

UUPO – Merilogistiikan uudet polttoaineet vihreän
siirtymän ja sinisen kasvun vauhdittajina

Polttoaine Tietopaketti: Metanoli



samk

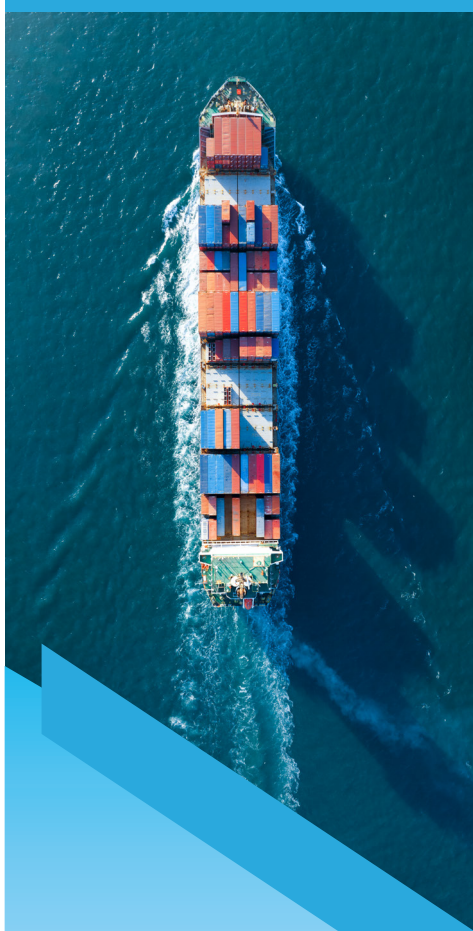
Satakunnan ammattikorkeakoulu



SATAKUNTALIITTO
Regional Council of Satakunta

2024

Perustietoa



Tärkeät näkökohdat:

1. Metanoli on jo otettu käyttöön merenkulussa
2. Metanoli on LNG:n jälkeen nopeimmin kasvava vaihtoehtoinen polttoaine
3. Metanoli on hiilipohjainen polttoaine, joten sen käyttö aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä
4. Harmaan metanolin elinkaaripäästöt ovat korkeammat kuin vähärikkisen polttoöljyn
5. Perinteisten polttoaineiden infrastruktuuria voidaan hyödyntää pienillä muutoksilla metanolia varten

Metanoli

Metanoli (CH_3OH) on hiili-pohjainen yhdiste, joka kuuluu alkoholien ryhmään ja se koostuu yhdestä hiili atomista, kolmesta vedyn atomista ja yhdestä hydroksyylistä (-OH). Normaalilämpötilassa ja -paineessa se on väritön, helposti syttyvä neste, jolla on muillekin alkoholille ominainen haju. Metanoli tunnetaan myös nimillä metyylialkoholi tai puusprii.

Metanolia tuotettiin jo 1800-luvun alkupuolella puuteollisuuden sivutuotteena ja sitä käytettiin muun muassa valaistusta, ruoanlaittoa, sekä lämmitystä varten. Puuteollisuus oli ainut teollisen tason metanolin lähde 1920-luvulle asti, jolloin metanolia alettiin suoraan valmistamaan hiilestä. Kaksi vuosikymmentä eteenpäin ja metanolia alettiin tuottaa myös maakaasusta. Nykyään metanolia voidaan valmistaa lukuisilla eri tavoil-

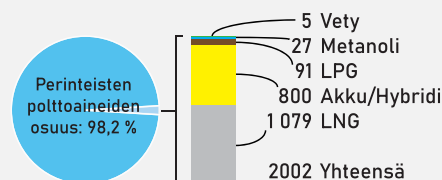
la, ja riippuen valmistusmenetelmästä, sekä käytetyistä raaka-aineista, metanoli luokitellaan eri luokkiin tai väreihin. Tyypillisesti nämä värit ovat harmaa, ruskea, sininen ja vihreä. Suurin osa nykyisestä tuotetusta metanolista käytetään kemianteollisuudessa eri kemikaalien kuten formaldehydin valmistuksessa. Metanolista valmistetut kemikaalit ovat sen sijaan kriittisiä eri teollisuuden aloilla kuten puu- ja muoviteollisuudelle. ^[1]

Merenkulussa metanoli nähdään yhtenä lupaavana korvaajana perinteisille fossiilisille polttoaineille, sillä se tuottaa potentiaalisesti vähemmän hiilidioksidipäästöjä. Metanolilla toimivia laivoja löytyykin jo meriltä ja näiden määrä tulee kasvamaan nopeasti lähivuosina. DNV:n 2023 arvion mukaan tilauksessa olevien metanolilla toimivien alusten määrä oli noin 150. ^[2]

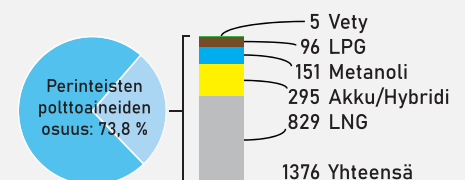
Kuvio 1. Maailman laivaston vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöönotto alusten määrän mukaan (yläosa) ja bruttovetoisuuden mukaan (alaosa), heinäkuu 2023

Alusten määrä

Käytössä olevat alukset

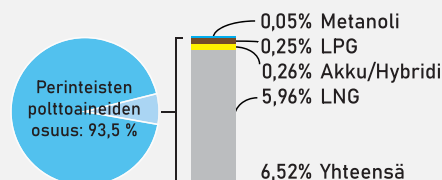


Tilauksessa olevat alukset

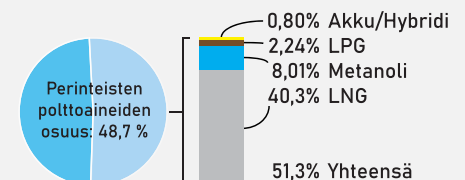


Bruttovetoisuus

Käytössä olevat alukset



Tilauksessa olevat alukset



Valmistusmenetelmät



Metanolia voidaan valmistaa monin eri tavoin, mutta yleisimmät menetelmät perustuvat joko synteetikaasun hyödyntämiseen tai reaktioon, jossa metanolia tuotetaan hiilidioksidista ja vedystä.

Harmaa metanoli

Harmaan metanolin valmistus perustuu maakaasun höyryreformointiin. Höyryreformointi prosessissa maakaasua lämmitetään vesihöyryn avulla katalyytin läsnä ollessa, jolloin maakaasu ja vesihöyry reagoivat keskenään. Reaktion lopputuloksena syntyy synteetikaasua, joka koostuu pääsääntöisesti hiilimonoksidista ja vedystä. [3]

Metanolia saadaan synteesi-

kaasusta syöttämällä se metanolireaktoriin. Reaktorissa hiilimonoksidi ja vety reagoivat korkean paineen ja lämpötilan vaikutuksesta muodostaen metanolia. [4]

Vuonna 2021 arviolta noin 65 % maailman metanolista tuotettiin maakaasusta. [5]

Ruskea metanoli

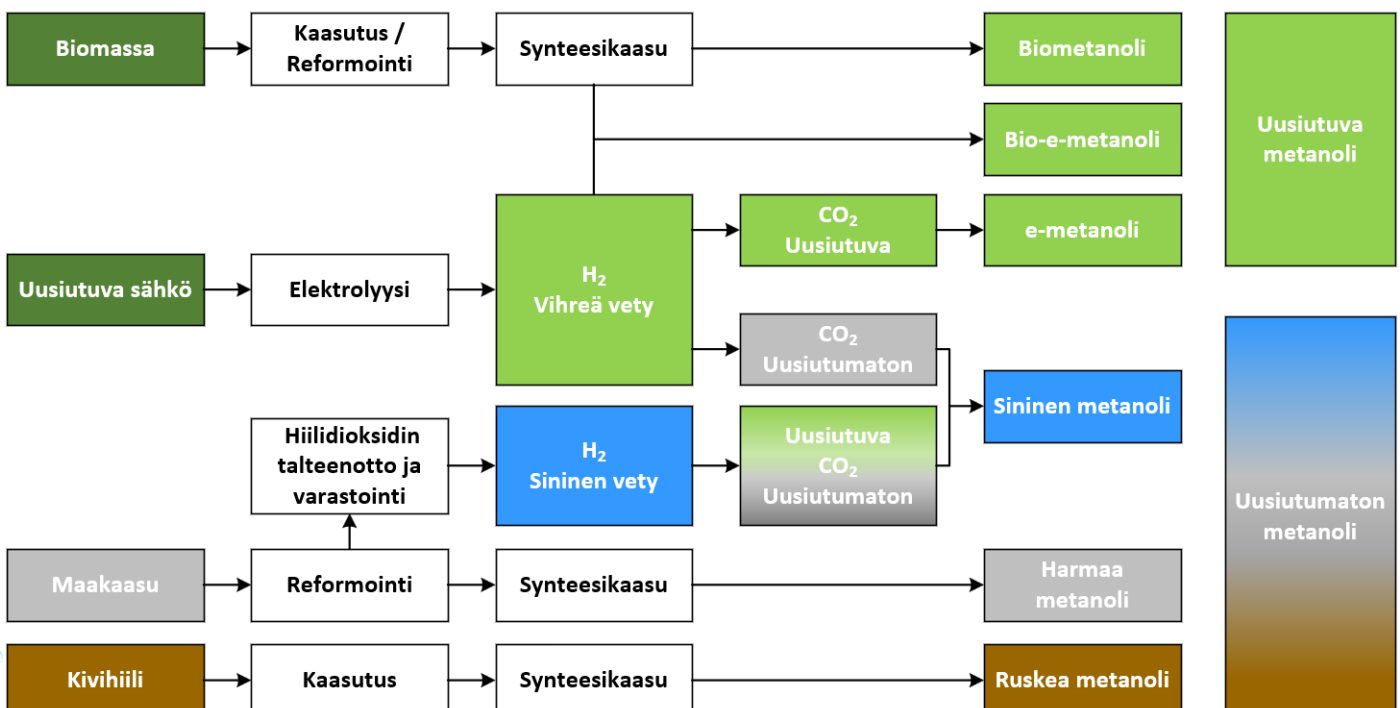
Ruskea metanoli tuotetaan harmaan metanolin tavoin fossiilisesta raaka-aineesta, mutta maakaasun sijasta ruskean metanolin valmistukseen käytetään kivihiiltä. Metanolin valmistus alkaa hiilikaasutusprosessista, jossa kivihiili kuumennetaan korkeisiin lämpötiloihin, hapen, ilman tai vesihöyryn läsnä ollessa. Tämän

seurauksena kivihiilen hiili reagoi hapen kanssa, hapettuen osittain tuottaen synteetikaasua. [6] Vuonna 2021 lähes 35 % maailman metanolista valmistettiin kivihiilestä. Suurin ruskean metanolin tuottaja maailmassa on Kiina, jolla on suuret kivihiilivarannot. Ruskea metanoli on kaikista metanolin tuotantomenetelmistä ympäristölle kuormittavin, sillä sen tuotanto aiheuttaa suuret määrät kasvihuonekaasupäästöjä. [7]

Sininen metanoli

Sinistä metanolia tuotetaan hiilidioksidista ja vedystä. Näiden raaka-aineiden lähteet voivat vaihdella suuresti. Tyypillisesti sinistä metanolia voidaan tuottaa kolmella eri tavalla. Ensimmä-

Kuvio 2. Metanolin valmistuksen päämenetelmät



Valmistusmenetelmät



mäisessä tuotantotavassa hyödynnetään vihreää vetyä, sekä hiilidioksidia, joka on peräisin fossiilisista polttoaineista. Toisessa ja kolmannessa tavassa käytetään sinistä vetyä, eli vetyä, joka on tuotettu fossiilisista raaka-aineista, mutta hyödynnetään kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistekniikoita, kuten hiilidioksidin talteenottoa. Toisen ja kolmannen tuotantotavan ero on niiden käyttämässä hiilidioksidin lähteessä. Toisessa, vähäpäästöisemmässä tavassa, hiilidioksidi on uusiutuvaa ja peräisin esimerkiksi biomassasta, joka on sitonut itseensä ilmakehän hiilidioksidia. Kolmannessa tavassa hiilidioksidi on peräisin fossiilisista lähteistä, mikä on ympäristön kannalta haitallisempi vaihto-

ehto. Sinisen metanolin elinkaaripäästöt riippuvat siis vahvasti siitä millä tavalla sen valmistukseen käytetty raaka-aineet on tuotettu. ^[8]

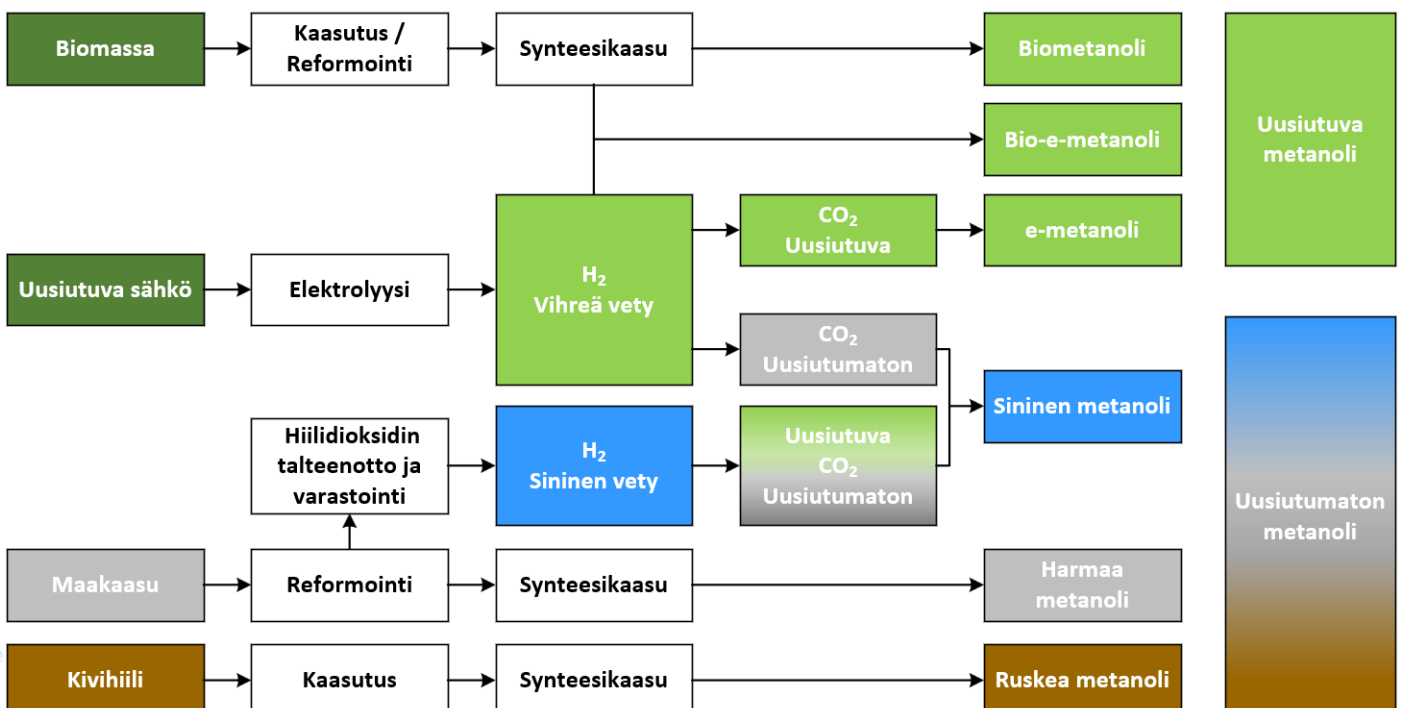
Vihreä metanoli

Sinisen metanolin tavoin vihreää metanolia voidaan valmistaa usealla eri tavalla. Riippuen valmistustavasta ja raaka-aineista, vihreä metanoli luokitellaan biometanoliin, bio-e-metanoliin tai e-metanoliin.

Biometanolia tuotetaan synteesikaasusta, jota voidaan valmistaa samankaltaisilla prosesseilla kuin harmaassa ja ruskeassa metanolissa. Erona biometanolin, sekä harmaan ja ruskean metanolin synteesika-

sulla on se, että bio-metanolin synteesikaasun raaka-aineena toimii jokin biomassa. Biomassa voi olla esimerkiksi yhdyskuntajäte tai lignoselluloosa, jota syntyy maataloudesta ja metsäteollisuudesta. Biometanolin synteesikaasua voidaan myös valmistaa mädättämällä märkää biomassaa. E-metanoli sen sijaan syntetisoidaan vihreällä vedyllä, sekä uusiutuvalla hiilidioksidilla. Metanoli, jota tuotetaan biomassasta saadun synteesikaasun, sekä vihreän vedyn avulla kutsutaan bio-e-metanoliksi. Vuonna 2021 vihreän metanolin osuus maailman kaikesta metanolin tuotannosta oli vain 0,2 %, josta suurin osa oli biometanolia. ^[9]

Kuvio 2. Metanolin valmistuksen päämenetelmät



Ominaisuudet ja turvallisuus



Polttoaine ominaisuudet

Verrattuna perinteisiin fossiilisiin polttoaineisiin, metanolilla (MeOH) on melko matala tehollinen lämpöarvo. Kun vertaillaan polttoaineiden energiatihyksiä, ero metanolin ja perinteisten polttoaineiden välillä kasvaa entisestään, metanolin alhaisen tiheyden vaikutuksesta. Tästä johtuen metanoli tarvitsee noin 2,5 kertaisen tilan saman energiamäärän varastointiin kuin raskas polttoöljy.

Käytettäessä puhdasta metanolia laivojen polttoaineena, polttomoottoreissa saatetaan hyödyntää pilottipolttoaineita. Tämä toimii siten, että polttokammiossa pilottipolttoaine syttyy ensin palamaan nousevan lämpötilan ja paineen vaikutuksesta. Pilottipolttoaineen vapauttama energia sytyttää siten kammiossa olevan meta-

nolin palamaan. Itse pilottipolttoaine ja sen osuus kokonaispolttoainemäärästä riippuu polttomoottori tyypistä. ^[10]

Metanolia voidaan myös käyttää joidenkin polttoaineiden seassa erilaisissa sekoitussuhteissa. Tyypillisesti nämä polttoaineseokset sisältävät metanolia 5–30 %. ^[11]

Turvallisuus

Ihmisille metanoli on tietenkin myrkyllistä nieltynä ja hengitettynä, mutta metanoli voi myös imeytyä ihon läpi, aiheuttaen metanolimyrkytyksen. Lievempiin metanolimyrkytyksen oireisiin kuuluvat pahoinvointi, ripuli, näköhäiriöt, vatsakivut, sekavuus ja tajunnantason aleneminen. Suuremmissa altistumisissa oireet voivat olla vakavia kuten tajuttomuus, sokeus, munuaisvauriot, sekä

pahimmissa tapauksissa kuolema. ^[12]

Metanolilla on useita palo- ja räjähdysvaarariskejä, jotka on huomioitava erilaisissa tilanteissa. Metanolin laajan syttymisrajan ja matalan leimahduspisteen takia on tärkeää toteuttaa sen käsittelyssä ja varastoinnissa asianmukaiset varotoimenpiteet. Lisäksi metanolin palamisprosessi tapahtuu matalassa lämpötilassa ja sen palamisessa ei synny savua, mikä saattaa tehdä sen liekistä vaikeasti havaittavan kirkkaassa valaistuksessa. ^[13]

Ohjeistuksia ja standardeja liittyen metanolin käyttöön merenkulussa ovat muun muassa ISO/AWI 6583, sekä SOLAS Chapter II. ^[14]

Polttoaine	Energia ja säilytys					Syttvyys		
	Tiheys	Tehollinen lämpöarvo (LHV)	Energia-tiheys	Kiehumis-piste	Polttoaineen tilantarve vs LSHFO	Itsesyttymis-lämpötila ilmassa	Leimahdus-piste	Syttymis-rajat ilmassa
	[kg/m ³]	[MJ/kg]	[MJ/m ³]	[°C]		[°C]	[°C]	[%]
LSHFO	993	40,5	40 217	> 180	-	230	> 60	0,6 - 7,5
MDO	819	40,5	33 170	> 180	1,21	210	> 60	0,6 - 7,5
LNG	450	49,1	22 095	-162	1,82	540	-188	5,0 - 15,0
MeOH	792	19,9	15 761	65	2,55	464	12	6,7 - 36,0
EtOH	789	26,8	21 145	78	1,90	365	17	3,3 - 19,0
L NH ₃	680	18,6	12 648	-33	3,18	651	132	15,0 - 28,0
L H ₂	70	120	8 400	-253	4,79	585	-	4,0 - 75,0
FAME	880	37,2	32 736	> 180	1,23	261	> 61	0,6 - 7,5
HVO	780	44	34 320	> 180	1,17	204	> 61	0,6 - 7,5
FT-Diesel	785	43,2	33 912	> 180	1,19	204	89	0,6 - 7,5

Tuotanto



Maailmanlaajuinen tuotanto

Metanolin tuotantomäärät ovat kasvaneet tasaisesti viime vuosina. Vuonna 2017 tuotettiin noin 88 miljoonaa tonnia metanolia, ja tämä määrä nousi 111 miljoonaan tonniin vuoteen 2022 mennessä. ^[15] Maailmanlaajuinen tuotantokapasiteetti on arvioitu olevan tällä hetkellä noin 165 Mt. ^[16]

International Renewable Energy Agency (IRENA) on arvioinut, että metanolin tuotanto olisi noin 500 miljoonaa tonnia vuonna 2050. Arvioin mukaan osa tästä tuotettaisiin maakaasulla tai kivihiehellä, mutta noin 250 miljoonaa tonnia olisi e-metanolia ja 135 miljoonaa biometanolia. Näiden tuotantomäärien kattamista varten tarvittaisiin noin 280 e-metanoli ja 135 biometanoli tuotantolaitosta. E-metanolin tuotantolaitokset tulevat tarvitsemaan ympäristöystävällisen hiilidioksidin lähteen, sekä valtavien määrän uusiutuvaa sähköä, kun taas biometanoli laitokset tarvitsevat kestävän biomassan lähteen. Tuotantolaitosten rakentaminen siis edellyttää merkittäviä investointeja muillakin aloilla. ^[17]

Vuonna 2023 metanolin tuotantolaitoksia oli noin 90 kappaletta ympäri maailma. ^[18]

Tulevaisuuden näkymät Suomessa ja Satakunnassa

Suomeen on suunnitteilla monien miljardin edestä vihreän vedyn hankkeita. Tästä vedystä voi tietenkin valmistaa erilaisia synteettisiä polttoaineita kuten metanolia. Vety hankkeiden lisäksi itse metanolin tuotantolaitoksia on suunniteltu- ja rakentamisvaiheessa useita ympäri Suomea.

Esimerkiksi ranskalaisen energiantuotantoyhtiö Total Erenin tytäryhtiöllä TEH2, sekä Pietarsaarelaisella Aliceco Energy on tarkoitus rakennuttaa Kokkolaa metanolintuotantolaitos. Laitoksen vuotuinen tuotantokapasiteetti olisi noin 400 000 tonnia ja sen odotetaan aloittavan toimintansa vuoden 2029 aikana. ^[19]

Haapavedellä sen sijaan Liquid Wind, Kanteleen Voima ja Piipin Tuulivoima harkitsevat metanolintuotantolaitoksen rakentamista, joka tuottaisi metanolia pääsääntöisesti meriliikenteen käyttöä varten. Hanke on vielä suunnitteluvaiheessa, joten ei ole varmuutta siitä, tuleeko alueelle yksi vai kaksi 100 000 tonnin vuosituotantolaitosta. ^[20]

Näiden hankkeiden lisäksi Ranualle on suunnitteilla metanolintuotanto hanke, joka voisi tuottaa noin 100 000 tonnia vihreää metanolia vuodessa tuulivoiman avulla. Tuotantolaitoksesta metanoli vietäisiin rekoilla Perämeren satamiin, joista se voidaan ottaa käyttöön meriliikennettä varten. ^[21]

Satakunnassa olisi erinomaiset mahdollisuudet aloittaa vihreän metanolin tuotanto, sillä maakunnassa tuotetaan tällä hetkellä huomattavasti enemmän sähköä kuin mitä sitä kulutetaan. ^[22] Sähköntuotanto tulee entisestään kasvamaan, sillä maakuntaan on suunnitteilla useita erilaisia uusiutuvan energian hankkeita, sekä maalle, että merelle. ^[23] Satakunnan etuina voidaan myös mainita Harjavallan vihreän vedyn tuotantolaitos, joka tukee vedyn ja synteettisten polttoaineiden osaamista ja tuotantoa maakunnassa. Edellä mainittujen etujen lisäksi Satakunnassa on valtava teollisuussektori, jonka päästöjä voitaisiin hyödyntää metanolin tuotannossa. ^[24]



Tekniset näkökulmat



Infrastruktuuri

Metanolia valmistetaan tällä hetkellä jo suuria määriä, jonka takia sillä on jo olemassa olevia kuljetustapoja ja rakennettua infrastruktuuria. Laajempi metanolin käyttö polttoaineena erilaisilla aloilla tulee vaatimaan kuitenkin paljon enemmän infrastruktuuria. Metanolilla on alhainen viskositeetti ja se on joillekin materiaaleille syövyttävää, mikä tarkoittaa, että se ei sellaisenaan sovellu nykyiseen polttoainejakeluinfrastruktuurin käyttöön. Pienillä muutoksilla käyttöönotto nykyisessä infrastruktuurissa olisi kuitenkin mahdollista. [25]

Muutokset voivat muun muassa liittyä materiaalivalintoihin, sillä esimerkiksi hiiliteräksissä metanoli aiheuttaa jännityskorroosiota, mikä voi johtaa materiaalin heikkenemiseen ja mahdollisiin vakaviin rakenteellisiin vaurioihin. [26] Metanoli ei ole myöskään yhteensopiva kaikkien muovi-, hartsi- tai kumimateriaalien kanssa. [27]

Kemianteollisuudella on paljon kokemusta metanolin käsitteystä, kuljettamisesta, sekä varastoisesta, joka voi helpottaa sen käyttöönottoa merilogistiikassa. [28]

Merilogistiikan kannalta bunkraus mahdollisuudet ovat keskeisessä asemassa, kun arvi-

oidaan uuden polttoaineen laajempaa käyttöönottoa. Metanolin erilaisia bunkraus tapoja on jo testattu ja todettu toimiviksi. Esimerkiksi vuodesta 2015 lähtien Stena Germanica -lauttaa on tankattu metanolilla käyttäen säiliöautoa. Vuonna 2021 sen sijaan maailman ensimmäinen laivasta-laivaan bunkraus tapahtui Rotterdamin satamassa, kun metanolisäiliöalus Takaroa Sun tankattiin hyödyntäen proomualusta MTS Evidence. Vuonna 2022 kolme metanoli tankkerialusta bunkrattiin suoraan rannalla sijaitsevalta tankkausasemalta. [29]

Kuljetus ja varastointi

Lyhyemmillä matkoilla ja pienemmissä määrissä metanolia kuljetetaan säiliöautoilla, sekä rautateitse. Noin kolmas osa kaikesta tuotetusta metanolista päättyy vientituotteeksi ja tämä pääsääntöisesti kuljetetaan kaikki meriteitse. Maailmassa on noin 120 satamaa, joiden kautta tämä meriteitse kuljetettu metanoli liikkuu. Nämä satamat toimivat tärkeinä solmukohtina metanolin kuljetuksessa, mahdollistaen sen tehokkaan siirtymisen valmistuspaikoista maailman eri osiin. [30]

Varastoinnin kannalta metanolin yksi ehdottomista vahvuuksista on sen suhteellisen korkea kiehumispiste (n. 65 °C)

verrattuna muihin uusiin polttoaineisiin kuten vetyyn (-252 °C), nesteytettyyn maakaasuun (-162 °C) tai ammoniakkiin (-33 °C). Tämän ansioista se pysyy nestemäisessä muodossa normaalilämpötilassa ja -paineessa, joka tekee sen varastoinnista, sekä kuljetuksesta huomattavasti helpompaa, sekä halvempaa kuin näiden muiden polttoaineiden. Metanolin nestemäisen ominaisuuden ansiosta, sitä voidaan käyttää olemassa olevien nestemäisten polttoaineiden, kuten raskaan polttoöljyn ja MGO:n säiliöissä, kunhan niihin tehdään tarvittavat muutokset, jotta ne soveltuvat metanolille. Koska raskas polttoöljy ja MGO ovat jo laajasti käytössä merenkulussa, metanolin integroiminen merilogistiikkaan voi tapahtua suhteellisen sujuvasti, halvalla, sekä nopealla aikataululla. [31]

On kuitenkin tärkeää huomioida, että vaikka metanolia voidaan mahdollisesti varastoida perinteisten polttoaineiden säiliöissä, sen energiatheyden vuoksi säiliössä oleva energiamäärä on huomattavasti alhaisempi. Laivojen tapauksessa tämä tarkoittaa sitä, että niihin on joko varattava enemmän tilaa polttoainesäiliöille tai alukset ovat bunkrattava useammin.

Tekniset näkökulmat



Käyttö polttoaineena

Vaikka metanolilla on joitakin samoja ominaisuuksia joidenkin perinteisten polttoaineiden kanssa, niin sitä ei kuitenkaan suoraan voida käyttää perinteisissä polttomoottoreissa, ellei moottoreihin tehdä muutoksia. Muutokset voivat liittyä muun muassa polttoaineen ruiskutusjärjestelmään, sekä siihen liittyviin osiin ja laitteisiin. ^[32]

Metanolia voidaan myös käyttää polttokennoissa, joissa metanolin energia muutetaan suoraan sähköksi. Tämä tekniikka on kuitenkin vielä varhaisessa kehitysvaiheessa, eikä suuren luokan kaupallisia ratkaisuja vielä ole. ^[33]

Verrattuna vaikkapa vetyyn tai ammoniakkiin, metanolin teknologian maturiteetti on jo pitkällä meriliikenteessä. Moottorivalmistaja MAN Energy Solutions:lla on jo vuodesta 2016 ollut kaupallisesti saatavilla laivojen kaksitahti polttomoottoreita, jotka pystyvät käyttämään joko perinteisiä polttoaineita tai metanolia. ^[34]

Yhtiö solmi myös sopimuksen Alfa Laval:in kanssa joulukuussa 2023. Sopimuksen mukaan Alfa Laval toimittaa polttoai-

neen syöttöjärjestelmän, joka mahdollistaa MAN Energy Solutions:in nelitahtimoottoreiden muuttamisen metanolikäyttöisiksi. ^[35]

Monelta muultakin laivamoottorivalmistajilta löytyy metanolilla toimivia polttomoottoreita. Esimerkiksi korealaisella moottorivalmistajalla Hyundai Heavy Industries yhtiöllä on jo tilauskirjassa useita polttomoottoreita, jotka toimivat, sekä metanolilla, että perinteisimmillä polttoaineilla. Lisäksi Rolls-Royce:n tytäryhtiöllä mtu Solutions:lla on tulossa metanolilla toimiva moottori vuoden 2026 aikana ja heillä on myös tavoitteena tuoda markkinoille metanolipolttokenno järjestelmä vuonna 2028. ^[36]

Toisin kuin monilla muilla laivamoottorivalmistajilla, Wärtsilä:llä on jo pitkä historia metanolimoottoreiden kehittämisessä. Esimerkiksi Stena Germanica-aluksessa on käytetty metanolilla toimivaa Wärtsilän nelitahto polttomoottoria vuodesta 2015 lähtien. Alus ei kuitenkaan rakennettu vuonna 2015, vaan siihen tehtiin muutostyö moottoreihin, joka mahdollisti metanolin käyttöönoton.

Kesällä vuonna 2023 Wärtsilä ilmoitti jatkavansa yhteistyötä Stena Germanica:n omistaman Stena Line:n kanssa. Tämä yhteistyö sisältää muutostöitä myös muihin Stena Line -aluksiin, jolloin niissäkin voidaan hyödyntää metanolia polttoaineena. ^[37]

Vuoden 2023 lopulla Wärtsilä ilmoitti myös laajentavansa metanolimoottoreidensa valikoimaa neljällä uudella moottorilla. Näiden uusien moottorien toimistusten odotetaan alkavan vuoden 2025 aikana. ^[38]

Metanolin kasvu meriliikenteessä näkyy myös uusien laivojen tilauksissa, sillä metanolilla toimivien laivojen osuus on kasvanut nopeasti viime vuosien aikana. Isoin syy tälle on tietenkin päästöjä vähennys tarpeet, mutta osittain tämä selittyy myös sillä, että maailman yksi suurimmista merilogistiikan yrityksistä Maersk, päätti tilata maailman ensimmäisen metanolilla toimivan konttialuksen vuonna 2021. Siitä lähtien metanolilla toimivien alusten määrä tilauskirjoissa on kasvanut huomattavasti ja tällä hetkellä globaalisti uusia metanoli aluksia on tilauksessa yli 100 kappaletta. ^[39]

Ympäristö näkökulmat



Polttoaineena metanolilla on potentiaalia tuottaa huomattavasti vähemmän erilaisia päästöjä verrattuna vaikkapa raskaaseen polttoöljyyn tai MGO:hon, jotka ovat tällä hetkellä laajasti käytössä meriliikenteessä. Tämä selittääkin syyn miksi metanoli on nähnyt suurta kasvua ja kiinnostusta merilogistiikassa lähivuosina.

Kasvihuonekaasupäästöt

Metanolin käyttö polttomootoreissa aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä. Tämän lisäksi erilaisia kasvihuonepäästöjä kuten metaania ja dityppioksidia voi syntyä metanolin tuotannon aikana. Metanolista syntyneet päästöt ja niiden suuruus ovat hyvin riippuvaisia siitä, miten itse metanoli on valmistettu. Maakaasusta tuotetun metanolin elinkaaripäästöt ovat noin 103 gCO₂eq/MJ, joka on enemmän kuin raskaan polttoöljyn tai MGO:n vastaavat päästöt, jotka ovat noin 90 gCO₂eq/MJ. Bio- ja e-metanolin elinkaaripäästöt sen sijaan ovat huomattavasti pienemmät. E-metanolin elinkaaripäästöt voivat olla noin 5 gCO₂eq/MJ, kun taas biopohjaisen metanolin päästöt vaihtelevat 10–40 gCO₂eq/MJ välillä riippuen käytetyn biomassan alkuperästä. Lisäksi biometanolin elinkaaripäästöt voivat olla jopa negatiivisia, esimerkiksi jos sitä valmistetaan lehmänlannasta, koska lannasta syntyneet metaanipäästöt

voidaan hyödyntää polttoaineen tuotannossa sen sijaan, että ne vapautuisivat ilmakehään. ^[40]

Typen oksidien (NOx) päästöt

Kuten muutkin polttoaineet, myös metanoli aiheuttaa typen oksideja käytettäessä polttomootoreissa. Päästöt ovat kuitenkin melko vähäiset, sillä esimerkiksi MGO:hon verrattuna metanoli tuottaa jopa 80 % vähemmän NOx-päästöjä. Näitä päästöjä voidaan edelleen vähentää lisäämällä vettä polttoaineeseen, jolloin metanoli soveltuu käytettäväksi myös typen oksidien valvonta-alueille. Veden lisääminen metanolin sekaan voi kuitenkin vaikuttaa polttoaineen palamisominaisuuksiin, mikä saattaa edellyttää pilottipolttoaineiden käyttöä. ^[41]

Rikin oksidien (SOx) päästöt

Metanoli ei sisällä rikkiä, jonka takia rikin oksidien päästöt ovat käytännössä olemattomat. SOx-päästöjä voi kuitenkin syntyä pieniä määriä epäpuhtauksien vaikutuksesta, joita polttoaineessa saattaa olla. Epäpuhtauksien lisäksi, rikin oksideja voi syntyä pilottipolttoaineesta, mikäli semmoista on käytössä. Alhaisten rikin oksidien päästöjen vaikutuksesta metanoli on erinomainen polttoaine vaihtoehto rikin oksidien valvonta-alueille. ^[42]

Muut päästöt

Metanolin käyttö synnyttää erittäin pieniä määriä pienhiukkaspäästöjä. Raskaaseen polttoöljyyn verrattuna näitä pienhiukkaspäästöjä syntyy noin 95 % vähemmän. ^[43]

Epäpuhdas palaminen voi myös aiheuttaa metaanihappo-, sekä formaldehydipäästöjä. ^[44]

Metanolivuodot

Yleisesti ottaen metanolivuodon hallinta on helpompaa kuin esimerkiksi LNG, vety tai ammoniakki vuodon hallinta, koska metanoli ei kaasuunnu ja leviä ilmaan vuodon sattessa. Tämän ansiosta metanolin kerääminen ja eristäminen on teknisesti yksinkertaisempaa.

Muihin polttoainevuotoihin verrattuna metanolivuoto ei ole myöskään läheskään yhtä haitallinen vesistöjen pilaantumisen kannalta. Metanoli sekoittuu täysin veteen, jolloin se laimentuu ja sen aiheuttamat riskit osittain neutralisoituvat. Vesistöissä kalojen metanolin LD50-arvo on noin 15 400 mg/l, kun taas esimerkiksi raskaalla polttoöljyllä vastaava arvo on 79 mg/l. Tämä tarkoittaa, että metanolivuodon olisi oltava noin 200 kertaa suurempi kuin raskaan polttoöljyn vuodon, jotta niillä olisi sama vaikutus kalakantoihin. ^[45]

Yhteenveto

Metanolista on tullut houkutteleva vaihtoehto perinteisten fossiilisten polttoaineiden tilalle merenkulussa sen lukuisien vahvuuksien ansioista. Tämä näkyy muun muassa tilauksessa olevien alusten määrissä ja isojen merenkulun yritysten kuten Maersk'in asenteesta metanolia kohtaan.

Sen käyttö polttoaineena tarjoaa merkittäviä ympäristöetuja ja sitä voidaan valmistaa erilaisista uusiutuvista lähteistä, kuten biomassas-

ta tai maatalousjätteistä.

Lisäksi metanolin käsittely ja varastointi on huomattavasti helpompaa kuin monen muun vaihtoehtoisen polttoaineen. Metanolin käyttöön liittyvät standardit ja käytännöt ovat myös edenneet paljon pidemmälle kuin monen muun vaihtoehtoisen polttoaineen, joka helpottaa sen laajempaa käyttöä.

On kuitenkin tärkeä huomioda, että suurin osa tällä hetkellä tuotetusta metanolista

valmistetaan fossiilisista raaka-aineista. Tämän vaikutuksesta metanolin elinkaari-päästöt ovat tyypillisesti korkeammat kuin jopa fossiilisten merenkulun polttoaineiden. Tähän on kuitenkin tulossa muutosta, sillä Suomessa ja muuallakin maailmassa investoidaan paljon rahaa erilaisten vihreän metanolin tuotantolaitosten rakentamiseen. Nämä tulevat mahdollistamaan ympäristöystävällisemmän merenkulun tulevaisuudessa.

Vahvuudet

- + Metanoli on jo käytössä merenkulussa
- + Metanoli polttoaineen elinkaari-päästöt voivat olla jopa yli 90 % pienemmät kuin fossiilisten polttoaineiden
- + Fossiilisten polttoaineiden infrastruktuuria voidaan hyödyntää pienillä muutoksilla metanolia varten
- + Energiatiheys parempi kuin esimerkiksi vedyn tai ammoniakkin
- + Metanolia on helpompi käsitellä ja varastoida kuin monia muita vaihtoehtoisia polttoaineita
- + Erittäin alhaiset NOx-, SOx- ja pienhiukkaspäästöt
- + Metanolivuotojen vaikutukset melko pienet verrattuna muihin polttoaineisiin

Heikkoudet

- Suurin osa nykyisestä metanolista on harmaata tai ruskeaa metanolia, joiden elinkaari-päästöt ovat korkeammat kuin fossiilisten polttoaineiden
- Energiatiheys heikompi kuin fossiilisten polttoaineiden, joten varastointi vaatii huomattavasti enemmän tilaa
- Metanolia ei voida suoraan käyttää nykyisissä laivamoottoreissa ilman muutoksia
- Metanoli on hiilipohjainen polttoaine ja näin ollen tuottaa poltettaessa kasvihuonekaasupäästöjä
- Metanolia käytetään paljon erilaisissa teollisuuksissa, joka saattavat vaikuttaa metanolin saatavuuteen

Lähteet

- [1] International Renewable Energy Agency. (2021). Innovation Outlook: Renewable Methanol. (s. 22). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jan/IRENA_Innovation_Renewable_Methanol_2021.pdf?rev=ca7e-c52e824041e8b20407ab2e6c7341
- [2] DNV. (2023). Energy transition outlook 2023: Maritime forecast to 2050. (s. 24). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://www.dnv.com/maritime/publications/maritime-forecast-2023/download-the-report/>
- [3] Department of Energy. (n.d.). Hydrogen Production: Natural Gas Reforming. Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-natural-gas-reforming>
- [4] Bozzano, G., & Menenti, F. (2016). Efficient methanol synthesis: Perspectives, technologies and optimization strategies. Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360128515300484>
- [5] International Renewable Energy Agency. (2021). Innovation Outlook: Renewable Methanol. (s. 32). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jan/IRENA_Innovation_Renewable_Methanol_2021.pdf?rev=ca7e-c52e824041e8b20407ab2e6c7341
- [6] Metropolitan Washington Council of Governments. (n.d.). Fact sheet series: Hydrogen production from coal. Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://www.mwcog.org/file.aspx?&A=6l-JMMDOHmOUL2TT9fb7pcrAAeY5PdpMxMeZbS9eJzyo%3D>
- [7] International Renewable Energy Agency. (2021). Innovation Outlook: Renewable Methanol. (s. 32-33). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jan/IRENA_Innovation_Renewable_Methanol_2021.pdf?rev=ca7e-c52e824041e8b20407ab2e6c7341
- [8] Korean Register. (2023). Methanol as a marine fuel. (s. 37-38). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://www.krs.co.kr/eng/Brochure/ListView.aspx?MRID=559>
- [9] International Renewable Energy Agency. (2021). Innovation Outlook: Renewable Methanol. (s. 32). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jan/IRENA_Innovation_Renewable_Methanol_2021.pdf?rev=ca7e-c52e824041e8b20407ab2e6c7341
- [10] Korean Register. (2023). Methanol as a marine fuel. (s. 60). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://www.krs.co.kr/eng/Brochure/ListView.aspx?MRID=559>
- [11] Korean Register. (2023). Methanol as a marine fuel. (s. 34). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://www.krs.co.kr/eng/Brochure/ListView.aspx?MRID=559>
- [12] New Jersey Department of Health. (2016). Hazardous Substance Fact Sheet: Methyl Alcohol. (s. 1). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1222.pdf>

Lähteet

- [13] International Renewable Energy Agency. (2021). Innovation Outlook: Renewable Methanol. (s. 115). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jan/IRENA_Innovation_Renewable_Methanol_2021.pdf?rev=ca7e-c52e824041e8b20407ab2e6c7341
- [14] GreenVoyage2050. (n.d.). Alternative marine fuels: Regulatory mapping. Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://greenvoyage2050.imo.org/alternative-marine-fuels-regulatory-mapping/>
- [15] Statista. (2022). Production of methanol worldwide from 2017 to 2022. Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://www.statista.com/statistics/1323406/methanol-production-worldwide/>
- [16] Methanol Market Services Asia. (2022). MMSA Global Methanol Supply and Demand Balance. Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2022/05/MMSA-World-Supply-and-Demand-Summary-for-Methanol-Institute-2.xlsx>
- [17] International Renewable Energy Agency. (2021). Innovation Outlook: Renewable Methanol. (s. 89). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jan/IRENA_Innovation_Renewable_Methanol_2021.pdf?rev=ca7e-c52e824041e8b20407ab2e6c7341
- [18] Korean Register. (2023). Methanol as a marine fuel. (s. 101). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://www.krs.co.kr/eng/Brochure/ListView.aspx?MRID=559>
- [19] Airaksinen, A. (2023). Vihreän vedyn lisäksi 400 000 tonnia e-metanolia vuodessa – Suomeen nousee Euroopan suurimpia sähköpolttoaineiden tuotantolaitoksista. Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/vihrean-vedyn-lisaksi-400000-tonnia-e-metanolia-vuodessa-suomeen-nousee-euroopan-suurimpia-sahkopolttoaineiden-tuotantolaitoksista/0c9a1022-cc9d-497a-9a50-3a6b72f33c9b>
- [20] Sipola, T. (2023). Haapavedelle suunnitellaan jopa kahden miljardin euron investointeja vihreään energiaan. Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://yle.fi/a/74-20064441>
- [21] Ylönen, J. (2023). Vihreää metanolia valmistavan tehtaan valmistelu etenee Ranualla – kunta tukee tehtaan rakentamista. Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://kuntalehti.fi/uutiset/kuntakierros/vihreaa-metanolia-valmistavan-tehtaan-valmistelu-etenee-ranualla-kunta-tukee-tehtaan-rakentamista/>
- [22] Satakunta. (n.d.). Energia. Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://satakunta.fi/yhteisty-ja-vaikuttaminen/satakunnan-kasvun-karjet/energia/>
- [23] Elinkeinoelämän keskusliitto. (2024). Vihreän siirtymän investoinnit Suomessa. Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoieYjA4MGJmMTYtYTh-iNC00ZTQ3LTlhNzAtM2I3MDJiY2I1YTUyIiwidCI6IjM0MmU2NDIhLWM0MDgtNDY4Ny-1hOTMwLTM0YWVjZDNIjmlNiIsImMiOj9>
- [24] Suomen ympäristökeskus. (n.d.). SYKE - Kuntien ja alueiden KHK-päästöt. Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://paastot.hiilineutraalisuomi.fi/>

Lähteet

- [25] van der Maas, T. (2020). Assessment and comparison of alternative marine fuels: Towards the decarbonisation of port of Amsterdam. (s. 41). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://studenttheses.uu.nl/bitstream/handle/20.500.12932/37652/Master%27s%20thesis%20-%20Thomas%20van%20der%20Maas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [26] Wilkinson Coutts. (2023). Methanol stress corrosion cracking. Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://wilkinsoncoutts.com/methanol-stress-corrosion-cracking-in-carbon-steel/>
- [27] International Renewable Energy Agency. (2021). Innovation Outlook: Renewable Methanol. (s. 59). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jan/IRENA_Innovation_Renewable_Methanol_2021.pdf?rev=ca7e-c52e824041e8b20407ab2e6c7341
- [28] van der Maas, T. (2020). Assessment and comparison of alternative marine fuels: Towards the decarbonisation of port of Amsterdam. (s. 41). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://studenttheses.uu.nl/bitstream/handle/20.500.12932/37652/Master%27s%20thesis%20-%20Thomas%20van%20der%20Maas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [29] Methanol Institute. (2023). Marine Methanol: Future-Proofing Shipping Fuel. (s. 40-41). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2023/05/Marine_Methanol_Report_Methanol_Institute_May_2023.pdf
- [30] Korean Register. (2023). Methanol as a marine fuel. (s. 101). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://www.krs.co.kr/eng/Brochure/ListView.aspx?MRID=559>
- [31] Methanol Institute. (2023). Marine Methanol: Future-Proofing Shipping Fuel. (s. 35, 40). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2023/05/Marine_Methanol_Report_Methanol_Institute_May_2023.pdf
- [32] van der Maas, T. (2020). Assessment and comparison of alternative marine fuels: Towards the decarbonisation of port of Amsterdam. (s. 34). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://studenttheses.uu.nl/bitstream/handle/20.500.12932/37652/Master%27s%20thesis%20-%20Thomas%20van%20der%20Maas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [33] van der Maas, T. (2020). Assessment and comparison of alternative marine fuels: Towards the decarbonisation of port of Amsterdam. (s. 34). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://studenttheses.uu.nl/bitstream/handle/20.500.12932/37652/Master%27s%20thesis%20-%20Thomas%20van%20der%20Maas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [34] Methanol Institute. (2023). Marine Methanol: Future-Proofing Shipping Fuel. (s. 38). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2023/05/Marine_Methanol_Report_Methanol_Institute_May_2023.pdf
- [35] MAN Energy Solutions. (2023). Agreement to Develop Methanol Solution for MAN Four-Stroke Portfolio. Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://www.man-es.com/company/press-releases/press-details/2023/12/12/agreement-to-develop-methanol-solution-for-man-four-stroke-portfolio>

Lähteet

- [36] Korean Register. (2023). Methanol as a marine fuel. (s. 60). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://www.krs.co.kr/eng/Brochure/ListView.aspx?MRID=559>
- [37] Wärtsilä. (2023). Wärtsilä solutions chosen for world's first methanol fuelled hybrid RoRo vessels. Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://www.wartsila.com/media/news/13-09-2023-wartsila-solutions-chosen-for-world-s-first-methanol-fuelled-hybrid-ro-ro-vessels-3324864>
- [38] Ammattilehti. (2023). Wärtsilä kasvattaa metanolimoottorien tarjontaa neljällä uutuudella. Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://www.ammattilehti.fi/uutiset.html?231001>
- [39] Maersk (2023). Maersk orders six methanol powered vessels. Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://www.maersk.com/news/articles/2023/06/26/maersk-orders-six-methanol-powered-vessels>
- [40] Methanol Institute. (2023). Marine Methanol: Future-Proofing Shipping Fuel. (s. 11, 25-27). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2023/05/Marine_Methanol_Report_Methanol_Institute_May_2023.pdf
- [41] Methanol Institute. (2023). Marine Methanol: Future-Proofing Shipping Fuel. (s. 28, 48). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2023/05/Marine_Methanol_Report_Methanol_Institute_May_2023.pdf
- [42] Methanol Institute. (2023). Marine Methanol: Future-Proofing Shipping Fuel. (s. 28). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2023/05/Marine_Methanol_Report_Methanol_Institute_May_2023.pdf
- [43] Methanol Institute. (2023). Marine Methanol: Future-Proofing Shipping Fuel. (s. 17). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2023/05/Marine_Methanol_Report_Methanol_Institute_May_2023.pdf
- [44] International Renewable Energy Agency. (2021). Innovation Outlook: Renewable Methanol. (s. 114). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jan/IRENA_Innovation_Renewable_Methanol_2021.pdf?rev=ca7e-c52e824041e8b20407ab2e6c7341
- [45] Korean Register. (2023). Methanol as a marine fuel. (s. 35). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://www.krs.co.kr/eng/Brochure/ListView.aspx?MRID=559>

Kaavioiden, kuvioiden ja taulukoiden lähteet

- s.2** Kuvio 1:
DNV. (2023). Energy transition outlook 2023: Maritime forecast to 2050. (s. 24). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: <https://www.dnv.com/maritime/publications/maritime-forecast-2023/download-the-report/>
- s.3-4** Kuvio 2:
International Renewable Energy Agency. (2021). Innovation Outlook: Renewable Methanol. (s. 32). Haettu 23.05.2024 osoitteesta: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jan/IRENA_Innovation_Renewable_Methanol_2021.pdf?rev=ca7ec52e824041e8b20407ab2e6c7341
- s.6** Taulukko:
Solakivi, T., Paimander, A., & Ojala, L. (2022). Cost competitiveness of alternative maritime fuels in the new regulatory framework. (s. 2). Haettu 05.06.2024 osoitteesta: <https://www.utupub.fi/bitstream/handle/10024/173681/1-s2.0-S1361920922003261-main.pdf?sequence=1>
- Bertagna, S., Kouznetsov, I., Braidotti, L., Marino, A., & Bucci, V. (2023). A Rational Approach to the Ecological Transition in the Cruise Market: Technologies and Design Compromises for the Fuel Switch. (s. 4). Haettu 05.06.2024 osoitteesta: https://www.researchgate.net/publication/366818830_A_Rational_Approach_to_the_Ecological_Transition_in_the_Cruise_Market_Technologies_and_Design_Compromises_for_the_Fuel_Switch
- Xing, H., Stuart, C., Spence, S., & Chen, H. (2021). Alternative fuel options for low carbon maritime transportation: Pathways to 2050. Haettu 05.06.2024 osoitteesta: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621008714?via%3Dihub>
- Ampah, J. D., Yusuf, A. A., Afrane, S., Jin, C., & Liu, H. (2021). Reviewing two decades of cleaner alternative marine fuels: Towards IMO's decarbonization of the maritime transport sector. Haettu 05.06.2024 osoitteesta: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621030675?via%3Dihub>
- The Engineering ToolBox. (n.d.). Fuels - Higher and Lower Calorific Values. Haettu 05.06.2024 osoitteesta: https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html
- European Commission. (2021). Regulation of the European Parliament and of the Council on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport and amending Directive 2009/16/EC. (Annex II). Haettu 05.06.2024 osoitteesta: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A52021PC0562>

Kaavioiden, kuvioiden ja taulukoiden lähteet

- s.6** Taulukko:
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. Haettu 05.06.2024 osoitteesta: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890423006970>
- Nair, A. (2016). Alternative Fuels for Shipping: Potential for reductions in CO2 emissions, Financial viability for ship owners and, Optimised fleet mix design for policymakers. (s 26). Haettu 05.06.2024 osoitteesta: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://thesis.eur.nl/pub/41180/A.-Nair-Thesis-Final-441409-A.Nair.pdf&ved=2ahUKEwigvu_mga6HAxWBFBAIHcUxDfcQFnoECBYQAQ&usg=AOvVaw-2gONDv_4o4A7a8ZhjFtsD-

Kuvien lähteet

- s.1** Adobe Stock: Federico Aliaksandr Siamko. (n.d.). Haettu 30.08.2024 osoitteesta: <https://stock.adobe.com/images/container-cargo-ship-in-the-ocean-at-sunset-blue-sky-back-ground-with-copy-space-nautical-vessel-and-sea-freight-shipping-international-global-business-logistics-transportation-import-export-concept/756026306>
- s.2** Adobe Stock: Yellow Boat. (n.d.). Haettu 09.05.2024 osoitteesta: <https://stock.adobe.com/images/aerial-top-view-of-cargo-ship-carrying-container-and-running-for-export-goods-from-cargo-yard-port-to-custom-ocean-concept-technology-transportation-customs-clearance/483855922>
- s.3** Adobe Stock: PNG Lover. (n.d.). Haettu 09.05.2024 osoitteesta: https://stock.adobe.com/images/oil-refinery-plant-isolated-on-transparent-background/763105869?asset_id=763105869
- s.4** Adobe Stock: PNG Lover. (n.d.). Haettu 09.05.2024 osoitteesta: https://stock.adobe.com/images/oil-refinery-plant-isolated-on-transparent-background/763105869?asset_id=763105869
- s.5** Adobe Stock: bsd studio. (n.d.). Haettu 09.05.2024 osoitteesta: https://stock.adobe.com/images/preventing-workplace-injury-concept-icons-set-occupational-health-and-safety-idea-thin-line-color-illustrations-isolated-symbols-editable-stroke-roboto-medium-myriad-pro-bold-fonts-used/551487228?asset_id=551487228
- s.6** Adobe Stock: Icon-Duck. (n.d.). Haettu 09.05.2024 osoitteesta: https://stock.adobe.com/images/lean-manufacturing-banner-vector-illustration-with-the-icons-of-six-sigma-management-quality-standard-industry-continuous-improvements-reduce-waste-improve-productivity-efficiency-keizen/672171945?asset_id=672171945
- Adobe Stock: Puchthanun. (n.d.). Haettu 09.05.2024 osoitteesta: <https://stock.adobe.com/images/oil-terminal-is-industrial-facility-for-storage-of-oil-and-gas-industry/679913314>
- s.7** Adobe Stock: Gondex. (n.d.). Haettu 09.05.2024 osoitteesta: https://stock.adobe.com/images/continuous-line-drawing-of-machine-gears-the-concept-of-gears-on-a-single-line-style-machine-machine-gear-technology-concept-in-single-line-doodle-style/566081642?asset_id=566081642
- s.8** Adobe Stock: Gondex. (n.d.). Haettu 09.05.2024 osoitteesta: https://stock.adobe.com/images/continuous-line-drawing-of-machine-gears-the-concept-of-gears-on-a-single-line-style-machine-machine-gear-technology-concept-in-single-line-doodle-style/566081642?asset_id=566081642
- s.9** Adobe Stock: The Deep Designer. (n.d.). Haettu 09.05.2024 osoitteesta: https://stock.adobe.com/638437077?asset_id=638437077
- s.2-17** Adobe Stock: Steves Artworks. (n.d.). Haettu 09.05.2024 osoitteesta: https://stock.adobe.com/images/blue-watercolor-sea-wave-texture-design-on-transparent-background/773410060?asset_id=773410060