]	[°C]	[%]
MDO	819	40,5	33 170	> 180	1,21	210	> 60	0,6–7,5
MeOH	792	19,9	15 761	65	2,55	464	12	6,7–36,0

Metanolin varastointilämpötilaan tulee kiinnittää huomiota, sillä leimahduspiste on varsin alhainen. MDO:lla kiehumispiste on paljon suurempi verrattuna metanoliin.

3.3 Ammoniakki

Ammoniakki on voimakkaasti pistävän hajuinen ja väritön. Ammoniakkia voidaan helposti nesteyttää värittömäksi nesteeksi. Ammoniakki muodostaa räjähtäviä yhdisteitä kullaan, hopean ja elohopean kanssa. Halogeenit, hypokloriitti ja etyleenioksidi voivat jopa aiheuttaa räjähdysten sekoituessaan ammoniakin kanssa. (Työterveyslaitos, 2022b). Taulukosta 4 nähdään ammoniakin ominaisuuksia.

Taulukko 4. Ammoniakin ominaisuuksien taulukko (Työterveyslaitos, 2022b).

Molekyyli massa	17
Tiheys	0.68 (-33°C:ssa)
Sulamispiste	-78°C
Kiehumispiste	-33°C

Ammoniakki on ihmiselle vaarallista. Ammoniakki ilmassa aiheuttaa ihmiselle nopean kuoleman suurissa määrissä ja pienemmissä määrissä se ärsyttää

silmiä ja hengitysteitä. Roiskeina iholla ammoniakki aiheuttaa paleltumista ja syöpymistä. (Työterveyslaitos, 2022b.)

Vedessä ammoniakki hajoaa ja hajoamistuotteet vapauttavat vesistöön ravinteita, jotka rehevöittävät vesistöä. Vesieläöille ammoniakki on erittäin myrkyllistä, jonka takia se on myös luokiteltu ympäristölle vaaralliseksi. (Työterveyslaitos, 2022b.)

3.4 Ammoniakki meripolttoaineena

Ammoniakki on polttoaineena haastava, sillä se tarvitsee jonkin pilot-polttoaineen. Ammoniakki palaa hitaasti ja sen syttymispiste on korkea. Pilot-polttoainetta tarvitaan syttymisen käynnistämiseen. (Cames ym., 2021.) Taulukosta 5 voidaan huomata, että nesteytetyllä ammoniakilla (LNH_3) tehollinen lämpöarvo on paljon pienempi kuin MDO:lla. Ammoniakki on melko matalatiheistä ainetta, joten tankkitilaa se tarvitsee myös enemmän kuin perinteiset polttoaineet.

Taulukko 5. Ammoniakin ominaisuuksia verrattuna merikelpoisten alusten käyttämään polttoöljyyn MDO (Hürpekli & Özsezen, 2023).

Polttoaine	Tiheys	Tehollinen lämpöarvo (LHV)	Energiatiheys	Kiehu- mis- piste	Poltto- aineen tilan- tarve VS LSHFO	Itsesyttymislämpötila ilmassa	leimahduspiste	syttymisraja ilmassa
	[kg/m ³]	[MJ/kg]	[MJ/m ³]	[°C]		[°C]	[°C]	[%]
MDO	819	40,5	33 170	> 180	1,21	210	> 60	0,6–7,5
LNH_3	680	18,6	12 648	-33	3,18	651	132	15,0–28,0

Ammoniakki on korroosiota edistävä aine. Tankkien materiaalien valinnassa tulisi siis käyttää haponkestäviä teräksiä tai pinnoitettuja säiliöitä. Ammoniakille sopivia materiaaleja olisi esimerkiksi ruostumaton teräs 316 L tai nikkeliseoskilla pinnoitettu teräs. Ammoniakki säiliöt tulee olla tiivistettyjä ja paineen kestäviä, sillä ammoniakki on erittäin haihtuvaa. (Cames ym., 2021.)

Ammoniakkia varastoidaan kylmässä tilassa, jotta se pysyy nestemäisenä. Noin -33°C , joten tankit ja putket on syytä eristää lämpöhäviön minimoimiseksi. (Cames ym., 2021.) Ammoniakin myrkyllisyyden vuoksi ammoniakkia ei ole turvallista käyttää polttoaineena matkustaja-aluksiin. Rahtilaivoihin, jossa ei tarvitse miettiä matkustajien turvallisuutta, voisi hyvinkin olla mahdollista käyttää ammoniakkia polttoaineena.

3.5 Vety

Vety (H) on väritön, hajuton ja mauton yksinkertaisin alkuaine. Huoneenlämmössä se on kaasua ja se palaa hapen kanssa muodostaen vettä. (Jolly, 2025). Polttoaineena nestemäinen vedyn tehollinen lämpöarvo on suurin kaikista polttoaineista. Taulukosta 6 nähdään, että vedyn lämpöarvo 120, kun marine dieselin (MDO) lämpöarvo on 40,5. Pitää myös huomata, että nestemäisen vedyn tiheys, on erittäin matala. Siksi se vaatii todella suuren tilan varastointiin melkein viisinkertaisen tilan verrattuna perinteisiin polttoaineisiin. (Bertagna ym., 2023.)

Taulukko 6. Vedyn ominaisuuksia verrattuna merikelpoisten alusten käyttämään polttoöljyyn MDO (Hürpekli & Özsezen, 2023).

Polttoaine	Tiheys	Tehollinen lämpöarvo (LHV)	Energiatiheys	Kiehumispiste	Polttoaineen tilantarve VS LSHFO	Itsesyttymislämpötila ilmassa	leimahduspiste	syttymisraja ilmassa
	[kg/m ³]	[MJ/kg]	[MJ/m ³]	[°C]		[°C]	[°C]	[%]
MDO	819	40,5	33 170	> 180	1,21	210	> 60	0,6–7,5
LH ₂	70	120	8 400	-253	4,79	585	-	4,0–75,0

Vedyn käyttö polttomoottorissa vaatii suurta painetta ja lämpötilaa, koska vedyllä on suuri itsesyttymislämpötila. Tämä aiheuttaa systeemiin ja moottoriin suuria rasituksia. (Salahi ym., 2022.) Vety ei ole kovin vaarallista ympäristölle eikä ihmiselle, jos vety pääsee vuotamaan. Ihmisille vedyn vaarallisuus aiheutuu sen varastointilämpötilasta, joka voisi aiheuttaa paleltumia ihmiselle. Vety muodostaa ilman kanssa erittäin palo- ja räjähdysherkän seoksen. Vety-

ilmaseoksen syttymisenergia on vain noin viidesosa bensiinin syttymisenergiasta. (Hydrogen Association, n.d.)

4 METANOLIKONVERSIO

4.1 Moottorin järjestelmät

Tässä luvussa tullaan perehtymään syvällisemmin muutoksiin ja kansainvälisen merenkulkujärjestön, International Maritime Organization (IMO:n) sääntöihin siitä, mitä muutostyöt pitävät sisällään. Luvussa käsitellään myös esimerkiksi SPIRITH-projektia, jossa on tehty olemassa olevaan laivaan muutostyöt, niin että laivaan voidaan tankata metanolia ja käyttää sitä polttoaineena.

Luvussa myös etsitään tietoa siitä, että voidaanko perinteisen systeemin osia kuten putkia, venttiileitä ja tankkia käyttää suoraan metanolikonversiossa vertaamalla systeemien vaatimuksia toisiinsa. Perehdytään samalla luokituslaitos BV:n (Bureau Veritas) sääntöihin.

Metanolikonversiolla tarkoitetaan laivan polttoainejärjestelmän muuntamista siten, että alus voi käyttää metanolia polttoaineena. Konversion laajuus riippuu useista tekijöistä, kuten aluksen rakenteesta, nykyisestä polttoainejärjestelmästä ja käytettävissä olevasta tilasta metanolivarastointia varten. (Wärtsilä, n.d.) Merenkulussa käytetyt dieselmoottorityypit ovat yleensä kaksitahti- tai nelitahtimoottoreita. Molemmat moottorit on mahdollista muokata käyttämään metanolia dual-fuel-tilassa. Tällä tarkoitetaan sitä, että moottori voi käyttää kahta eri polttoainetta samanaikaisesti tai vaihdellen. Näissä sovituksissa moottorin polttoaineen ruiskutusta muutetaan, niin että saavutetaan korkeampi ruiskutusaineen ruiskutusaineen ruiskutusaineella saadaan metanoli syttymään tehokkaasti. (Andersson & Salazar, 2015.)

Metanolilla paljon alhaisempi viskositeetti kuin dieselillä, joten tiivisteisiin on kiinnitettävä erityistä huomiota vuotojen estämiseksi. Polttoainejärjestelmä on oltava turvallinen myös henkilöstölle, mikä edellyttää kaksiseinäisiä polttoaineputkia. Lisäksi moottorijärjestelmä pitää olla huuhdottavissa inertointikaasulla, jotta huoltotoimenpiteet voidaan suorittaa turvallisesti. (Andersson & Salazar, 2015.)

Inertoinilla tarkoitetaan tässä tapauksessa sitä, että turvallisella kaasulla suojataan metanoli. Sen tarkoituksena on estää happea ja kosteutta joutumasta kosketuksiin metanolin kanssa. Inerti ympäristön merkitys on suuri, kun varastoidaan haihtuvia aineita tai hapettumiselle alttiita tuotteita. (Linden, n.d.)

Metanoli tarvitsee korkeamman ruiskutuspaineen kuin diesel. Metanoli vaatii erityyppiset ruiskutussuuttimet, jotta ne kestävät sen kemiallisia ominaisuuksia. Pilot-polttoaine on tarpeellinen metanolin sytyttämiseksi. Pilot-polttoaine voi olla esimerkiksi diesel. Pilot-polttoaine ruiskutetaan ensin moottoriin, ja sen palaminen käynnistää metanolin palamisen. Pilot-polttoainetta tarvitaan noin 5–10 % koko polttoainemäärästä. Koska metanolilla on erittäin huonot voiteluominaisuudet, tulee voitelun olla muulla tavoin tehokasta. (IMO, 2016, s. 26.)

Metanolia ei saa syöttää sylintereihin enne kuin moottorin käynnistys on aktivoitunut ja moottori saavuttanut minimipyörimisnopeuden. Tähän käytetään pilot-polttoainetta. Metanolisyötön tulee katketa automaattisesti, jos sytytystä ei havaita odotetussa ajassa ja käynnistysprosessi on keskeytettävä. (IMO, 2016, s. 26; BV, 2024, s. 26.)

Metanolia käyttäessä on syytä huomioida se, että metanoli vaatii erityiset voiteluaineet. Metanolilla ei ole perinteisten polttoaineiden kaltaisia voiteluominaisuuksia, mikä lisää moottorin kulumista. Vaikka metanoli puhdistaa moottoria voi se nopeuttaa moottorin kulumista mikä vaikuttaa käyttöikäen ja toimivarmuuteen. (IMO, 2016, s. 26; BV, 2024, s. 26.)

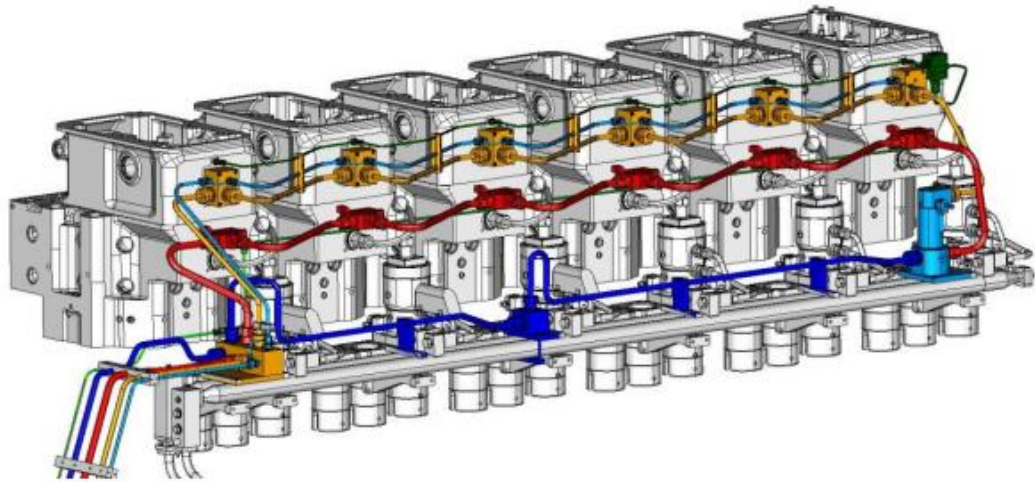
4.2 Moottorin muuntaminen metanolikäyttöiseksi SPIRETH

Osana SPIRETH-projektia metanoli käyttöön sovitettiin Wärtsilä-Sulzer Z40S -meridieselmoottori (kuva 2). Se vastasi hyvin Stena Germanncia -aluksen päämoottoreita, johon myöhemmin tehtiin muutostyöt. Moottorin muuntaminen metanolikäyttöiseksi sisälsi: sylinterinkansien, polttoainesuuttimien, polttoainepumppujen vaihdon ja erillisen korkeapaineisen metanoliruiskutusjärjestelmän. Moottoriin liittyvän muutoksen lisäksi muunnossarja sisältää erillisen korkeapaineisen metanolipumpun ja öljy-yksikön tiiviste öljyn ja ohjaus öljyn syöttämiseksi polttoainesuuttimiin. (Ellis ym., 2024, s. 12.)



Kuva 2. Testimoottorin asennus Wärtsilän laboratoriossa (Ellis ym., 2024, s. 12).

Moottorin lisäputkisto (kuva 3) mahdollistaa metanolin syötön sylintereihin sekä öljyn käytön korkeapaineisen metanoliruiskuttimen tiivistämiseen ja sen avaamisen ja sulkemisen hallintaan. Sekä metanolin korkeapaineputkisto että tiivistys- ja ohjausöljyputket on suunniteltu kaksiseinäisiksi maksimaalisen turvallisuuden takaamiseksi. Kaikki metanoliputket on valmistettu ruostumattomasta teräksestä korroosion estämiseksi. Korkeapaineputkisto voidaan tarvittaessa huuhdella metanolista täysin puhtaaksi. (Ellis ym., 2024, s. 12.)



Kuva 3. Moottorin putkisto (Ellis ym., 2024, s. 12).

4.3 Dual-fuel moottorien vaatimukset

Dual-fuel moottorilla tarkoitetaan, että moottorin polttoaineena voidaan käyttää kahta eri polttoainetta vaihdellen tai samanaikaisesti. Moottorin toiminta tulee varmistaa eri tavoilla. Moottorin tulee käynnistyä, pysähtyä normaalisti ja toimia turvallisesti myös matalilla tehoilla. Jos metanolisyöttö keskeytyy, moottorin on kyettävä jatkamaan toimintaa pelkällä dieselpolttoaineella ilman häiriötä. Polttoaineesta siirtyminen toiseen on tapahduttava sellaisilla tasoilla, jolloin se voidaan tehdä luotettavasti. Polttoaineen vaihdon on myös tapahduttava automaattisesti, kun kaikki järjestelmän ehdot täyttyvät. (IMO, 2016, s. 26.)

Moottoria sammuttaessa metanoli syöttö on katkaistava viimeistään samanaikaisesti dieseliin siirtymisen kanssa. Tämä koskee normaalia tilannetta ja myös hätätilannetta. Metanoliseoksen sytytyksen turvallisuudessa pitää ottaa huomioon, että metanolin sytyttämiseen on riittävä energia, jotta palaminen tapahtuu hallitusti. Metanolin syöttöä ei tule sulkea ennen sytytyslähteen sulkemista. Ne voidaan myös sulkea samanaikaisesti. (IMO, 2016 s. 26; BV, 2024, s 26–27.)

4.4 Metanolimoottoreiden järjestelmät

Kun moottori on pelkästään metanolikäyttöinen, on varmistettava, että yksittäinen vika metanolisyöttöjärjestelmässä ei johda polttoainesyötön menetykseen, jotta moottori ei pysähdy kokonaan. Täysin metanolikäyttöisissä moottoreissa metanolia voidaan sytyttää puristusytytyksellä ilman pilot-polttoainetta. Tämä vaatii korkeamman ruiskutuspaineen. Kun moottori toimii pelkästään metanolilla, tulee ruiskutuspaineen olla todella korkea. Hydraulisella voimalla tuotetaan yli 300 baarin paine polttoaineelle. (IMO, 2016, s. 27.)

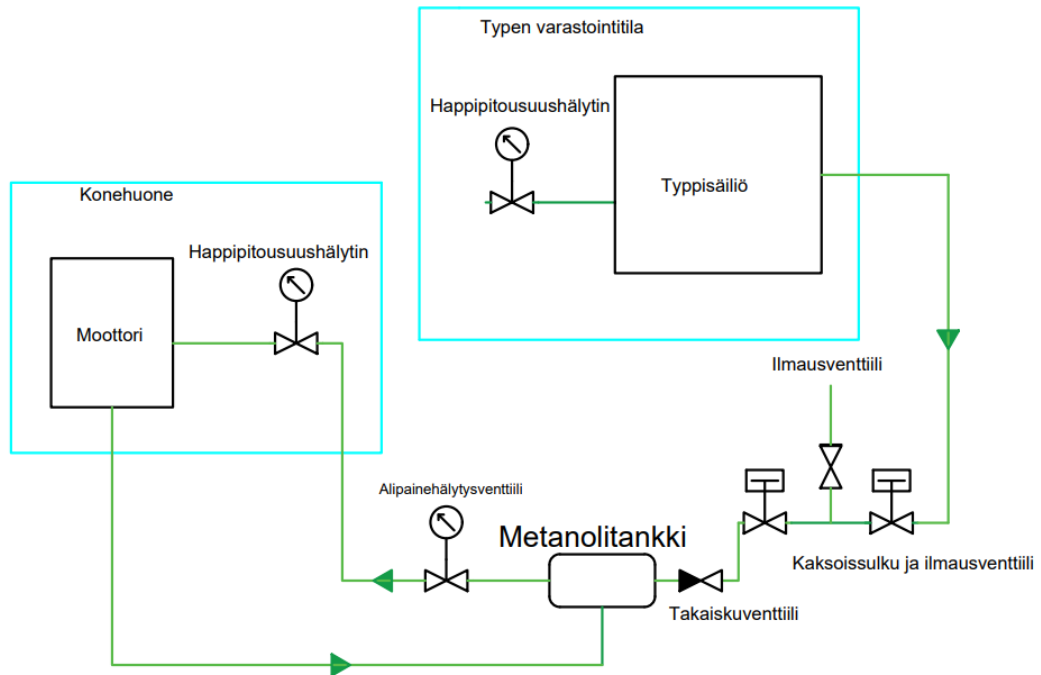
Metanoli tarvitsee siis korkeamman ruiskutuspaineen. Metanoli tarvitsee kaksiseinäiset putket, jotka on oltava inertoitavissa ja syytä on kiinnittää huomiota myös tiivisteisiin, sillä metanolin viskositeetti on paljon pienempää, kuin perinteisten polttoaineiden.

4.5 Metanolijärjestelmän tyhjennys ja inertointi

Metanolijärjestelmä tulee olla tyhjennettävissä polttoaineen vaihdon yhteydessä, mukaan lukien moottorissa olevat jäännökset. Tyhjennys on tarpeen myös huoltotoimintojen aikana, jotta vältetään myrkytys- tai paloriski. Metanolijäämät voidaan vaihtoehtoisesti palauttaa joko tankkiin tai erilliseen jäännöspolttoainesäiliöön. (IMO, 2016, s. 27.)

Tyypilaitteistolla on iso rooli metanolijärjestelmän tyhjennyksessä ja sillä on seuraavanlaisia vaatimuksia. Kaikki metanolipitoiset säiliöt tulee olla inertoitavissa. Jotta polttoainehöyry ei mene takaisin kaasuturvallisiin tiloihin, inertti-kaasun syöttölinja on varustettava kahdella sarjaan kytketyllä venttiilillä, joiden välissä on ilmausventtiili (kaksoislohko ja ilmausventtiilit). Lisäksi suljettava takaiskuventtiili on asennettava kaksoislohko- ja ilmausjärjestelyn sekä polttoainesäiliön väliin. Nämä venttiilit on sijoitettava vaarattomien tilojen ulkopuolelle ja niiden toimittava kaikissa normaaleissa aluksen trimmi-, kallistus- ja liikeolosuhteissa (kuva 4). Jos liitännät polttoainesäiliöihin tai polttoaineputkiin eivät ole pysyviä kahdella takaiskuventtiilillä, voidaan korvata edellä vaaditut takaiskulaitteet. Alhaisen paineen hälytys on varustettava typen syöttöjohdossa aina

polttoainesäiliön puolelle. Näitä tulee olla minkä tahansa kaksoislohkon, ilmaisuventtiilien ja paineenalennusyksiköiden kanssa. Jos jokaiseen polttoainesäiliöön on asennettu paine-/tyhjiöhälyttimet tuuletusvaatimusten täyttämiseksi, erillistä matalapainehälytystä ei tarvita. (IMO, 2016, s.27; BV, 2024 s. 18.)



Kuva 4. Kaaviokuva typpijärjestelmästä

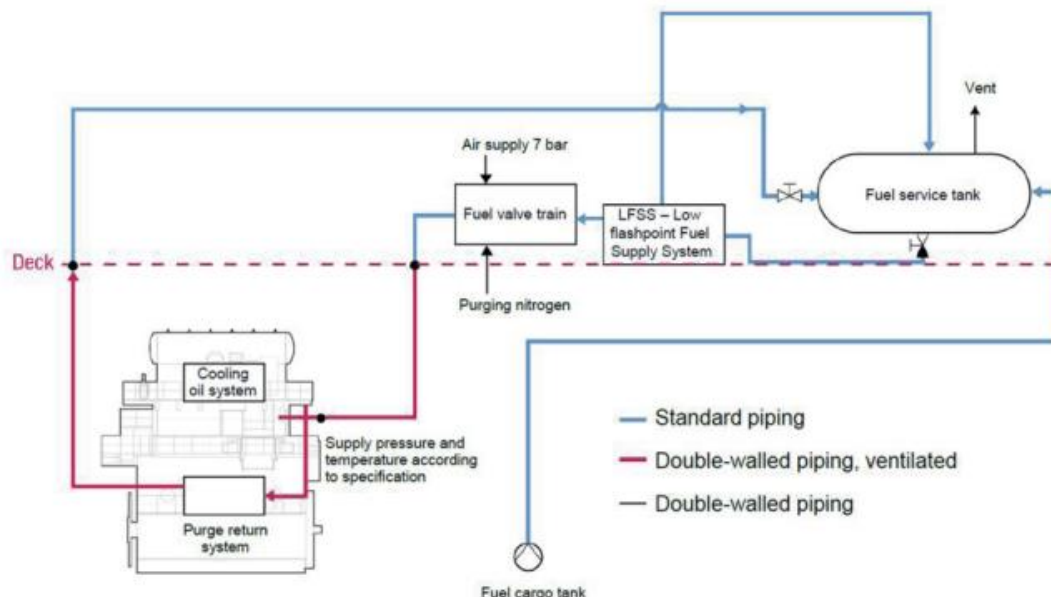
Happipitoisuutta on valvottava hälyttimellä, joka aktivoituu, kun happipitoisuus ylittää inerttikaasusyötössä 5 %. Jos typen generaattori tai typen varastointitilat on asennettu erilliseen osastoon, konehuoneen ulkopuolelle, erillinen osasto on varustettava itsenäisellä mekaanisella poistoilmavaihtojärjestelmällä, joka kykenee suorittamaan kuusi ilmanvaihtoa tunnissa. Alhaisen happipitoisuuden varoitin on oltava erillisessä tilassa, joka tulee olla luokiteltu palo-osastoksi erillään muista konetiloista. (IMO, 2016, s. 27; BV, 2024, s. 19.)

Luokituslaitoksen mukaan inertointijärjestelmä on mitoitettava siten, että se pitää järjestelmän inerttinä koko normaalikäytön ajan. Inerttikaasun saatavuus on varmistettava jatkuvasti, jotta sitä riittää yhdelle satamavälille sekä vähintään kahden viikon satama-ajaksi. Laivassa voi olla oma

inerttikaasugeneraattori, tai inerttikaasun saatavuus voidaan turvata riittävällä varastolla. (BV, 2024, s. 27–28.)

4.6 Polttoainejärjestelmät

Metanolijärjestelmän (Kuva 5) tulee olla täysin erillään muista putkistoista laivalla. Eikä sitä saa yhdistää muihin järjestelmiin. Myös polttoaineputket pitää olla 760 mm suojaetäisyydellä laivan rungosta. Mikäli alus käyttää vain metanolia polttoaineena, on varmistettava, että yksittäisen vian sattuessa järjestelmän tulee toimia niin, etteivät propulsio ja sähkötuotanto keskeytyisi. Putket on eristettävä koko reitiltä tankista moottoriin. Kaikki metanoliputket pitää olla invertoitavissa enne huoltotoimia. Polttoainejärjestelmän minimisuositus paineelle on 10 bar, jotta polttoaineen siirto on tehokasta ja turvallisista. (IMO, 2016, s. 23–24; BV, 2024, s. 24.) Luokituslaitoksen säännöistä eroaa, että polttoaineputkiston suojaetäisyys laivan rungosta on oltava 800 mm (BV, 2024, s. 13). Kuvasta 5 saadaan hyvä kokonaiskuva metanolipolttoainejärjestelmästä.



Kuva 5. Metanolipolttoainejärjestelmä (IMO, 2016).

Putket pitävät reitittää niin, etteivät ne kulje asuintilojen, palvelutilojen tai ohjausosien läpi. Jos putket on kuitenkin pakko sijoittaa näihin tiloihin, niille

on tehtävä erillinen ilma- ja vesitiivis kanava. Metanoli vaatii tuplaputket, joista välitila on johdettava avokannelle ja varustettava vuoto- ja kaasuilmaisimilla. Vaihtoehtoisesti tila voidaan inertisoida tyrellä, jonka paineen tulee olla korkeampi kuin metanolipaineen, jotta vältetään metanolin vuotaminen tilaan. (IMO, 2016, s. 23–24; BV, 2024, s. 13.)

Metanolijärjestelmän lämpötilan säätö on erillinen järjestelmä, jota voidaan tarvittaessa eristää muista aluksen järjestelmistä. Lämpötilansäätelyjärjestelmä on varustettava venttiileillä, joilla voidaan sulkea järjestelmä huollon ajaksi. Lämpötilan säätöjärjestelmässä olevaan paisuntasäiliöön on asetettava kaasuilmaisimien ja matalan nestepinnan hälytys. Se on lisäksi tuuletettava ulkoilmaan. Metanoli ei tarvitse erikseen lämmittää, mutta sitä pitää välillä jäähdyttää, jotta moottorin ruiskutusaine pysyisi oikeana. (IMO, 2016, s. 26–24; BV, 2024, s. 24.)

Metanolijärjestelmät on suunniteltava niin, että ne voidaan täysin tyhjentää inertisoimalla ennen huoltoa. Huollon ajaksi kaikki putket täytyy olla suljetuissa. Koska metanoli on myrkyllistä, täytyy myös kaikki tekniset tilat varustettava kaasuntunnistusjärjestelmällä. Metanolikaasut ovat ilmaa raskaampia, joten kaasuilmaisimet on sijoitettava alemmille tasoille, jonne vuodon sattuessa metanolikaasut todennäköisemmin kerääntyvät. (IMO, 2016, s. 26–24; BV, 2024 s. 24, 37.)

Polttoaineputket tulee olla turvallisia ja varmistaa, etteivät putket pääse vuotamaan. Putkien suunnittelussa pitää myös kiinnittää huomiota siihen, että ne voidaan täysin tyhjentää metanolista huoltotoimenpiteitä varten. Metanoli aiheuttaa korroosiota, joten putkistoissa on käytettävä ruostumatonta terästä.

4.7 Polttoainesäiliöt

Metanoli on varastoitava laivassa siten, että metanolitankin ja laivan rungon väliin jää vähintään 760 mm suojaetäisyys. Lisäksi metanolisäiliöitä ei saa

sijoittaa konehuoneisiin, asuintiloihin eikä keulabulbiin. (keulapaksunnos). (IMO, 2016, s. 21–23; BV, 2024, s. 12.) Laivan kaksoispohjaan metanolia voidaan varastoida, kunhan edellä mainitut vaatimukset täyttyvät.

Jos metanoli on laivan ainoa polttoaine elintärkeiden järjestelmien ja liikkumisen kannalta, aluksella on oltava vähintään kaksi polttoainesäiliötä. Jokaisen säiliön on oltava riittävän suuri takaamaan vähintään kahdeksan tunnin jatkuvan ja normaalin toimintatehon merellä. (IMO, 2016, s. 21–23; BV, 2024, s. 12.)

Säiliöt on suojattava cofferdamilla, eli suojatilalla, joka sisältää vuodon- ja kaasuntunnistusjärjestelmän. Vuodon sattuessa suojatila on voitava täyttää vedellä, jotta voidaan minimoida mahdolliset riskit. Lisäksi polttoainesäiliöiden läheisyyteen on asennettava tiiviit tyhjennysjärjestelmät, jotka mahdollistavat vuotojen hallinnan. Lisäksi vuodonestojärjestelmän tyhjennys on tehtävä erillisellä järjestelmällä, eikä sitä saa liittää pysyvästi laivan pilssivesijärjestelmään. (IMO, 2016, s. 21–23; BV, 2024, s. 12, 35.)

Polttoainesäiliöissä on oltava inertointijärjestelmä, jonka avulla voidaan poistaa kaasut ja tyhjentää tankit turvallisesti. Jokaisessa tankissa on oltava myös paineventtiili, joka säätelee painetta ja on sijoitettava avokannelle. Venttiilien ilmanottoaukkojen on oltava vähintään 1,5 metrin korkeudella kannesta ja suojattuna merivedeltä. (IMO, 2016, s.21–23; BV, 2024, s.17–18.)

SPIRITH-projektissa aluksen sääkannelle asennettiin 33 000 litran standardi IMO 1 -säiliökontti, joka täyttää vaarallisten aineiden IMDG-vaatimukset ja on tarkoitettu metanolin varastointiin ilmakehän paineessa ja lämpötilassa. Säiliökontissa on A60-eristys, ja se on varustettu palontorjunta-, pinnankorkeuden seuranta- ja painenvapautusjärjestelmillä. Säiliön vapaaseen tilaan voidaan syöttää typpeä estämään polttoaineen syttymisen ja säilyttämään sen laadun. (Ellis ym., 2024, s. 20.)

Perinteisten polttoaineiden tankit ovat yleensä terästä, alumiinia tai muuta standardin mukaista materiaalia, joka kestää öljyä ja korkeita lämpötiloja.

Pinnoitus on yleensä bitiumipohjainen tai epoksinnoitteinen. (BV, 2025, s. 287.) Metanolitankkien pinnoitteiden ja säiliön luukun tiivisteiden tulee kestää nestemäistä metanolia, metanolihöyryä, veteen sekoitettua metanolia sekä inertointiin käytettävää typpikaasua. Fluorattuja materiaaleja voidaan käyttää, kuten teflonia. Metanolijärjestelmässä sopivia kumeja ovat esimerkiksi EPDM ja neopreeni, mutta nitrili- ja butyylikumia ei saa käyttää. (BV, 2024, s. 21).

Taulukko 7. Polttoainesäiliöiden vertailu (BV, 2024; BV, 2025).

	MDO/HFO	Metanoli
Materiaalivaatimukset	Standardin mukaiset, Teräs, alumiini.	Korroosion kestävät materiaalit, kuten ruostumaton teräs.
Pinnoitus	Bitumi ja epoksinpohjaiset pinnoitteet	Fluoripohjaiset pinnoitteet tai epoksiseokset, jotka kestävät metanolin
Cofferdam	Ei vaadita	Vaaditaan
Paineenhallinta	Standardien mukaisesti tuuletusjärjestelmä ja paineventtiilit	Vaaditaan myös erillinen tuuletusjärjestelmä, jossa liekinsuoja
Säiliöiden sijoitus	Voi sijaita lähempänä konehuonetta	Ei majoitustiloissa tai A-luokan konehuoneissa. Mahdollista myös laivan kaksoispohjassa

Metanolitankin vaatimukset ovat paljon tiukemmat kuin perinteisten polttoaineiden tankkien. Metanoli voi aiheuttaa korroosiota monille metalleille ja kumikomponenteille. MDO-säiliöissä käytetään usein pinnoitteita, jotka eivät kestä metanolia. Metanolipolttoainesäiliöt vaativat cofferdam-tilat ja liekinsuojatut tuuletusjärjestelmät, mitä ei vaadita MDO-säiliöissä. Metanolijärjestelmässä tuuletus ja paineenhallinta on hyvä huomioida, koska metanoli haihtuu helposti ja muodostaa herkästi syttyvää kaasua.

4.8 Bunkrausasema ja -järjestelmät

Reijo Lehtolan (2024) mukaan polttoaine otetaan laivaan bunkrausaseman kautta. Yleensä paikka on molemmin puolin alusta, vaikka laituri puoli on laivoissa lähes aina sama. Sisäänoton määrä määritellään laivan mukaan. Lyhyempi aika satamassa ja suurempi koneteho vaatii suuremman polttoaineen sisäänottokyvyn. Bunkraus tapahtuu usein säiliöautosta. (Lehtola, 2024.)

Metanolin bunkrausaseman tulee olla suunniteltu siten, että luonnollinen ilmanvaihto on varmistettu. Bunkrausasema tulee erottaa muista aluksen osista kaasutiiviillä laipiolla, ellei se sijaitse säiliöaluksen lastialueella, kuten tankkeissa. Suljetuissa ja osittain suljetuissa bunkrausasemissa on oltava koneellinen ilmanvaihto. Bunkrausliitännän alapuolelle on asennettava kaukalo mahdollisten vuotojen hallitsemiseksi. Lisäksi bunkrauslinjastot tulee järjestää siten, että ne voidaan inertisoimalla vapauttaa kaasusta. Metanolin bunkrausjärjestelmät eivät ole erityisen monimutkaisia, sillä vastaavia ratkaisuja on jo käytössä LNG-aluksilla (nesteytetty maakaasu). (IMO, 2016, s. 21–23; BV, 2024, s. 22.)

Metanoli on myrkyllistä nieltynä, ja sen leimahduspiste on erittäin alhainen. Siksi turvatoimien tulee olla kattavampia kuin perinteisiin polttoaineisiin verrattuna. Metanolin käsittely vaatii tämän vuoksi valvonta- ja ohjausjärjestelmiä, kuten ylitäyttöhälyttimen, automaattisen sulkujärjestelmän, ilmanvaihdon valvonnan ja kaasuilmaisimen. (IMO, 2016, s. 21–23.)

4.9 Apujärjestelmät

HFO:lla (heavy fuel oil) on iso viskositeetti, joka tarkoittaa sitä, että se on hyvin jäykkää nestettä. Siksi sitä on jatkuvasta lämmitettävä ja pidettävä +25°C ja +45°C asteen välissä. Näitä tankkeja harvemmin voidaan eristää, joten ne ovat merkittäviä lämmönkulutuskohteita. Marine diesel öljyä eli MDO:ta ei tarvitse missään vaiheessa lämmittää, mutta saattaa olla tilanteita, joissa asiakas haluaa separointiprosessiin lämmityksen. Kaasuöljyä, eli MGO:ta ei tarvitse lämmittää, mutta moottorilta tankkiin palaava polttoaine saattaa lämmittää tankkia

niin, että sitä tarvitsee jäähdyttää. Yleensä moottorista päivätankkiin palavassa putkistossa on jäähdytin. (Lehtola, 2024.)

Koska metanoli ei pala yhtä suurella lämmöllä kuin perinteiset polttoaineet, niin saattaa olla, että laivaan tarvitaan myös apujärjestelmiä tuomaan lämpöä. Tämä voisi järjestyä, vaikka erilaisilla lämmityskattiloilla. Moottorista ja pakokaasusta voidaan kuitenkin ottaa talteen hukkalämpöä myös metanolikäyttöissä moottoreissa. Se, että riittääkö lämpö riippuu todella paljon laivasta ja sen lämmitysvaatimuksista. Kuten kappaleessa 4.6 on todettu, niin metanoli ei vaadi lämmitystä, mutta se saattaa vaatia jäähdytyksen. Taulukossa 8 on kuvattu suurimmat erot järjestelmien välille.

Taulukko 8. Apujärjestelmä vertailu (BV, 2024; BV, 2025; Lehtola, 2024).

	MDO/HFO	METANOLI
Lämmitys	HFO tarvitsee lämmitysjärjestelmän, jotta polttoaine pysyy juoksevana.	Ei vaadi lämmitystä. Metanoli on nestemäistä huoneenlämmössä
Jäähdytys	Ei erityisiä jäähdytysvaatimuksia.	Saattaa vaatia jäähdytyksen
Inertointi	Ei vaadita	Vaaditaan säiliöihin ja polttoainejärjestelmään
Putkistot	Standardiputket	Metanoli vaatii kaksiseinäiset korroosion kestävät putket.
Tiivisteet ja venttiilit	Tavanomaiset polttoaineenkestävät tiivisteet	Kumiosat ja tiivisteet on vaihdettava metanolille sopiviksi ja venttiilien tulee olla metanolin korroosiota kestäviä.
Paineenhallinta ja tuuletus	Tuuletusjärjestelmä	Erillinen tuuletusjärjestelmä ja paineensäätö, joka estää metanolin haihtumisen ja liekkien pääsyn säiliöihin.

5 SYSTEEMIN OSAT

5.1 Putket

Luokituslaitoksen Bureau Veritaksen (BV, 2024) mukaan materiaalin valinnassa on kiinnitettävä huomiota metanolin syövyttävyyteen, kun se on sekoittunut veteen. Yleisesti ottaen materiaalivaatimuksiin tulee noudattaa NR216-materiaali- ja hitsaussääntöjä. Tankkien ja materiaalit on valittava tavanomaisien käytäntöjen mukaisesti kuten esitetään NR467- sääntöjen osassa B, luvussa 4, kohdissa 1 ja 4. Tankkien tarkastusluokkien tiivisteiden materiaali on oltava kestäviä metanolille, metanolihöyrylle ja metanolille, johon on sekoittunut vettä, sekä inertointiin käytettävälle typpikaasulle. Fluoratut materiaalit, kun teflon voivat olla käytössä laitteiden komponenteissa metanoliympäristössä. Kumimateriaaleista EPDM ja neopreeni soveltuvat metanolikäyttöön, mutta nitrili- ja butyylikumia ei saa käyttää metanolipolttoainejärjestelmissä. Sinkitettyä terästä tulee välttää laitteistoissa ja putkistojärjestelmissä, jotka ovat kosketuksissa metanolin kanssa. (BV, 2024, s. 21.)

SPIRETH-projektissa oli myös käytetty ruostumatonta terästä metanolijärjestelmässä. Konvertoidessa laivaa on hyvä tarkistaa mitä materiaaleja ja tiivisteitä on käytetty suunnitelmassa metanolikonversiota.

5.2 Venttiilit

Kaikki polttoainesäiliöiden sisääntulo- ja ulostuloputket on varustettava etäohjattavalla sulkuventtiileillä. Venttiilien on sijaittava mahdollisimman lähellä säiliötä vuotojen minimoimiseksi. Moottorihuoneeseen johtava pääpolttoaineputki on varustettava automaattisella sulkuventtiilillä, joka sulkee syötön välittömästi hätätilanteessa. (IMO, 2016, s. 21–23.)

Jokaiselle moottorille on oltava erillinen etäohjattava sulkuventtiili. Moottoreissa on oltava yksi manuaalinen sulkuventtiili, jonka avulla moottori voidaan turvallisesti eristää huollon ajaksi. Automaattiset ja etäohjattavat venttiileissä

tulee olla merkki siitä, ovatko ne auki vai kiinni ja niiden pitää näkyä myös aluksen konehuoneen ohjauskeskuksessa. (IMO, 2016, s. 21–23.)

Perinteisen polttoainesäiliön tulo- ja lähtöventtiilit tulee olla mahdollisimman lähellä säiliötä ja helposti saavutettavia. (BV, 2025, s. 241). Metanoli polttoainesäiliön ja tulo- ja lähtöventtiili tulee myös olla mahdollisimman lähellä säiliötä jo oltava etäohjattavia, jos eivät ole helposti saavutettavissa. (BV, 2024, s. 24.)

Metanolin syöttölinjassa jokaiselle kuluttajalle on oltava oma kauko-ohjattu sulkuventtiili (BV, 2024, s. 24). Perinteisellä polttoaineelle tällaisia kauko-ohjattuja venttiileitä ei välttämättä vaadita. Molemmissa tapauksissa kaikkien automaattisten ja kauko-ohjattavien venttiilien tulee osoittaa selvästi ovatko ne auki vai kiinni asennossa asennuspaikalla ja ohjauskeskuksessa. (BV, 2025, s. 241.)

Metanolipolttoainejärjestelmässä kaikkien venttiilien tulla olla fail-safe-tyyppisiä, eli niiden on sulkeuduttava turvallisesti häiriötilanteessa (BV, 2025, s. 241). Perinteisille polttoaineille ei ole samankaltaista vaatimusta.

Perinteisten polttoaineiden bunkrauslinjassa vaaditaan manuaalinen sulkuventtiili (BV, 2025, s. 284). Metanolin bunkrauslinjassa vaaditaan sekä manuaalinen sulkuventtiili että etäohjattava sulkuventtiili sarjaan kytkettynä (BV, 2024, s. 24). Paineenpoistovenitit tulee asentaa jokaiseen säiliöön eikä niiden ylä- tai alapuolelle saa asentaa sulkuventtiilejä. (BV, 2024, s. 17).

Polttoainejärjestelmien venttiilien materiaalit määritellään standardien mukaisesti. Metanolipolttoainejärjestelmien kanssa on otettava huomioon ominaisuudet kuten korroosioherkkyys ja kemiallinen reaktiivisuus. (BV, 2024, s. 17.) Taulukossa 9 on kerättyä tärkeimmät erot venttiilien vaatimuksista.

Taulukko 9. Venttiilien vertailu (BV, 2024; BV, 2025).

	MDO/HFO	Metnaoli
Etäohjaus	Ei välttämätön	Etäohjattava, jos ei ole helposti käsin käytettävä
Fail-safe	Ei vaatimusta	Kaikkien venttiilien on oltava fail-safe tyyppisiä
Pääpolttoaineventtiili	Jokaiselle moottorille oma sulkuventtiili	Jokainen pääpolttoaineventtiili sulkeutuu automaattisesti hätätilanteessa ja on sijoitettava konehuoneen ulkopuolelle.
Bunkrauslinjan venttiilit	Manuaalinen venttiili vaaditaan bunkrauslinjaan	Bunkrauslinjassa oltava manuaalinen ja etäohjattava venttiili sarjaan kytkettynä
Paineenpoistovenntiili		Paineenpoistovenntiili tulee asentaa jokaiseen säiliöön
Materiaalivaatimukset	Standardin mukaisesti	Huomioitava metanolin korrosioherkkyys ja kemiallinen reaktiivisuus

5.3 Metanolipumput

Metanolipumput on sijoitettava konehuoneen ulkopuolella. Niiden on oltava kaasu ja vesitiiviitä ja olla tuuletettavissa ulkoilmalla. Polttoainepumppujen hydraulikkajärjestelmä on eristettävä metanolista kahden suojakerroksen avulla. Jos metanolia syötetään säiliön sisällä olevalla uppopumpulla, hydraulikkajärjestelmä ei saa olla suoraan kosketuksissa metanoliin. (IMO, 2016, s. 24–25; BV, 2024, s. 24–25.)

Pumpun suojatilan on oltava varustettu erillisellä pilssivesijärjestelmällä, jota voidaan ohjata pumppuhuoneen ulkopuolelta. Vaarallisten tilojen pilssisuihkutimia ei saa kytkeä pysyvästi käyttövesijärjestelmään. Pilssivesijärjestelmän on

mahdollistettava veden poistaminen esimerkiksi lastisäiliöön, jätesäiliöön tai muuhun vastaavaan kohteeseen, kuitenkin huomioiden mahdolliset yhteensopivuusriskit. (IMO, 2016, s. 24–25.)

6 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin laivan metanolikonversion suunnittelua ja siihen liittyviä teknisiä, turvallisuuden liittyviä ja säädöksellisiä näkökohtia. Metanoli on mahdollinen vaihtoehtoinen polttoaine merenkululle, sillä se vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja on suhteellisen helposti saatavilla. Opinnäytetyön perusteella voidaan todeta, että metanolikonversio vaatii merkittäviä muutoksia laivan polttoainejärjestelmään, erityisesti polttoainesäiliöiden, putkistojen, venttiilien ja moottorin osalta.

Tässä opinnäytetyössä on pyritty varmistamaan tietojen luotettavuus käyttämällä ajankohtaisia ja asiantuntevia lähteitä, kuten IMO:n ja Bureau Veritaksen säädöksiä, alan tutkimusraportteja sekä SPIRETH-hankkeen dokumentaatiota. Koska työ perustuu kirjallisuuskatsaukseen, siinä ei ole toteutettu käytännön testauksia tai empiiristä tutkimusta, mikä voi rajoittaa tulosten sovellettavuutta todellisiin metanolikonversiohankkeisiin. Lisäksi säädökset ja tekniset vaatimukset voivat muuttua ajan myötä, joten uusimpien standardien seuraminen on tärkeää.

Työssä on noudatettu opinnäytetöiden eettisiä periaatteita viittaamalla lähteisiin asianmukaisesti ja esittämällä tieto objektiivisesti. Lähteitä on käytetty monipuolisesti, eikä tuloksia ole manipuloitu tukemaan tiettyjä johtopäätöksiä. Kaikki käytetty aineisto on peräisin julkisista ja luotettavista lähteistä, eikä työssä ole hyödynnetty luottamuksellista tai yrityskohtaista tietoa ilman asianmukaisia lupia.

Tutkimuksessa havaittiin, että vaikka perinteiset polttoainesäiliöt ja -järjestelmät eivät suoraan sovellu metanolille, niitä voidaan tietyissä tapauksissa muokata vastaamaan metanolikäytön vaatimuksia. Metanolin korroosiovaikutukset ja sen erityisominaisuudet, kuten matala leimahduspiste, asettavat kuitenkin haasteita turvallisuuden ja materiaalivalintojen osalta. IMO:n ja Bureau Veritaksen säädökset korostavat metanolijärjestelmien inertointivaatimuksia sekä tiukempia turvallisuusmääräyksiä.

Tämä työ antaa yleiskatsauksen metanolikonversion suunnitteluun ja auttaa laivanrakennusalan suunnittelijoita ymmärtämään prosessin vaatimuksia ja haasteita. Metanolikonversio voi tarjota ympäristöystävällisen vaihtoehdon merenkulun päästöjen vähentämiseen.

Vaikka työssä keskityttiin metanolikonversioon, olisi hyödyllistä tutkia myös muiden vaihtoehtoisten polttoaineiden, kuten ammoniakkin ja vedyn, soveltuvuutta käytännössä. Lisäksi jatkotutkimuksissa voisi olla tarpeen analysoida konversion taloudellisia vaikutuksia ja vertailla eri konversiomenetelmien kustannustehokkuutta.

Opinnäytetyöprosessi syvensi ymmärrystäni merenkulun polttoainejärjestelmistä ja kansainvälisistä säädöksistä. Alussa haasteena oli löytää riittävästi ajankohtaisia lähteitä, mutta työn edetessä opin hyödyntämään teknisiä raportteja ja luokituslaitoksen säädöksiä tehokkaammin. Kirjoitusprosessi kehitti myös taitoani jäsentää teknistä tietoa selkeään ja loogiseen muotoon. Tulevaisuudessa haluaisin syventää osaamistani erityisesti polttoainejärjestelmien suunnittelussa.

LÄHTEET

Andersson, K. & Salazar, K (2015) Methanol as a marine fuel report. FC Business Intelligence energy. <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2018/08/FCBI-Marine-Fuel-Report-REVISED.pdf>

Bertagna, S, Kouznetsov, I. Braidotti, L. Marinò, A. Bucci, V. (2.1.2023) A Rational approach to the ecological transition in the cruise market: technologies and design compromises for the fuel switch. Marine science and engineering. <http://dx.doi.org/10.3390/jmse11010067>

Björkendahl, M. (n.d.). Merenkulun hiilidioksidipäästöt. Suomen varustamot. Haettu 17.1.2025 osoitteesta <https://shipowners.fi/vastuullisuus/ymparisto/ilmastosuojelu-ja-ilmastonmuutos/merenkulun-hiilidioksidipaastot/>

BV (01.2025). Bureau veritas. Rules for the classification of steel ships. NR467 C DT R18 January 2025. <https://marine-offshore.bureauveritas.com/nr467-rules-classification-steel-ships>

BV (06.2024). Bureau veritas. Methanol and ethanol - fuelled ships. NR670 – July 2024. <https://marine-offshore.bureauveritas.com/nr670-methanol-and-ethanol-fuelled-ships>

Ellis, J., Falk, T., Nilsson, M., Stefenson, P., Efraimsson, A., Folic, M., Kotur, N., Tanneberger, K., Freudendahl, U., Stenhede, T. & Haraldsson, L. (28.02.2024) SPIRETH – End of project report. Activities and Outcomes of the SPIRETH (Alcohol (Spirits) and Ethers as Marine Fuel) Project. <https://www.dendanskemaritimefond.dk/wp-content/uploads/2016/02/Final-report-SPIRETH-Energy-Transport-20140228.pdf>

Jamk (21.11.2023) Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Opinnäytetyön ohjaus. 8 kirjallisuuskatsaukset. <https://help.jamk.fi/opinnaytetyon-ohjaus/fi/kirjallisuuskatsaukset/>

Jolly, W. L (13.1.2025) Hydrogen. Chemical element <https://www.britanica.com/science/hydrogen>

Cames, M. Wissner, N., & Sutter, J. (2021) Ammonia as a marine fuel. Risks and perspectives. Institute for applied ecology Kirjoita tekstiä napsauttamalla tai napauttamalla tätä. <https://en.nabu.de/imperia/md/content/nabude/verkehr/210622-nabu-study-ammonia-marine-fuel.pdf>

Hürpekli, M., & Özsezen, A. N. (2023). Determination of combustion and emission characteristics of liquid Fischer-Tropsch diesel fuel synthesized from coal in a diesel engine. Energy Conversion and Management. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117351>

Hydrogen Association. (n.d.). Fact sheet series: hydrogen safety. Haettu 24.1.2025 osoitteesta Kirjoita tekstiä napsauttamalla tai napauttamalla tätä. https://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/h2_safety_fsheets.pdf

IMO (2016.). International maritime organization. Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility. Kirjoita tekstiä napsauttamalla tai napauttamalla tätä. <https://greenvo-yage2050.imo.org/wp-content/uploads/2021/01/METHANOL-AS-MARINE-FUEL-ENVIRONMENTAL-BENEFITS-TECHNOLOGY-READINESS-AND-ECONOMIC-FEASIBILITY.pdf>

Linden (n.d.). Inertointi. Haettu 20.3.2025 osoitteesta <https://www.linde-gas.fi/shop/fi/fi-ig/inertointi>

Lehtola, R (25.04.2024) Planneri akatemia. Polttoainejärjestelmä, [Luentomateriaali] Planneri-Group

Methanol institute (n.d.). Methanol safe handling manual 5th edition. Haettu 17.1.2025 osoitteesta https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2020/03/Safe-Handling-Manual_5th-Edition_Final.pdf

Merilogistiikka (2024). Polttoaine tietopaketti: Metanoli. <https://www.merilogistiikka.fi/wp-content/uploads/2024/09/4.-Metanoli-polttoaine-tietopaketti-paivitetty.pdf>

Planneri-Group. (n.d.). Haettu 27.1.2025 osoitteesta <https://www.planneri-group.com/>

Salahi, M. M., Andwari, A. M., Könnö, J., & Gharehghani, A. (20.11.2022). Hydrogen and ammonia fuelled internal combustion engines, a pathway to carbon-neutral fuels future. Future Technology (s. 34). osoitteesta: <https://doi.org/10.55670/fpll.futech.2.2.4>

Salminen, A (4.2023) Mikä kirjallisuuskasaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyypeihin ja joihinkin hallintotieteellisiin sovelluksiin. <https://osuva.uwasa.fi/bitstream/handle/10024/15470/978-952-395-081-8%20%28PDF%29.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Työterveyslaitos (12.08.2022a) Metanoli. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet ohjeet. <https://ova.ttl.fi/metanoli>

Työterveyslaitos (04.08.2022b) Ammoniakki. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet ohjeet. <https://ova.ttl.fi/ammoniakki>

Työterveyslaitos (14.02.2025) Moottoribensiini. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet ohjeet. <https://ova.ttl.fi/moottoribensiini>

Wideskog, M. (3.04.2024). Uudet polttoaineet isossa kuvassa: Laradin syyspäivät [PowerPoint-diat] Wärtsilä.

Wärtsilä (n.d) Wärtsilä Marine Methanol Conversion. Haettu 19.3.2025 osoitteesta: <https://www.wartsila.com/services-catalogue/engine-services-4-stroke/marine-methanol-conversion>