

UUPO – Merilogistiikan uudet polttoaineet vihreän
siirtymän ja sinisen kasvun vauhdittajina

Polttoaine Tietopaketti: Etanoli



samk

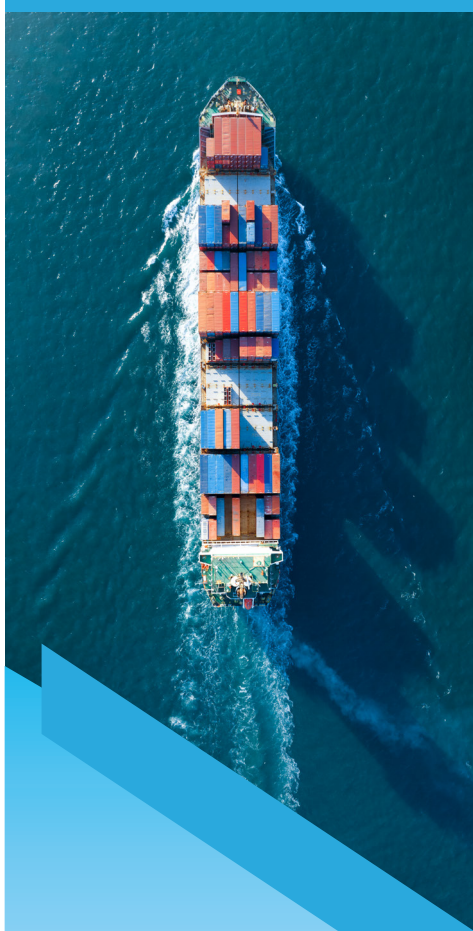
Satakunnan ammattikorkeakoulu



SATAKUNTALIITTO
Regional Council of Satakunta

2024

Perustietoa



Tärkeät näkökohdat:

1. Etanoli on maailman yleisin tieliikenteen biopolttoaine
2. Etanolin elinkaaripäästöt riippuvat vahvasti sen valmistuksessa käytetyistä raaka-aineista
3. Etanoli tuottaa huomattavasti vähemmän SO_x-, NO_x- ja pienhiukkaspäästöjä kuin fossiiliset polttoaineet
4. Etanoli on hiilipohjainen polttoaine, joten sen käyttö aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä
5. Alan toimijoiden kiinnostus käyttää etanolia merenkulun polttoaineena ei ole yhtä suurta kuin muilla vaihtoehtoisilla polttoaineilla

Etanoli

Etanoli (C₂H₅OH) on hiili-pohjainen yhdiste, joka kuuluu alkoholien ryhmään ja se koostuu kahdesta hiiliatomista, viidestä vedyn atomista ja yhdestä hydroksyylistä (-OH). Etanoli tunnetaan myös nimellä etyylialkoholi. Normaalilämpötilassa ja -paineessa etanoli on väritön, helposti syttyvä neste, jolla on muillekin alkoholeille ominainen haju.

Etanolia on käytetty tieliikenteessä bensiinin lisäaineena jo 1970-luvun lopusta lähtien. Sen lisääminen bensiiniin nostaa polttoaineen oktaanilukua ja parantaa sen palamisominaisuuksia. Etanolin käyttöönoton myötä lyijyn käyttö bensiinin lisäaineena voitiin lopettaa, joka oli huomattavasti haitallisempi lisäaine ympäristölle. Lisäksi etanolin käyttö vähensi erilaisia päästöjä, kuten hiilimonoksidia, koska etanolin seassa oleva happi mahdollisti polttoaineen puhtaamman pa-

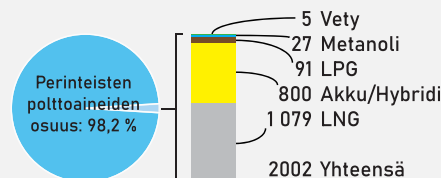
lamisen polttomoottorissa. ^[1] Nykyään etanolia käyttö bensiinin seassa on erittäin yleistä ja etanoli onkin maailman laajimmin käytetty tieliikenteen biopolttoaine. Vuonna 2015 jopa 87 % kaikesta tuotetusta etanolista päätyi polttoaine käyttötarkoituksiin. ^[2]

Etanoli on myös herättänyt jotakin kiinnostusta merenkulun toimijoiden keskuudessa, sillä etanolilla on potentiaalia vähentää merenkulun tuottamia päästöjä huomattavasti. Tämä kiinnostus ei kuitenkaan ole ollut yhtä suurta kuin metanolin tai ammoniakkin käyttöön kohdistuva huomio. Lisäksi etanolin käyttöönotto tulisi vaatimaan merkittäviä investointeja infrastruktuuriin ja alusten teknisiin muutoksiin. Tästä huolimatta etanoli voi tarjota kestävän, sekä ympäristöystävällisen ratkaisun merenkulun päästöhaasteisiin ja sen todellinen rooli tulevaisuuden merilogistiikassa on vielä avoinna.

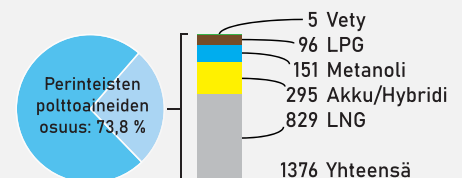
Kuvio 1. Maailman laivaston vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöönotto alusten määrän mukaan (yläosa) ja bruttovetoisuuden mukaan (alaosa), heinäkuu 2023

Alusten määrä

Käytössä olevat alukset

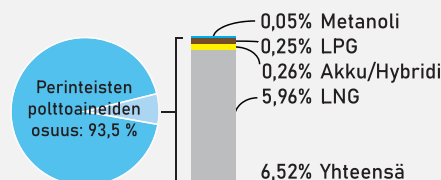


Tilauksessa olevat alukset

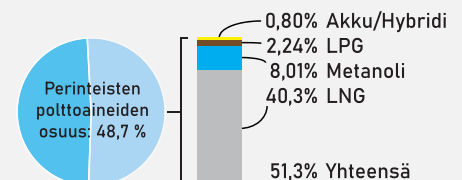


Bruttovetoisuus

Käytössä olevat alukset



Tilauksessa olevat alukset



Valmistusmenetelmät



Etanolia voidaan valmistaa usealle eri tavalla, mutta suurin osa maailman etanolista valmistetaan erilaisista biomassoista, jolloin sitä kutsutaan bioetanoliksi. Bioetanolin tuotantotavat jaetaan muiden biopolttoaineiden tavoin eri sukupolviin riippuen itse biomassasta ja valmistus menetelmästä.

Ensimmäisen sukupolven bioetanoli:

Ensimmäisen sukupolven bioetanolia valmistetaan erilaisista viljelykasveista, jotka sisältävät suuria määriä hiilihydraatteja, kuten sokereita tai tärkkelystä. Sokeri pohjaisiin raaka-aineisiin lukeutuu sokeriruoko, soke-rijuurikas ja durra, kun taas yleisimmät tärkkelyspohjaiset raaka-aineet ovat maissi, maniokki, vehnä ja ruis. ^[3]

Ensimmäisen sukupolven bioetanolin tuotanto alkaa raaka-aineen esikäsittelyllä. Esikäsittelyssä biomassaa tyypillisesti ensiksi jauhetaan ja sekoitetaan veteen. Tämän jälkeen, biomassavesiseosta käsitellään lämmöllä, sekä entsyymeillä, jotka hajottavat biomassan solukon ja vapauttavat seokseen biomassan sisältämät sokerit. Kun sokerit on vapautettu biomassasta, seos siirretään käymisreaktoriin, jossa hiiva tai bakteerit käyttävät seoksen sokerit etanolin ja hiilidioksidin tuottamiseksi. Tätä

kutsutaan fermentoimiseksi tai käymisprosessiksi. Käymisen jälkeen saatu seos käsitellään erottamalla etanoli ja muut komponentit, kuten vesi. Tämä tapahtuu usein tislamalla tai muiden erotusmenetelmien avulla. ^[4]

Toisen sukupolven bioetanoli:

Toisen sukupolven bioetanolia valmistetaan lignoselluloosajätteistä, jotka ovat yleensä peräisin maatalouden ja puunjalostusteollisuuden sivuvirroista. Esimerkkejä maatalouden jätteistä ovat eri kasvien osat, kuten olki, lehdet tai muut jäänneet. Puunjalostusteollisuuden sivuvirroista puolestaan erilaiset puubiomassat, kuten puunpuru ja metsäntähteet, sopivat erinomaisesti bioetanolin valmistukseen. Yleisesti ottaen mikä tahansa jäte, joka sisältää selluloosaa tai hemiselluloosaa, voidaan hyödyntää toisen sukupolven bioetanolin tuotannossa. ^[5]

Toisen sukupolven bioetanolin tuotanto muistuttaa ensimmäisen sukupolven bioetanolin tuotantoa monin tavoin. Käytännössä ainoa ero näiden prosessien välillä on se, että toisen sukupolven bioetanolin tuotantoprosessissa biomassavesiseoksesta erotellaan ligniini, joka on peräisin lignoselluloosajätteistä, esikäsittelyn jäl-

keen. Ligniiniä ei tarvita käymisprosessia varten, ja sen poistaminen lisää sokerien suhdetta biomassavesiseoksessa. Tämä parantaa käymisprosessin tehokkuutta ja lisää tuotetun etanolin määrää. Ligniini tyypillisesti poltetaan, jolloin sen sisältämä energia voidaan hyödyntää bioetanolin tuotannossa. ^[6]

Kolmannen ja neljännen sukupolven bioetanoli:

Ensimmäisen ja toisen sukupolven bioetanoli raaka-aineiden lisäksi bioetanolia voidaan valmistaa hyödyntäen mikro-organismeja. Kolmannen sukupolven bioetanolia tuotetaan erilaisilla levillä, kun taas neljännen sukupolven bioetanolia tuotetaan geenimuunneltujen mikro-organisimien avulla. Kyseiset tuotantotavat ovat kuitenkin vielä kehitysasteella eikä siten ole vielä laajassa kaupallisessa käytössä. ^[7]

Muut tavat tuottaa etanolia:

Etanolia voidaan valmistaa myös synteetikaasusta, jota itsessään valmistetaan usealla eri tavalla. Prosessissa synteetikaasua fermentoidaan tyypillisesti *Clostridium*-bakteereilla, jotka muuttavat synteetikaasun sisältämän hiilen, hapen ja vedyn etanoliksi. Synteetikaasusta tuotetun etanolin lisäksi etanolia voidaan syntetisoida eteenistä ja vedestä. ^[8]

Ominaisuudet ja turvallisuus



Polttoaine ominaisuudet

Verrattuna perinteisiin fossiilisiin polttoaineisiin, etanolilla (EtOH) on melko matala tehollinen lämpöarvo. Kun vertaillaan polttoaineiden energiatihyksiä, ero etanolin ja perinteisten polttoaineiden välillä kasvaa entisestään, etanolin alhaisen tiheyden vaikutuksesta. Tästä johtuen etanoli tarvitsee noin kaksinkertaisen tilan saman energiamäärän varastointiin kuin raskas polttoöljy.

Käytettäessä puhdasta etanolia laivojen polttoaineena, polttomoottoreissa saatetaan hyödyntää pilottipolttoaineita. [9] Tämä toimii siten, että polttokammiossa pilottipolttoaine syttyy ensin palamaan nousevan lämpötilan ja paineen vaikutuksesta. Pilottipolttoaineen vapauttama energia sytyttää sitten kammiossa olevan etanolin palamaan. Itse pilottipolttoaine ja sen osuus kokonaispolt-

toainemäärästä riippuu polttomoottori tyypistä.

Etanolia voidaan myös käyttää joidenkin polttoaineiden seassa erilaisissa sekoitussuhteissa. [10]

Turvallisuus

Etanoli on alkoholijuomien vaikuttava aine, joten sen vaikutukset ihmisissä tunnetaan hyvin. Nämä vaikutukset ovat kuitenkin huomattavasti lievempiä kuin monien muiden uusien polttoaineiden, joka tarkoittaa, että sen käyttö polttoaineena on osittain turvallisempaa. Etanolihöyryille altistuminen voi aiheuttaa lukuisia oireita riippuen altistumisajasta, sekä etanolihöyryn pitoisuudesta ilmassa. Lievempiin oireisiin kuuluvat esimerkiksi nenän ärsytystä ja hengityselinten vaikutuksia, kun taas pidempi altistumisaika tai suuremmat pitoisuudet voivat ai-

heuttaa keskushermosto-oireita, väsymystä ja päänsärkyä. Nestemäinen etanoli sen sijaan voi aiheuttaa silmissä ja iholla ärsytystä. Tämän lisäksi etanoli voi imeytyä ihon kautta elimistöön. Nieltynä etanoli vaikuttaa sekä ruoansulatuselimistöön että keskushermostoon aiheuttaen erilaisia oireita. Näihin lukeutuu muun muassa pahoinvointia ja oksentelua, sekä koordinaatiokyvyn, reaktionopeuden ja harkintakyvyn heikkeneminen. Suuremmat altistumiset voivat johtaa tajuttomuuteen ja pahimmissa tapauksissa hengityksen tai verenkierron lamaantumiseen. [11]

Etanolin paloturvallisuus on myös tärkeä huomioida, sillä etanolilla on suhteellisen laaja syttymisraja ilmassa ja matala leimahduspiste. Nämä ominaisuudet tekevät siitä helposti syttyvän aineen ja tämä on tärkeä huomioida sen käytössä. [12]

Polttoaine	Energia ja säilytys					Syttyvyys		
	Tiheys [kg/m ³]	Tehollinen lämpöarvo (LHV) [MJ/kg]	Energia- tiheys [MJ/m ³]	Kiehumis- piste [°C]	Polttoaineen tilantarve vs LSHFO	Itsesyttymis- lämpötila ilmassa [°C]	Leimahdus- piste [°C]	Syttymis- rajat ilmassa [%]
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

Vuonna 2023 tuotettiin noin 88 miljoonaa tonnia etanolia polttoaine tarkoitukseen. Suurimmat tuottajamaat olivat Yhdysvallat, sekä Brasilia, jotka yhdessä vastasivat noin 80 % kaikesta tuotannosta. ^[13] Vaikka etanolin tuotantotapoja on kehitetty jo monia, niin silti lähes kaikki polttoaine käyttöön tarkoitettu etanolista on ensimmäisen sukupolven bioetanolia ja yleisin raaka-aine on maissi. ^{[14] [15]} Sen viljely vaatii kuitenkin paljon maapinta-alaa, sillä maissista valmistettu bioetanoli tarvitsee lähes kaksinkertaisen määrän viljelyalaa verrattuna esimerkiksi sokeriruokoon tai sokerijuurikkaaseen, jotta sama määrä bioetanolia saataisiin tuotettua. ^[16]

Lisäksi vuonna 2022 julkaistu tutkimus paljasti, että Yhdysvalloissa maissilla tuotettu bioetanoli on lisännyt viljelyalueiden laajuutta, mikä puolestaan on aiheuttanut merkittäviä hiili-diksidipäästöjä. Pääasiassa päästöt johtuvat siitä, että luonnontilassa olleita maa-alueita on raivattu ja kynnetty, minkä seurauksena maaperässä aiemmin sitoutunut hiili on päässyt vapautumaan ilmakehään.

Vapautuneen hiilen ansiosista, maissilla tuotetun etanolin elinkaaripäästöt saattavat olla jopa suuremmat kuin fossiilisten polttoaineiden. ^[17]

Kyseisen ja muidenkin samantyyppisten tutkimusten tulokset herättävän kysymyksiä maissilla tuotetun etanolin ympäristöystävällisyydestä ja pidemmällä aikavälillä tämä voi vaikuttaa myös sen tuotantomäärien kasvuun. Ensimmäisen sukupolven bioetanolin kasvuun EU:ssa vaikuttaa lisäksi vuonna 2015 voimaan tullut laki, joka rajoittaa viljelymaan käyttöä biopolttoaineiden raaka-aineiden viljelyä varten. Lailla pyrittiin rajoittamaan kilpailua ja konflikteja ruoantuotannon ja biopolttoaineiden tuotannon välillä. ^[18] Toisen sukupolven bioetanolin tuotantolaitoksia rakennetaan kuitenkin koko ajan enemmän, joka tulee nostamaan lignoselluloosa peräisen etanolin tuotantomääriä.

Tulevaisuuden näkymät Suomessa ja Satakunnassa

St1 on valmistanut bioetanolia useissa kohteissa Suomessa,

mukaan lukien Kajaani, Lahti ja Vantaa. Kajaanin tuotantolaitoksessa hyödynnettiin sahanpurua raaka-aineena, kun taas Lahdessa ja Vantaalla bioetanolia tuotettiin elintarviketeollisuuden jätteistä. Yhtiö ilmoitti kuitenkin vuoden 2023 loppupuolella tehtaiden sulkemisesta tuotannollisten ja taloudellisten haasteiden vuoksi. Esimerkiksi Kajaanin demotehdas pystyi tuottamaan vain viidenneksen kymmenen miljoonan tavoitteesta, kun taas Lahden ja Vantaan laitoksilla oli vaikeuksia raaka-aineiden toimituksen kanssa. ^{[19] [20]}

Suomeen on kuitenkin suunnitteilla kaksi uutta tuotantolaitosta Poriin ja Haapavedelle, jotka tuottaisivat bioetanolia puupohjaisista raaka-aineista. Porin tuotantolaitoksen vuosituotanto arvioidaan olevan noin 45 000 tonnia vuodessa, kun taas Haapaveden suuremman tuotantolaitoksen odotetaan tuottavan noin 65 000 tonnia etanolia vuosittain. Bioetanolin lisäksi laitokset tuottaisivat biokaasua. ^{[21] [22]}



Tekniset näkökulmat

Infrastrukturi, kuljetus ja varastointi

Etanolilla on jo vakiintunut infrastrukturi, koska sitä tuotetaan ja käytetään laajasti, erityisesti maantieliikenteessä. Lisäksi bensiinille rakennettua infrastruktuuria voidaan myös osittain hyödyntää etanolia varten.^[23]

Tyypillisesti etanolia kuljetaan rekkojen tai junien avulla. Pidemmällä, esimerkiksi kansainvälisillä matkoilla, etanolia kuljetetaan säiliöaluksilla samalla tavoin kuin muitakin nestemäisiä polttoaineita. Näiden kuljetustapojen lisäksi etanolia voidaan siirtää putkistoja pitkin. Putkiston ei tarvitse olla itsessään rakennettu etanolia varten, vaan esimerkiksi bensiinin siirtoputkistoa voidaan hyödyntää etanolin siirrossa, mikäli putkistolle tehdään vaadittavat putsaukset ja putkiston materiaalit ovat sopivia etanolille.^[24]

Metanolin tavoin, etanolin yksi vahvuuksista on sen helppo varastointi. Toisin kuin monet muut uudet polttoaineet, kuten vety, LNG ja ammoniakki, etanoli säilyy nestemäisessä muodossa normaalilämpötilassa ja -paineessa, sillä sen kiehumispiste on 79 °C. Tästä johtuen sen varastoiminen ei vaadi yhtä paljon energiaa kuin edellä mainittujen polttoaineiden varastoiminen. Etanolia voidaan myös käytännössä säiliö samoisissa säiliöissä, joita käytetään bensiinin varastointiin.^[25]

Matalan leimahduspisteen ansiosta etanolin varastoimisessa ja käsittelyssä on omat riskinsä, jotka ovat huomioitava ja pyrittävä minimoimaan, erityisesti kun sitä käytetään laivoissa. Polttoainesäiliöt ja muut komponentit, jotka ovat kosketuksissa polttoaineeseen, saattavat esimerkiksi tarvita ylimääräisiä suojalaitteita tai -järjestelmiä varmistaakseen turvallisen käytön. Näitä suojalaitteita tai -järjestelmiä voidaan tarvita myös erilaisia kansainvälisiä määräyksiä ja standardeja, kuten SOLAS-asetusta varten.^[26] Lisäksi etanolin varastoinnissa on tärkeä huomioida sen ominaisuus sitoa itseensä vettä, sekä syövyttävyyden erinäisissä materiaaleissa.^{[27] [28]}

Käyttö polttoaineena

Suurin osa tuotetusta etanolista polttoaineesta käytetään maantieliikenteessä bensiinipolttoaineiden lisäaineena. Tyypillisesti etanolin osuus polttoaineesta on noin 5–10 tilavuusprosenttia.^[29] Markinoilla on myös saatavilla esimerkiksi E85 polttoainetta, josta 85 % on etanolia ja 15 % bensiiniä. E85 polttoaineen käyttö kuitenkin yleensä vaatii erilaisia muutoksia ennen kuin sitä voidaan käyttää auton polttomotorissa.^[30] Raskaassa maantieliikenteessä etanolia käytetään myös laajasti ja Yhdysvalloissa ensimmäiset etanolilla käyvät kuorma-autot otettiin käyttöön jo vuonna 1992.^[31] Lisäksi lähivuosina erilaiset

raskaan liikenteen yritykset, kuten Scania, ovat lanseeranneet omia etanolilla toimivia kuorma-autoja. Toisin kuin henkilöautot, nämä kuorma-autot käyttävät polttoainetta, jonka etanolipitoisuus on noin 95 %, ja loput 5 % poltto-aineesta koostuu lisäaineista, jotka parantavat palamisominaisuuksia.^[32]

Merilogistiikassa etanolia ei ole vielä otettu käyttöön. Suurin syy tähän on, että etanoli ei ole yhteensopiva nykyisten laivamoottorien kanssa ilman muutoksia. Esimerkiksi etanolin viskositeetti on matalampi kuin dieselin, joten muutokset polttoaineensyöttöjärjestelmässä ovat todennäköisiä. Lisäksi etanolin palamisominaisuudet eroavat dieselistä, mikä voi vaatia sylinterien ja muiden osien modifiointia moottorissa.^[33] Kiinnostus etanolin hyödyntämisestä merenkulussa on kuitenkin kasvamassa. Esimerkiksi vuoden 2023 loppupuolella Wärtsilä ja brasilialainen etanolin valmistaja Raízen aloittivat yhteistyön, jonka tavoitteena on ottaa etanoli käyttöön meriliikenteessä.^[34] Tämän lisäksi, useat moottorinvalmistajat ovat viestineet, että etanolin käyttö voisi olla käytännössä mahdollista pienillä muutoksilla metanoli moottoreissa, joten tulevaisuudessa voidaan odottaa lisääntyvää kiinnostusta ja tutkimusta etanolin käytöstä polttoaineena meriliikenteessä.^[35]

Ympäristö näkökulmat



Meriliikenteessä etanolilla on paljon potentiaalia vähentää kasvihuonepäästöjen määrää. Vähennyksen määrä kuitenkin riippuu vahvasti etanolin valmistuksessa käytetyistä raaka-aineista. Etanolin käyttö polttoaineena aiheuttaa myös vähemmän muita päästöjä verrattuna perinteisiin polttoaineisiin. Huomioitavaa kuitenkin on, että koska etanolilla toimivia laivamoottoreita ei vielä ole, niin etanolin aiheuttamat päästöt ovat usein osittain arvioitu maantieliikenteen moottoreiden päästötietojen perusteella. ^[36]

Kasvihuonekaasupäästöt

EU:n uudessa uusiutuvan energian RED II-direktiivissä asetetaan fossiilisten polttoaineiden elinkaaripäästöille viitearvoksi 94 gCO₂e/MJ. Yleisesti ottaen etanolin elinkaaripäästöt ovat pienemmät kuin fossiilisten polttoaineiden, mutta ne voivat vaihdella suuresti riippuen biomassan alkuperästä ja tuotantotavasta. Vehnästä valmistetun ensimmäisen sukupolven bioetanolin elinkaaripäästöt ovat noin 32 % pienemmät kuin RED II-direktiivin fossiilisten polttoaineiden viitearvo. Sokeriruosta valmistetulla bioeta-

nolilla tämä luku on jopa 71 %. Mikäli maanmuokkauksesta ja -käytöstä aiheutuvat päästöt otetaan huomioon, vehnästä tuotetun bioetanolin päästöt voivat olla samantasoiset kuin fossiilisten polttoaineiden. Sokeriruosta tuotetun bioetanolin päästöt ovat tästä huolimatta noin puolet fossiilisten polttoaineiden elinkaaripäästöistä. Toisen sukupolven bioetanolit sen sijaan vähentävät päästöjä merkittävästi, jopa 75–90 %. ^[37]

Typen oksidien (NOx) päästöt

Etanolin käytöstä syntyvät typen oksidien päästöt ovat matalammat kuin raskaan polttoöljyn aiheuttamat päästöt. NOx-päästöjen määrä on kuitenkin suurempi kuin SCR-järjestelmällä varustettu laiva, joka käyttää raskasta polttoöljyä. Käytännössä SCR-järjestelmä olisi myös yhteensopiva etanolikäyttöisten laivojen kanssa. Typen oksidien päästöjä voitaisiin vähentää myös pakokaasun takaisinkierätyksellä, eli EGR-järjestelmällä tai optimoimalla moottorin operointi arvoja. ^[38]

Rikin oksidien (SOx) päästöt

Etanoli ei sisällä lainkaan rikkiä, jonka takia sen tuottamat rikin

oksidien päästöt ovat käytännössä olemattomat. Näitä päästöjä voi kuitenkin syntyä piilottipolttoaineesta, mikäli semmoista on käytössä. Alhaisten SOx-päästöjen vaikutuksesta etanoli on erinomainen polttoaine vaihtoehto rikin oksidien päästöjen valvonta-alueille. ^[39]

Muut päästöt

Verrattuna perinteisiin polttoaineisiin, etanoli tuottaa hyvin vähäisiä määriä pienhiukkas-päästöjä. ^[40]

Etanolivuodot

Yleisesti ottaen etanolivuodon hallinta on helpompaa kuin esimerkiksi LNG, vety tai ammoniakki vuodon hallinta, koska etanoli ei kaasuunnu ja leviä ilmaan vuodon sattuessa. Tämän ansiosta etanolin kerääminen ja eristäminen on teknisesti yksinkertaisempaa.

Muihin polttoainevuotoihin verrattuna etanolivuoto ei ole myöskään läheskään yhtä haitallinen vesistöjen pilaantumisen kannalta. Etanoli sekoittuu täysin veteen, jolloin se laimentuu ja sen aiheuttamat riskit osittain neutralisoituvat. ^[41]

Yhteenveto

Etanoli on maailman yleisin tieliikenteen biopolttoaine, mutta sitä ei ole vielä otettu käyttöön merenkulussa. Toisin kuin monet muut vaihtoehtoiset polttoaineet, kuten vety, ammoniakki tai metanoli, etanolin käyttöönotto merenkulussa ei ole saanut samanlaista huomiota osakseen alan toimijoiden keskuudessa. Tämä näkyy konkreettisesti esimerkiksi siinä, ettei markkinoilla ole vielä saatavilla etanolilla toimivia laivamootoreita, eikä niitä ole odotettavissa lähivuosina. Etanolin käyttöönottoon liittyvien hankkeiden määrä on myös hyvin vähäistä verrattuna muihin vaihtoehtoisiin polttoaineisiin.

Ilmastopolitiikan ja -asetusten

tiukentuessa tähän saattaa kuitenkin tulla muutos, sillä etanolilla on paljon potentiaalia vähentää erilaisten päästöjen määrää. Etanoli tuottaa esimerkiksi huomattavasti vähemmän NOx-, SOx- ja pienhiukkapäästöjä kuin perinteiset fossiiliset polttoaineet. Etanolin elinkaaripäästöt sen sijaan ovat vahvasti riippuvaisia siitä mistä raaka-aineesta se on valmistettu. Tämä näkyy erityisesti ensimmäisen sukupolven bioetanolissa, jossa joidenkin raaka-aineiden viljely aiheuttaa valtavia määriä kasvihuonekaasupäästöjä maanmuokkauksen ja -käytön seurauksena. Joissakin tapauksissa näiden päästöjen määrä voi olla niin suuri, että etanolin elinkaaripäästöt ovat

jopa suuremmat kuin fossiilisten polttoaineiden. Toisen sukupolven bioetanolilla tätä ongelmaa ei ole, koska sen valmistuksessa voidaan hyödyntää erilaisia jätteitä, sekä maatalouden ja puunjalostusteollisuuden sivuvirtojen tuotteita.

Vaikka etanoli voi tarjota potentiaalisesti ympäristöystävällisemmän vaihtoehdon perinteisille polttoaineille, kuten raskaalle polttoöljylle, sen käyttöönotto merenkulussa edellyttää vielä lisää tutkimusta ja kehitystä. Mahdollinen käyttöönotto tulee myös vaati-
maan suuria investointeja infrastruktuuriin ja alusten tekni-
siin muutoksiin.

Vahvuudet

- + Etanoli on maailman yleisin tieliikenteen biopolttoaine
- + Energiatiheys parempi kuin monen muun uuden polttoaineet
- + Etanolia on helpompi käsitellä ja varastoida kuin monia muita vaihtoehtoisia polttoaineita
- + Erittäin alhaiset NOx-, SOx- ja pienhiukaspäästöt
- + Etanolivuotojen vaikutukset vesistöjen ekosysteemeihin melko pienet verrattuna muihin polttoaineisiin
- + Etanolia voidaan mahdollisesti käyttää metanolimootoreissa

Heikkoudet

- Etanoli ei ole vielä käytössä merenkulussa, joten sen käyttöön liittyvät standardit ja käytännöt ovat vielä kehitysvaiheessa
- Etanolin käyttö merenkulun polttoaineena ei ole herättänyt yhtä suurta kiinnostusta alan toimijoissa kuin muut vaihtoehtoiset polttoaineet
- Energiatiheys heikompia kuin fossiilisten polttoaineiden
- Hiilipohjainen polttoaine, eli käytöstä syntyy hiilidioksidipäästöjä
- Riippuen raaka-aineesta, etanolin elinkaaripäästöt voivat olla suuremmat kuin fossiilisten polttoaineiden
- Kilpailu maatieliikenteen tarpeiden kanssa voi vähentää kasvua merenkulun polttoaineena

Lähteet

- [1] Utah Department of Agriculture and Food. (n.d.). Ethanol blended gasoline facts for retailers & consumers. (s. 2). Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://ag.utah.gov/wp-content/uploads/2019/05/Ethanol-Blended-Gasoline-Facts-for-Retailers-and-Consumers.pdf>
- [2] Ellis, J., & Tanneberger, K. (2016). Study on the use of ethyl and methyl alcohol as alternative fuels in shipping. (s. 3, 38). Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://emsa.europa.eu/air-pollution/alternative-fuels/items.html?cid=329&id=2726>
- [3] Hart, P., Pruyn, J., & Ferrari, F. (2022). Final Report – Bio-Ethanol as an alternative fuel for vessels. (s. 6). Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://www.koersenvaart.nl/files/Report%20MIIP004-2022%20BioEOHpublic.pdf>
- [4] Lennartsson, P. R., Erlandsson, P., & Taherzadeh, M. J. (2014). Integration of the first and second generation bioethanol processes and the importance of by-products. Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852414001527>
- [5] Hart, P., Pruyn, J., & Ferrari, F. (2022). Final Report – Bio-Ethanol as an alternative fuel for vessels. (s. 12). Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://www.koersenvaart.nl/files/Report%20MIIP004-2022%20BioEOHpublic.pdf>
- [6] Hart, P., Pruyn, J., & Ferrari, F. (2022). Final Report – Bio-Ethanol as an alternative fuel for vessels. (s. 12-13). Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://www.koersenvaart.nl/files/Report%20MIIP004-2022%20BioEOHpublic.pdf>
- [7] Hart, P., Pruyn, J., & Ferrari, F. (2022). Final Report – Bio-Ethanol as an alternative fuel for vessels. (s. 6). Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://www.koersenvaart.nl/files/Report%20MIIP004-2022%20BioEOHpublic.pdf>
- [8] Hart, P., Pruyn, J., & Ferrari, F. (2022). Final Report – Bio-Ethanol as an alternative fuel for vessels. (s. 6). Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://www.koersenvaart.nl/files/Report%20MIIP004-2022%20BioEOHpublic.pdf>
- [9] Ellis, J., & Tanneberger, K. (2016). Study on the use of ethyl and methyl alcohol as alternative fuels in shipping. (s. 3). Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://emsa.europa.eu/air-pollution/alternative-fuels/items.html?cid=329&id=2726>
- [10] TVS Motor. (2024). E20 Fuel: All You Need To Know. Haettu 09.07.2024 osoitteesta: https://www.tvsmotor.com/media/blog/e20-fuel-all-you-need-to-know?utm_source=store_locator&utm_medium=external_link
- [11] Työterveyslaitos. (2022). OVA-Ohjeet: Etanoli. Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://ova.ttl.fi/etanoli>
- [12] CLEAPSS. (2022). Student safety sheets: Ethanol. Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://science.cleapss.org.uk/Resource/SSS060-Ethanol.pdf>

Lähteet

- [13] Renewable fuels association. (2024). 2024 Ethanol industry outlook. (s. 6). Haettu 09.07.2024 osoitteesta: https://d35t1syewk4d42.cloudfront.net/file/2666/RFA_Outlook_2024_full_final_low.pdf
- [14] Hart, P., Pruyn, J., & Ferrari, F. (2022). Final Report – Bio-Ethanol as an alternative fuel for vessels. (s. 16). Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://www.koersenvaart.nl/files/Report%20MIIP004-2022%20BioEOHpublic.pdf>
- [15] Statista. (2023). Feedstock used in fuel ethanol production in the European Union from 2014 to 2022, by type. Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://www.statista.com/statistics/1295918/eu-ethanol-fuel-feedstock-consumption/>
- [16] Hart, P., Pruyn, J., & Ferrari, F. (2022). Final Report – Bio-Ethanol as an alternative fuel for vessels. (s. 6). Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://www.koersenvaart.nl/files/Report%20MIIP004-2022%20BioEOHpublic.pdf>
- [17] Lark, T. J., Hendricks, N. P., Smith, A., Pates, N., Spawn-Lee, S. A., Bougie, M., Booth, E. G., Kucharik, C. J., & Gibbs, H. K. (2022). Environmental outcomes of the US Renewable Fuel Standard. Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2101084119>
- [18] European Court of Auditors. (2023). The EU's support for sustainable biofuels in transport - An unclear route ahead. (s. 17). Haettu 09.07.2024 osoitteesta: https://www.eca.europa.eu/ECAPublications/SR-2023-29/SR-2023-29_EN.pdf
- [19] Kähkönen, S., & Kinnunen, H. (2023). Sahanpurusta alettiin tehdä suurin odotuksin bioetanolia Kajaanissa, nyt St1 pohtii tuotannon lopettamista ja kahden muun laitoksen kohtaloa. Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://yle.fi/a/74-20045518>
- [20] Rönty, H. (2023). ST1 lopettaa etanolin tuotannon Kajaanissa, Lahdessa ja Vantaalla. Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://yle.fi/a/74-20054693>
- [21] Herrala, O. (2023). Sahanpuru aivan liian arvokasta poltettavaksi – Uusi tehdas tekee puukuidusta bioetanolia. Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/sahanpuru-aivan-liian-arvokasta-poltettavaksi-uusi-tehdas-tekee-puukuidusta-bioetanolia/1d8a53f3-d124-496f-90ba-d0e95d87aff8>
- [22] Degerman, R. (2023). Haapavedelle suunnitellun biojalostamon ympäristölupa lainvoimaiseksi – KHO asetti yhtiölle seurantavelvoitteen. Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://yle.fi/a/74-20020236>
- [23] Hart, P., Pruyn, J., & Ferrari, F. (2022). Final Report – Bio-Ethanol as an alternative fuel for vessels. (s. 25). Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://www.koersenvaart.nl/files/Report%20MIIP004-2022%20BioEOHpublic.pdf>
- [24] Department of Energy. (n.d.). Ethanol Production and Distribution. Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://afdc.energy.gov/fuels/ethanol-production>

Lähteet

- [25] Hart, P., Pruyn, J., & Ferrari, F. (2022). Final Report – Bio-Ethanol as an alternative fuel for vessels. (s. 25). Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://www.koersenvaart.nl/files/Report%20MIIP004-2022%20BioEOHpublic.pdf>
- [26] Hsieh, C. C., & Felby, C. (2017). Biofuels for the marine shipping sector. (s. 21). Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/02/Marine-biofuel-report-final-Oct-2017.pdf>
- [27] Baena, L. M., Vásquez, F. A., & Calderón, J. A. (2021). Corrosion assessment of metals in bioethanol-gasoline blends using electrochemical impedance spectroscopy. Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844021016881>
- [28] Hart, P., Pruyn, J., & Ferrari, F. (2022). Final Report – Bio-Ethanol as an alternative fuel for vessels. (s. 24). Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://www.koersenvaart.nl/files/Report%20MIIP004-2022%20BioEOHpublic.pdf>
- [29] Autoalan Tiedotuskeskus. (n.d.). E10-bensiini. Haettu 09.07.2024 osoitteesta: https://www.aut.fi/tieliikenne/polttoaineet_ja_kayttovoimat/bensiini/e10-bensiini
- [30] eFlexFuel Technology. (n.d.). Mitä on E85-bioetanoli? Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://eflexfuel.com/fi/e85-fuel>
- [31] National Renewable Energy Laboratory. (1997). The Ethanol Heavy-Duty Truck Fleet Demonstration Project. (s. 3). Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://afdc.energy.gov/files/pdfs/3598.pdf>
- [32] Scania. (2019). First Scania bioethanol truck hits the road. Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/news/2018/first-scania-bioethanol-truck-hits-the-road.html>
- [33] Hart, P., Pruyn, J., & Ferrari, F. (2022). Final Report – Bio-Ethanol as an alternative fuel for vessels. (s. 26). Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://www.koersenvaart.nl/files/Report%20MIIP004-2022%20BioEOHpublic.pdf>
- [34] Wärtsilä. (2023). Wärtsilä Decarbonisation Modelling agreement supports Raízen's commitment to reducing marine sector's GHG emissions. Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://www.wartsila.com/media/news/23-10-2023-wartsila-decarbonisation-modelling-agreement-supports-ra%C3%ADzen-s-commitment-to-reducing-marine-sector-s-ghg-emissions-3342427>
- [35] Laursen, R., Barcarolo, D., Patel, H., Dowling, M., Penfold, M., Faber, J., Király, J., van der Veen, R., Pang, E., & van Grinsven, A. (2023). Update on potential of biofuels in shipping. (s. 23). Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://www.emsa.europa.eu/newsroom/latest-news/item/4834-update-on-potential-of-biofuels-for-shipping.html>

Lähteet

- [36] Ellis, J., & Tanneberger, K. (2016). Study on the use of ethyl and methyl alcohol as alternative fuels in shipping. (s. 42). Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://emsa.europa.eu/air-pollution/alternative-fuels/items.html?cid=329&id=2726>
- [37] Laursen, R., Barcarolo, D., Patel, H., Dowling, M., Penfold, M., Faber, J., Király, J., van der Veen, R., Pang, E., & van Grinsven, A. (2023). Update on potential of biofuels in shipping. (s. 42). Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://www.emsa.europa.eu/newsroom/latest-news/item/4834-update-on-potential-of-biofuels-for-shipping.html>
- [38] Ellis, J., & Tanneberger, K. (2016). Study on the use of ethyl and methyl alcohol as alternative fuels in shipping. (s. 43). Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://emsa.europa.eu/air-pollution/alternative-fuels/items.html?cid=329&id=2726>
- [39] Ellis, J., & Tanneberger, K. (2016). Study on the use of ethyl and methyl alcohol as alternative fuels in shipping. (s. 43). Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://emsa.europa.eu/air-pollution/alternative-fuels/items.html?cid=329&id=2726>
- [40] Ellis, J., & Tanneberger, K. (2016). Study on the use of ethyl and methyl alcohol as alternative fuels in shipping. (s. 103). Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://emsa.europa.eu/air-pollution/alternative-fuels/items.html?cid=329&id=2726>
- [41] Renewable Fuels Association. (2015). The Impact of Accidental Ethanol Releases on the Environment. Haettu 09.07.2024 osoitteesta: <https://d35t1syewk4d42.cloudfront.net/file/371/The-Impact-of-Accidental-Ethanol-Releases-on-the-Environment.pdf>

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.4** 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>
- 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>

Kaavioiden, kuvioiden ja taulukoiden lähteet

- s.4** Taulukko:
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_mga6HAXWBFBAIHcUxDfcQFnoECBYQAAQ&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: 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-myrriad-pro-bold-fonts-used/551487228?asset_id=551487228
- s.5** 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.6** 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.7** Adobe Stock: The Deep Designer. (n.d.). Haettu 09.05.2024 osoitteesta: https://stock.adobe.com/638437077?asset_id=638437077
- s.2-15** 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