



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Johanna Niemelä

METANOLIN KÄYTTÖÖNOTTO
POLTTOAINEENA MOOTTORIEN
KOEAJOSSA

Wärtsilä Finland oy

Tekniikka
2022

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Johanna Niemelä
Opinnäytetyön nimi	Metanolin käyttöönotto polttoaineena moottorien koeajossa, Wärtsilä Finland Oy
Vuosi	2022
Kieli	suomi
Sivumäärä	58 + 3 liitettä
Ohjaaja	Sami Elomaa

Tämän opinnäytetyön aiheena on metanolin käyttöönotto polttoaineena moottoreiden koeajossa Wärtsilä Finland Oy:n Vaasan keskustassa sijaitsevassa yksikössä, jossa kyseistä polttoainetta ei ole aikaisemmin käytetty. Työ valmistui osana isoa projektia, jossa rakennettiin kokonaan uusi polttoaineen syöttöjärjestelmä metanolille. Työn tavoitteena oli luoda opas metanolin ominaisuuksista ja turvallisuusnäkökulmista henkilökunnalle sekä toimia koulutusmateriaalin pohjana.

Työssä laadittu ohjeistus ja koulutusmateriaali olivat myös edellytyksiä sille, että metanolin varastoinnille ja käyttöönotolle saatiin viranomaislupa.

Metanolin ominaisuuksiin ja käyttöturvallisuuteen liittyviin asioihin perehdyttiin kattavasti kirjallisuuden, internet -lähteiden ja lainsäädännön avulla. Metanolin syöttöjärjestelmän suunnittelu tapahtui projektin työryhmän kanssa projektipalaverissa ja turvallisuuden osalta lisätietoja hankittiin kirjallisista lähteistä.

Ominaisuuksiensa puolesta metanoli eroaa aikaisemmin käytössä olleista polttoaineista. Etenkin sen myrkyllisyys ja räjähdyskelpoisen ilmaseoksen muodostumisriski toivat paljon uusia suojaustoimenpiteitä aikaisempaan tilanteeseen verrattuna. Suurimpia haasteita projektissa olivat tarve varastoida metanolia sisätiloissa sekä oikeanlaisen palontunnistus- ja sammutusjärjestelmän rakentaminen.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	8
2	YRITYSESITTELY.....	9
3	METANOLI.....	10
3.1	Metanolin yleisiä fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia	10
3.2	Käyttö.....	11
3.3	Valmistustavat	12
3.4	Metanoli polttoaineena	14
3.4.1	Metanoli meripolttoaineena.....	16
4	TURVALLISUUS.....	19
4.1	Palo- ja räjähdysvaara	19
4.1.1	Tilaluokitus	20
4.1.2	Yhteensopivuus muiden kemikaalien kanssa	21
4.2	Metanolipalo.....	21
4.2.1	Metanolipalon sammutus	23
4.2.2	Vuotojen hallinta.....	24
4.3	Myrkyllisyys.....	25
4.3.1	Merkinnät.....	26
4.3.2	Työhygieeniset raja-arvot ja akuutin altistumisen raja-arvot (AEGL) 27	
4.3.3	Henkilösuojaimet	30
4.4	Ensiapuohjeet	31
4.4.1	Altistuminen hengitettynä	31
4.4.2	Altistuminen ihon kautta	31
4.4.3	Altistuminen silmäkosketuksen kautta	31
4.4.4	Altistuminen nielemällä	32

4.5	Metanolimyrkytyksen hoito.....	32
5	METANOLIN SYÖTTÖJÄRJESTELMÄ.....	33
5.1	Tankkaus ja varastointi	34
5.1.1	Tankkauspaikka	35
5.1.2	Säiliötila	36
5.2	Syöttöjärjestelmä.....	38
5.2.1	Putkiston vaatimukset.....	39
5.3	Turvallisuus	41
5.3.1	Vuotojen tunnistaminen	41
5.3.2	Liekkien tunnistaminen ja sammutusjärjestelmä	42
5.3.3	Henkilösuojaimet ja hätäsuihkut	44
5.4	Viranomaisluvut	46
5.5	Ohjeistus ja koulutus.....	47
6	JÄRJESTELMÄN SIIRTO UUTEEN LAITOKSEEN	49
7	YHTEENVETO	51
	LÄHTEET	55

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Metanoli CH ₃ OH (MI 2020, 11).	10
Kuva 2. Uusiutuvan metanolin tuotantotavat (Hobson 2018).	14
Kuva 3. Vesi-metanoliseoksen leimahduspiste (MI 2020, 144).	22
Kuva 4. CLP-asetuksen mukaiset varoitusmerkinnät.	27
Kuva 5. Suojavaatteiden sähköstaattisia ominaisuuksia sekä kuumuuden ja tulen suojaa koskevat symbolit (Tranemo).	30
Kuva 6. Havainnekuva syöttöjärjestelmän toimintojen sijoittelusta.	34
Kuva 7. Painelaitedirektiivin liitteen II mukainen taulukko 8.	40
Kuva 8. Kuvia sammutusharjoituksesta, Pohjanmaan pelastuslaitos.	44
Taulukko 1. Metanolin ominaisuuksia (TTL 2022).	10
Taulukko 2. Metanolin ja dieselin lämpöarvot (ETB).	15
Taulukko 3. Metanolin syttymiseen vaikuttavia ominaisuuksia (TTL 2022).	19
Taulukko 4. Henkilösuojaimet altistumisriskin tason mukaan.	45

LIITELUETTELO

LIITE 1. METANOLIN TANKKAUSOHJE

LIITE 2. HENKILÖSUOJAINTEN VALINTAOPAS

LIITE 3. METANOLIKOULUTUS

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on metanolin käyttöönotto polttoaineena moottoreiden koeajossa Wärtsilä Finland Oy:n Vaasan keskustassa sijaitsevassa yksikössä. Työ valmistuu osana isoa projektia, jossa suunnitellaan uusi polttoaineensyöttöjärjestelmä metanolia varten ja tavoitteena on tehdä mahdollisimman kattava opas metanolin käyttöönotosta polttoaineena koeajon henkilökuntaa varten.

Wärtsilän Vaasan tuotantolaitoksen koeajossa ei ole aikaisemmin ajettu moottoreilla, jotka käyttävät polttoaineena metanolia. Metanoli kuuluu ammoniakkin ja vedyn ohella uusiin vaihtoehtoisiin polttoaineisiin, joiden kehityksessä Wärtsilä on mukana. Koska kyseisellä laitoksella ei ole tällaista ajoa ennen tehty, vaati se kokonaan uuden järjestelmän rakentamista aina metanolin tankkauksesta sen syöttöön moottorille.

Metanolin lisäksi moottoreita voidaan ajaa myös kevyellä polttoöljyllä (LFO/diesel). Tähän ajoon valmius on jo olemassa, mutta uutta järjestelmää rakennettaessa täytyi molempien polttoaineiden käyttö huomioida. Tästä johtuen otan myös työssä esiin joidenkin metanolin ominaisuuksien osalta kevyen polttoöljyn vastaavia ominaisuuksia.

Työn toisessa ja kolmannessa luvussa on kerätty eri kirjallisista lähteistä kattava teoriapohja metanolin ominaisuuksista ja käyttöturvallisuuteen liittyvistä asioista. Varsinainen syöttöjärjestelmä on suunniteltu isossa projektitiimissä ja keräämäni teoria-aineisto toimi pohjana osallistumiselleni tiimin työskentelyyn. Neljännessä osassa käydään läpi tätä syöttöjärjestelmää ja rakenteita sen ympärillä. Työhön kuuluu lisäksi liitteiden muodossa sisäiseen koulutukseen valmistettua materiaalia, jota kokosin osana opinnäytetyötäni. Koulutuksen järjestäminen ja ohjeistuksen luominen olivat osana käyttöönotolle saatavan viranomaisluvan edellytyksiä.

2 YRITYSESITTELY

Wärtsilä on kansainvälinen yritys, jossa työskentelee tällä hetkellä 17 000 työntekijää 68 maassa. Wärtsilän toimialaan kuuluvat merenkulku- ja energiamarkkinoiden teknologiat ja elinkaariratkaisut. Vuonna 2021 Wärtsilän liikevaihto oli 4,8 miljardia euroa. Wärtsilä on listattu Nasdaq Helsinki pörssissä. (Wärtsilä 2022)

Wärtsilän pitkä historia alkoi Suomessa vuonna 1834, jolloin Tohmajärvelle rakennettiin sahamylly. Toiminta alkoi laajentua yritysostojen kautta konepajaksi ja moottorien valmistuksen aika alkoi 1940-luvulla saksalaisen Friedrich Krupp Germania Werft AG:n kanssa tehdyn lisenssisopimuksen kautta. Vuonna 1954 Wärtsilä teki päätöksen aloittaa oman dieselmoottorin suunnittelun Vaasassa ja vuonna 1959 ensimmäinen oma moottori käynnistettiin. Yli 180 vuotta myöhemmin Wärtsilä on maailman johtava toimija alallaan. Suurin moottorien tuotantolaitos sijaitsee Vaasassa, jossa alkuperäisen vanhan tehtaan toiminnot ovat parhaillaan siirtymässä vuonna 2022 valmistuneeseen uuteen Sustainable Technology Hub:iin (STH). (Wärtsilä 2022)

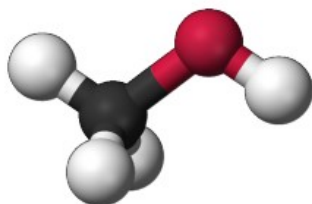
Nykypäivänä Wärtsilän eri sektorit: Wärtsilä Energy, Wärtsilä Marine Power, Wärtsilä Marine Systems ja Wärtsilä Voyage tarjoavat moottorien lisäksi kattavan valikoiman erilaisia teknologioita ja palveluja. Niiden alaan kuuluvat mm. propulsiojärjestelmät, pakokaasujen käsittelylaitteistot, vedenalaiset huoltopalvelut, voimalaitokset, energian varastointi- ja optimointijärjestelmät mukaan lukien GEMS-energianhallintajärjestelmä sekä digitaaliset teknologiat alusten ja satamien käyttöön. (Wärtsilä 2022)

Näiden lisäksi on Wärtsilä Portfolio Business, joka koostuu kahdesta itsenäisesti toimivasta alasta: Water&Waste, joka tarjoaa ympäristöratkaisuja, kuten jäteveden käsittelyä ja puhtaan veden tuotantoa sekä vesivoimaa ja turbiinihuoltotoimintaa tarjoava American Hydro. (Wärtsilä 2022)

3 METANOLI

3.1 Metanolin yleisiä fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia

Metanoli on yksinkertainen yksihiilinen alkoholi (Kuva 1.). Normaalissa lämpötilassa ja paineessa se on väritön neste (NTP 20 °C, 101,325 kPa). (MI 2020,8)



Kuva 1. Metanoli CH₃OH (MI 2020, 11).

Taulukko 1. Metanolin ominaisuuksia (TTL 2022).

Molekyyli massa	32,0
Tiheys	0,79 (vesi = 1) 20 °C:ssa
Sulamispiste	-98 °C
Kiehumispiste	65 °C
Höyrynpaine	12,8 kPa (96 mmHg) 20 °C:ssa
Höyryn tiheys	1,1 (ilma = 1)

Metanoli on tiheydeltään kevyempää kuin vesi, jäätyy vasta hyvin matalassa lämpötilassa ja haihtuu helposti (Taulukko 1.) Se liukenee muihin alkoholeihin, ketoneihin, estereihin, eetteriin ja useisiin muihin orgaanisiin liuottimiin sekä veteen kaikissa suhteissa. Metanoli on liuotin, joka liuottaa lakkoja, maaleja ja rasvoja sekä syövyttää muun muassa lyijyä ja alumiinia. (TTL 2022) Tämä tulee ottaa huomioon metanolisovellusten materiaalivalinnoissa.

3.2 Käyttö

Metanoli on yksi tärkeimmistä kemiallisten tuotteiden raaka-aineista ja sen ensisijainen käyttö onkin kemianteollisuudessa raaka-aineena, liuottimena tai apuliuottimena (Basile&Dalena 2017, 4). Metanoli kuuluu neljän kriittisen peruskemikaalin joukkoon eteenin, propeenin ja ammoniakkin kanssa. Näitä käytetään kaikkien muiden kemiallisten tuotteiden valmistuksessa (IRENA&MI 2021, 12). Metanolia käytetään etenkin formaldehydin ja etikkahapon valmistuksessa, joita puolestaan käytetään muun muassa resiinien, muovien ja polyesterin sekä vesipohjaisten maalien ja liimojen valmistuksessa (Clary 2013, 6). Lisäksi metanoli on raaka-aine kylmäaineille ja jäätymisenestoaineille sekä sitä käytetään typen poistossa jätevedenkäsittelyssä (MI 2020, 10).

Toinen merkittävä ja kasvava käyttötarkoitus metanolille, on sen käyttö polttoaineena. Sitä voidaan käyttää henkilö- ja tavaraliikenteen maantiekuljetuksissa sekä meripolttoaineena laivoissa (MI 2020, 10). Lisäksi sitä voidaan käyttää voimalaitoksissa lämmön ja höyryn tuotantoon sekä sähköntuotantoon kaasuturbiineilla (IRENA&MI 2020, 25). Metanoli toimii myös osana toisen polttoaineen, biodieselin, valmistusta esteröinnin avulla. Siinä metanoli reagoi triglyseridiöljyjen (kasviöljy, eläinrasva teurasjätteestä, käytetty paistorasva) kanssa muodostaen FAME:a (fatty acid methyl ester) ja glyseriiniä. (Klein 2020, 29). Metanolia käytetään myös vedyn kuljettajana polttokennoissa (MI2020, 10). Noin 60 % tuotetusta metanolista käytetään kemianteollisuudessa ja loput noin 40 % polttoaineena tai sen valmistuksessa (Schröder, Müller-Langer, Aakko-Saksa, Winther, Baumgarten & Lindgren 2020, 3).

Metanolia tuotetaan vuosittain noin 100 Mt (98 Mt vuonna 2019). Ennusteiden mukaan kysynnän odotetaan kasvavan siten, että se on 120 Mt vuonna 2025 ja 500 Mt vuonna 2050. (IRENA&MI 2021, 12)

Vuoden 2020 Covid-19-kriisiä ennen, metanolin tuotanto on kasvanut keskimäärin 7 % vuodessa vuosien 2015–2019 välisenä aikana. Juuri lisääntyvä

polttoainekäyttö on ollut keskimääräistä suuremman kasvun taustalla. IEA:n (International Energy Agency) ennusteen vuodelle 2025 mukaan, metanolin tuotantokapasiteetin kasvu tulee keskittymään Aasiaan ja Tyynenmeren alueelle, jossa on saatavilla edullisia raaka-aineita. (IEA 2021)

3.3 Valmistustavat

Metanolia voidaan valmistaa useista hiiltä sisältävistä raaka-aineista, kuten maakaasusta, kivihiilestä, biomassasta, eloperäisistä jätevirroista sekä kierrätetystä hiilidioksidista ja uusiutuvasta vedystä (MI 2020, 10; IEA 2021). Peruseräite kaikissa valmistusmenetelmissä on sama: ensin raaka-aineesta valmistetaan synteetikaasua, sitten tästä synteetikaasusta tehdään metanolisynteetin avulla raakametanolia, joka lopuksi puhdistetaan valmiiksi lopputuotteeksi, metanoliksi (Basile&Dalena 2017, 13). Synteetikaasu on sekoitus vetyä (H_2), hiilimonoksidia (CO) ja hiilidioksidia (CO_2) (Rostrup-Nielsen&Christiansen 2011, 3).

Tällä hetkellä synteetikaasu metanolin valmistukseen tuotetaan lähes yksinomaan fossiilisista raaka-aineista. Noin 65 % tuotetaan maakaasusta reformoinnilla, noin 35 % kivihiilestä kaasutuksen kautta ja vain noin 0,2 % uusiutuvista raaka-aineista. (IRENA&MI 2021, 32)

Reformointitapoja ovat muun muassa höyryreformointi, ATR (Auto Thermal Reforming) ja osittain hapettava kuivareformointi sekä näiden yhdistelmät. Nämä prosessit vaativat korkeaa lämpötilaa ($> 800\text{ °C}$) ja osa maakaasusta poltetaan tämän energian tuottamiseksi. (IRENA&MI 2021, 33). Ennen reformointia maakaasu puhdistetaan sellaisista komponenteista, kuten rikki, jotka saattavat myrkyttää katalyytin (Clary 2013, 3).

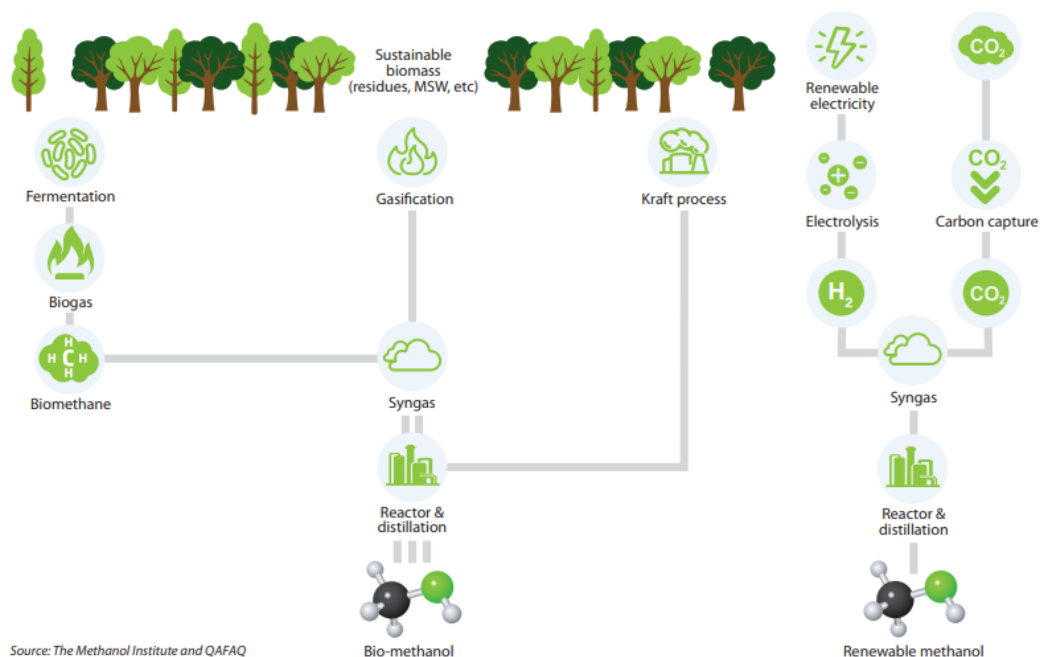
Kivihiilen kaasutuksessa yhdistetään osittainen hapettaminen ja höyrykäsittely korkeassa lämpötilassa, $800\text{-}1800\text{ °C}$, riippuen syötteestä. Kivihiili raaka-aineena edellyttää huomattavasti enemmän esikäsittelyä epäpuhtauksien (terva, pöly,

epäorgaaniset aineet) poistamiseksi verrattuna maakaasuun (IRENA&MI 2021, 33). Kivihiilipohjaista metanoli tuotetaan erityisesti Kiinassa, jossa on valtavat hiilivarannot. (Clary 2013, 3)

Synteesikaasu muutetaan metanoliksi katalyyttisellä prosessilla. Yleensä synteesi perustuu kupari, sinkkioksidi tai alumiinioksidi katalyytteihin. Lopuksi raakametanolitislataan prosessissa syntyneen veden ja muiden sivutuotteiden poistamiseksi. (IRENA&MI 2021, 33) Valmiin metanolin tulee täyttää yleensä tiukat puhtaus standardit (99,85%) (Clary 2013, 3).

Kuvassa 2. esitetään uusiutuvan metanolin tuotantotavat. Yleisimmät tavat biopohjaisen metanolin tuotantoon ovat kuivan biomassan (esim. jätetee, selluteollisuuden sivutuotteet, yhteiskuntajäte) kaasutus ja märän biomassan (esim. lannan, jäteveden, levän) anaerobinen mädättäminen tarvittavan synteesikaasun tuottamiseksi (Clary 2013, 4).

Metanolin valmistaminen fossiilisista raaka-aineista tuottaa enemmän elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä kuin kyseisten fossiilisten polttoaineiden suora käyttäminen. Esimerkiksi synteesikaasun valmistus maakaasun reformoinnilla kuluttaa maakaasua sekä raaka-aineena että prosessin vaatiman energian tuotannossa (IRENA&MI 2021, 33). Metanolin suurin etu tulevaisuuden polttoaineena nojaakin mahdollisuuteen valmistaa se uusiutuvista raaka-aineista, erityisesti ilmasta talteenotetun hiilidioksidin ja uusiutuvan sähkön avulla tuotetun vedyn kautta (Dr Liu Ming & Mr Li Chen 2021, 9) (Kuva 2.).



Kuva 2. Uusiutuvan metanolin tuotantotavat (Hobson 2018).

3.4 Metanoli polttoaineena

Metanoli on monikäyttöinen polttoaine, jota voidaan käyttää sellaisenaan, bensiiniin sekoitettuna, biodieselin tuotannossa tai MTBE:n (metyyli-tert-butyylietteri) ja DME:n (dimetyylietteri) muodossa. Metanolilla on korkea oktaaniluku (n. 110) (IEA-AMF), joten sitä voidaan käyttää suoraan bensiinimoottoreissa joko lisäaineena tai bensiinin sijasta. Etenkin Kiinassa maantiekuljetuksissa käytetään polttoaineena metanoliseoksia ja kiinalaiset autovalmistajat tarjoavat markkinoille ajoneuvoja, jotka käyttävät polttoaineena erilaisia bensiini-metanoliseoksia, kuten M15, M85 ja M100 (IRENA&MI 2021, 95; Schröder ym. 2020, 18). Euroopassa metanolin sekoitussuhde bensiiniin on pääsääntöisesti rajattu muutama prosenttiin (3 %) (IEA-AMF), sillä autoja ja polttoaineen jakelujärjestelmiä ei ole suunniteltu materiaaleiltaan metanolille sopiviksi (Schröder ym. 2020, 39; Klein 2020, 29).

Metanolilla on matala setaaniluku (3), korkea höyrystymisen latenttilämpö ja korkea itsesyttymislämpötila, jotka aiheuttavat viivästystä sytytykseen (SGS 2020, 11). Dieselmootoreihin metanoli soveltuu muun muassa, kun käytetään dieseliä metanolin pilottipolttoaineena tai lisätään sytytyksen parantajaa (MD95) metanolin joukkoon. DME:llä on korkea setaaniluku ja sitä voidaan käyttää dieselin korvikkeena. (IRENA&MI 2021, 25).

Metanolin täydellinen palaminen tuottaa vettä ja hiilidioksidia (Dr Liu Ming & Mr Li Chen 2021, 5). Valmistustapansa vuoksi metanoli on rikitöntä ja tuottaa palaessaan hyvin vähän typen oksideja (NO_x) ja olemattoman määrän pienhiukkasia (PM) (IRENA&MI 2021, 28). Koska metanolimolekyylissä ei ole hiilihiilidoksia, ei palossa pääse syntymään nokea (IEA-AMF 2020).

Metanolilla on huonompi lämpöarvo kuin dieselillä (LFO) (Taulukko 2.), joten saman suorituskyvyn saaminen edellyttää suurempaa määrää polttoainetta (SGS 2020, 11).

Taulukko 2. Metanolin ja dieselin lämpöarvot (ETB).

	Alempi lämpöarvo (LHV Lower heating value) (25°C, 101.325kPa)	Ylempi lämpöarvo (HHV Higher heating value) (25°C, 101.325kPa)
Metanoli	19.9 MJ/kg	23 MJ/kg
Diesel	42,6 MJ/kg	45,6 MJ/kg

Metanolilla on matala viskositeetti ja se voidaan helposti ruiskuttaa ja sekoittaa ilman kanssa. Voiteluöljyn lisäys on huomioitava metanolin huonojen voiteluominaisuuksien vuoksi. (SGS 2020, 11)

Metanolin epätäydellinen palaminen tuottaa formaldehydi- ja metaanihappopäästöjä (Schröder ym. 2020, 11). Käytettäessä korkeapaineisia dieselmoottoreita tämä on kuitenkin pienempi ongelma, sillä metanoli palaa tällöin formaldehydin muodostumiselle epäsuotuisassa korkeassa lämpötilassa (Dr Liu Ming & Mr Li Chen 2021, 6).

Metanolin käyttö suoraan olemassa olevissa hiilivetyperusteisille polttoaineille tarkoitetuissa järjestelmissä on haasteellista, koska se on polaarinen molekyyli, joka aiheuttaa korroosiota tietyille metalleille ja niiden seoksille samoin kuin elastomeereille ja polymeereille, joita yleensä käytetään näissä järjestelmissä. Epäsopiviin materiaaleihin kuuluvat fluorisilikoni (FVMQ), fluorikumi (FPM, FKM), hydrattu nitrilikumi (HNBR), neopreeni (CR), nitrilikumi (NBR), polyuretaani (PUR), polyvinyylikloridi (PVC) sekä metalleista alumiini, kupari, titaani, sinkki ja jotkin niiden seokset. (Schröder ym. 2020, 12) Metanolin on myös todettu ruostuttavan hiiliterästä ajan saatossa (Dr Liu Ming & Mr Li Chen 2021, 23).

3.4.1 Metanoli meripolttoaineena

Wärtsilällä on aikaisempaa kokemusta metanolimoottoreista. Stena Linen Stena Germanica on maailman ensimmäinen metanolia meripolttoaineena käyttävä matkustajalautta. Sen kapasiteetti on 1 500 matkustajaa ja 300 ajoneuvoa ja se seilaa välillä Göteborg, Ruotsi – Kiel, Saksa. (Stefenson)

Wärtsilä toimitti lautalle 4 x Sulzer 8ZA40S -päämoottorin metanolikonversiota. Muutoksen jälkeen moottoreita voidaan ajaa sekä dieselillä että metanolilla. Näiden moottorien testiversio ajettiin Wärtsilän tuotantolaitoksella Triestessä, Italiassa. Liikennöinti metanolipolttoaineella aloitettiin vuonna 2015.

Kokonaisuudessaan metanolijärjestelmän asennus Stena Germanicalle sisälsi painolastivesitankkien muutoksen metanolin varastotankeiksi, korkeapainepumpun metanolin syöttöön moottorille sekä tuplaseinäputkiston asennuksen näihin liittyvineen turvajärjestelmineen. (ABS 2021, 15)

Metanolin kiinnostavuus meripolttoaineena johtuu sen vähäisistä päästöistä verrattuna perinteisiin meripolttoaineisiin ja tätä kautta kykyyn vastata kiristuviin päästörajoituksiin. Rikittömyys ja hiili-hiilidosten puute vähentävät metanolin SO_x ja pienhiukkaspäästöjä. Myös NO_x päästöjä syntyy vähemmän metanolin palaessa, mutta IMO Tier III päästörajojen saavuttamiseksi pakokaasujen jälkikäsittely saattaa olla tarpeen. (ABS 2021, 15) Tähän liittyen MAN Energy Solution on tehnyt tutkimuksen, jonka perusteella veden lisäämisellä metanolin joukkoon voidaan alentaa palamislämpötilaa ja vaikuttaa NO_x : ien muodostumiseen palamisen aikana (MAN 2020).

Kuten metanolin valmistuksen yhteydessä esitettiin, tuotetaan metanoli tällä hetkellä lähes yksinomaan fossiilista polttoaineista ja pääasiassa maakaasusta, jota lisäksi poltetaan metanolin valmistuksessa energian tuottamiseksi. Kasvihuonekaasujen (CO_2 , CH_4 , N_2O) osalta metanolipolttoaine tuottaakin elinkaaren aikaisia päästöjä hieman enemmän kuin maakaasun (LNG) tai perinteisten meripolttoaineiden käyttö. Vastaavasti taas käyttämällä uusiutuvia raaka-aineita ja energiaa metanolin valmistukseen, nämä päästöt saataisiin laskemaan hyvinkin alhaiselle tasolle (DNV·GL 2016, 3).

Metanolin käyttö meripolttoaineena on suhteellisen helppoa ja infrastruktuurikulut ovat alhaiset. Koska metanoli on normaaliolosuhteissa nestemäinen ei se vaadi samanlaisia ominaisuuksia tankkaukselta, kuten esimerkiksi LNG (maakaasu on normaalipaineessa nestemäistä, kun lämpötila enintään $-163^{\circ}C$). Metanolia on jo tällä hetkellä saatavilla yli 100 isoimmassa satamassa. (IRENA&MI 2021, 31)

Varastointiin tuo eroa perinteisiin nestemäisiin meripolttoaineisiin (n. 42 MJ/kg) ja nesteytettyyn maakaasuunLNG:hen (48,6 MJ/kg) verrattuna metanolin alhaisempi energia sisältö (19,9 MJ/kg). Saman energiasisällön saamiseksi metanolin varastointi vaatii noin 2,5 kertaiset tilat. (ABS 2021, 2; ETB)

Metanolin biohajoavuus tekee siitä perinteisiä meripolttoaineita ympäristöystävällisemmän polttoaineen. Sen puoliintumisaika on yhdestä seitsemään päivää vesistöissä ja se hajoaa helposti sekä aerobisissa että anaerobisissa olosuhteissa. (Klein 2020, 11)

4 TURVALLISUUS

4.1 Palo- ja räjähdysvaara

Metanoli on palava neste, joka syttyy herkästi lämmön, liekkien, kipinöiden ja staattisen sähkön vaikutuksesta (TTL 2022). Palotilanteessa metanolista vapautuvat höyryt palavat. Höyryjen syttyvyyteen vaikuttavat aineen haihtuvuus nesteen pinnalta (metanolin höyrynpaine 12,8 kPa (96 mmHg) 20 °C:ssa) sekä syntyvän höyryn konsentraatio ilmassa ja sille määritellyt ainekohtaiset syttymisrajat. Taulukossa 3. esitetään metanolin syttymiseen vaikuttavia ominaisuuksia. Metanolin alempi syttymisraja on 5,5 vol-% ja ylempi 36,5 vol-%. (MI 2020, 132; TTL 2022) Tämä tarkoittaa sitä, että alemman syttymisrajan alapuolella olevalla pitoisuudella kaasuilmaseos ei pala, koska seos on liian laihaa ja yläpuolella kaasuilmaseoksen palaminen tukahtuu, koska seos on liian rikasta. Dieselillä vastaavat syttymisrajat ovat 1–6 vol-%.

Kokeellisella tutkimusmenetelmällä (c.c. closed cup tai o.c. open cup) nesteelle saadaan määriteltyä leimahduspiste, joka tarkoittaa sitä, että tässä lämpötilassa nesteen pinnalta alkaa normaalipaineessa haihtua niin paljon höyryä, että se muodostaa ilman kanssa syttymiskelpoisen kaasuseoksen. Metanolilla on alhainen leimahduspiste (11 °C (c.c.)). Tämä täytyy huomioida metanolin kuljetuksessa, käytössä ja varastoinnissa paloturvallisuuden kannalta. Dieselin leimahduspiste on yli 60 °C (SFS-Käsikirja 59).

Taulukko 3. Metanolin syttymiseen vaikuttavia ominaisuuksia (TTL 2022).

Leimahduspiste	11 °C
Syttymisrajat	5,5–36,5 vol-%
Itsesyttymislämpötila	385 °C

Käytännössä metanolin matala leimahduspiste saa aikaan sen, että metanolivuoto voi esimerkiksi laitoksen normaalitoiminnassa haihtua riittävästi muodostaakseen syttymiskelpoisen metanoli-ilmaseoksen. Metanolihöyryn suhteellinen tiheys on hieman ilmaa suurempi, 1,1 (ilma = 1). Tämän vuoksi metanolivuodosta vapautunut höyry voi sisätiloissa kulkeutua lattian tasalle ja kerääntyä ahtaisiin tuulettamattomiin tiloihin, kuten viemäreihin (MI 2020, 133–134).

Toisaalta taas kaasua tai höyryä, jonka tiheys ilmaan verrattuna on yli 0,8 mutta alle 1,2, pidetään joko ilmaa raskaampana tai kevyempänä riippuen vallitsevien paine- ja lämpötilaerojen aiheuttamista tiheysmuutoksista (SFS-Käsikirja 59). Suhteellisen lämpimissä olosuhteissa metanolista muodostunut höyrypilvi ei siis välttämättä kerääny matalille alueille, vaan voi myös nousta ylöspäin. Koska metanolihöyryn tiheys on niin lähellä neutraalia, on höyry taipuvainen seuraamaan ilman liikkeitä (MI 2020, 133).

Jos höyry kohtaa syttymislähteen, voi se syttyä pitkähköinkin matkan päässä päästökohdasta ja leimahtaa takaisin alkulähteelleen (MI 2020, 9). Metanolivuoto voi siis aiheuttaa räjähdysvaaran sisätiloissa ja tuulettamattomissa paikoissa, kuten viemäreissä (TTL 2022). Ulkona tuuli laimentaa tehokkaasti vuodosta syntyneen päästön, eikä vastaavaa tilannetta pääse yleensä syntymään.

4.1.1 Tilaluokitus

Palaviksi nesteiksi luokitellaan nestemäiset kemikaalit, joiden leimahduspiste on enintään 100 °C. Tiettyjen edellytysten täytyessä on palavan nesteen tai kaasun vuoksi räjähdysvaarallisiksi katsotuille tiloille tai alueille tehtävä tilaluokitus. Koska metanolin leimahduspiste on enintään 30 °C, tämä edellyttää tilaluokituksen tekemisen sellaisille metanolin käsittely- ja varastointitiloille, joissa on riskinä tämän räjähdyskelpoisen ilma-metanoliseoksen syntyminen. Tilaluokituksen avulla saadaan määriteltyä metanolijärjestelmän mahdollisten päästölähteiden ympärillä EX-alueet, jotka määrittelevät mm. tiloihin soveltuvat laitteet. (SFS-Käsikirja 59)

Laitteiden valintaan vaikuttaa niiden sopivuus tilaluokituksen mukaiseen tilaluokkaan, johon soveltuva laiteluokka määritellään ATEX-laitedirektiivissä (2014/34/EU) sekä aineominaisuuksien mukainen räjähdysryhmä ja syttymisryhmä. Metanolilla nämä ovat IIA (räjähdysryhmä) ja T2 (syttymisryhmä) (SFS-Käsikirja 59).

4.1.2 Yhteensopivuus muiden kemikaalien kanssa

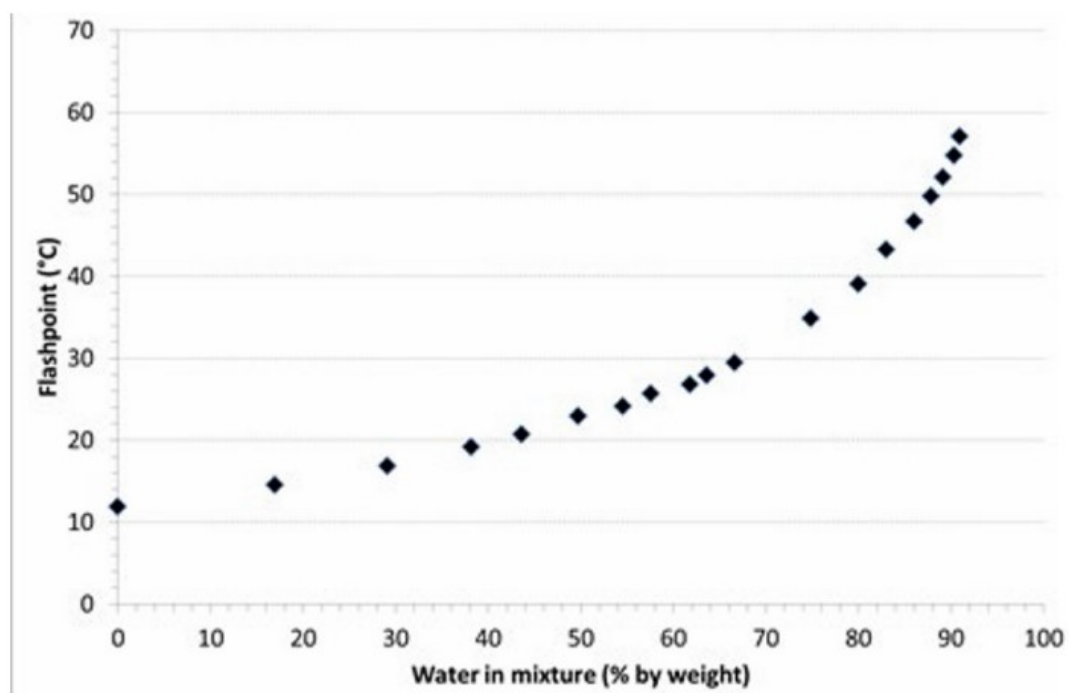
Metanoli reagoi voimakkaasti tiettyjen kemikaalien ja aineiden kanssa aiheuttaen palo- ja räjähdysvaaran. Näitä ovat erityisesti voimakkaat hapettimet (perkloorihappo, kromianhydridi, lyijyperklooraatti ja fosforitrioksidi) (TTL 2022). Tämä täytyy huomioida metanolin käsittelyssä ja varastoinnissa siten, että aineiden reagointi keskenään ei pääse tapahtumaan.

4.2 Metanolipalo

Kaikissa polttoainepaloissa vapautuu lämpöä ja useimmiten syntyy näkyviä liekkejä ja paljon savua. Puhtaan metanolin palo käyttäytyy eri tavoin. Metanolipalo tuottaa vähemmän lämpöä ja palaa heikosti vaaleansinisellä liekillä, joka on vaikea havaita päivänvalossa. Metanolin palaessa syntyy lisäksi vain vähän jäännöstuotteita, kuten nokea, joten myöskään savua ei synny. (MI 2020, 134–140) Noen puute johtuu siitä, ettei metanolissa ole hiili-hiilidoksia (IRENA&MI 2021, 28). Näkyvää savua alkaa muodostua yleensä vasta sitten, kun paloon yhdistyy ympäristöstä muuta palokuormaa.

Metanoli liukenee täysin veteen ja säilyttää syttyvyytensä suurillakin vesipitoisuuksilla. Metanoli-vesiseoksilla leimahduspiste riippuu veden määrästä. Kuvan 3. kuvaaja osoittaa metanolin leimahduspisteen muutoksen y-akselilla, kun vesipitoisuus seoksessa kasvaa x-akselin mukaisesti. Siitä nähdään, että liuos on syttyvää normaalissa huoneenlämmössä 35 vol-% vesiosuudella. Lämpimämpi polttoaine taas tuottaa enemmän höyryä. Yleisenä sääntönä voidaan pitää sitä, että liuos, jossa on 75 vol-% vettä ja 25 vol-% metanolia, on palava neste.

Paloturvallisuuden kannalta on lisäksi huomioitava, että vesipitoisuus vähentää säteilyä ja samalla liekkien näkyvyyttä entisestään puhtaaseen metanoliin verrattuna ja se, että metanoli on kemiallinen liuotin, joka täytyy huomioida sammutustavan valinnassa. (MI 2020, 9, 144)



Kuva 3. Vesi-metanoliseoksen leimahduspiste (MI 2020, 144).

Nämä ominaisuudet tulee ottaa huomioon, kun valitaan ratkaisuja tulipalon havaitsemiseen. Useimmiten tähän käytetään savuun, kuumuuteen tai liekkeihin reagoivia tunnistimia. Näkyvän savun puute hankaloittaa kuitenkin metanolin kohdalla savuvaroittimen käyttöä. Myös kuumuuteen perustuva tunnistus on haasteellista metanolipalon pienemmän lämmöntuotannon vuoksi ja hälytys saattaa tästä syystä viivästyä. Näitä voidaan kuitenkin käyttää suljetuissa tai matalakattoisissa tiloissa, joissa varoitin reagoi lämpöön nopeammin. Nopeaan palon havaitsemiseen hyvä keino on liekkien tunnistaminen. Metanolipaloille

sopiva tapa on infrapunatunnistus, joka havaitsee liekit infrapuna-alueella. Myös lämpökameran avulla voidaan tunnistaa metanolipalo. (MI 2020, 140–142)

Oleellinen osa palon havaitsemisjärjestelmää on vuotojen nopea tunnistaminen kaasuhaistelijoiden avulla, jolloin voidaan eristää vuoto ennen kuin syttymiskelpoisen metanoli-ilmaseoksen syntyminen aiheuttaa paloriskin (MI 2020, 140–142). Palavan nesteen höyryn pitoisuus ilmassa kemikaalien käsittely- ja varastointitiloissa ei saa ylittää 25 % LEL-arvosta (Vna 856/2012), joten haistelijat kalibroidaan antamaan hälytys ennen tämän pitoisuuden saavuttamista. Kaasuhaistelijat asennetaan mahdollisten vuotokohtien, esimerkiksi laippaliitosten läheisyyteen. Sijoittelussa tulee lisäksi ottaa huomioon metanolihöyryn mahdolliset kulkeutumissuunnat, joita käsiteltiin edellä tarkemmin.

Metanolilla on matala palamislämpö, 19,9 kJ/g, kun taas esimerkiksi dieselillä se on 42,6 kJ/g. Usein palavien nesteiden paloissa suuret määrät lämpöä siirtyvät liekeistä säteilyä ympäristöönsä. Metanolipalossa on heikommat liekit, joten vain noin 15 % lämmöstä leviää säteilyä ympäristöönsä. Metanolipalon massahäviö yhdessä matalan palamislämmön kanssa vapauttaa lämpöä noin 475 kW/m², joka on noin 1/3 dieselin vastaavasta (n. 1400 kW/m²). (MI 2020, 134–135; ETB)

4.2.1 Metanolipalon sammutus

Palon sammuttamisessa nopein keino on jauhe- tai hiilidioksidisammutusjärjestelmä. Jauhesammuttimien tulee olla luokkaan B (nestepalot) ja luokkaan C (kaasupalot) soveltuvia. Vesisumu- ja sprinklerijärjestelmät toimivat, mutta haasteena on se, että veden avulla metanolipalo sammuu vasta, kun metanoli on laimentunut riittävästi. Tämä vaatii riittävästi tilaa huomioon ottaen metanolin määrä, ja sen laimentamiseen tarvittava veden määrä, joka on vähintään nelinkertainen metanolin määrään nähden. Muuten riskinä on, että metanolipalo lähtee leviämään sammutusveden mukana muihin tiloihin. (MI 2020, 143–144, 147)

Vaahtosammutusjärjestelmät toimivat hyvin sammutuksessa, mutta on tärkeää huomioida, että metanoli vaatii alkoholinkestävää sammutusvaahtoa (AR-FFF). (MI 2020, 143-144, 159) Sammutusvaahto saadaan aikaan sammutusvedessä käytettävän sammutusvaahtonesteen avulla. Toimintaperiaate on joko veden pintajännityksen alentaminen, jolloin vesi tunkeutuu paremmin huokoiseen materiaaliin tai kalvon muodostamiseen nestemäisen kemikaalin päälle, jolloin nesteen höyrystyminen estyy. Alkoholinkestävät sammutusvaahdot muodostavat juuri tuollaisen kalvon. (TUKES 2019, 26) Tavallinen sammutusvaahto liukenee metanoliin.

Sammutusvaahdot saattavat sisältää ympäristölle haitallisia aineita, joten niitä ei saa johtaa jätevedenpuhdistamolle tai päästää ympäristöön, vaan vaahtoa sisältävä sammutusvesi täytyy kerätä talteen ja toimittaa asianmukaiseen jatkokäsittelyyn. (TUKES 2019, 26)

4.2.2 Vuotojen hallinta

Kaikilla metanolin käsittely-, tankkaus- ja varastointialueilla on riski metanolivuodon syntymiseen. Tämä edellyttää varautumista ja henkilökunnan koulutusta erikokoisten vuotojen hallintaan.

Pienten vuotojen keräys tehdään imeytysaineiden avulla. Metanoli voidaan imeyttää esimerkiksi hiekkaan tai reagoimattomaan kaupalliseen imeytysaineeseen (IS-VET 2018). Tarkoitukseen soveltuvat sekä imeytysrakeet että imeytysmatot. Myös kissanhiekka soveltuu imeytysaineeksi (MI 2020, 159). Palavia materiaaleja, kuten sahanpuruja, ei saa käyttää (IS-VET 2018). Imeytyksen jälkeen saastunut materiaali kerätään suljettuun tiiviiseen astiaan ja toimitetaan asianmukaisesti hävitettäväksi.

Suurien vuotojen hallinnassa metanolilammikko olisi hyvä peittää, jos mahdollista, alkoholinkestävällä vaahdolla, joka muodostaa kalvon nesteen pintaan ja estää metanolin höyrystymistä vähentäen näin tulipaloriskiä (MI 2020, 156). Myös

sumusuihkulla voidaan sitoa ja laimentaa metanolihöyryä, mutta se ei estä niiden syttymistä (TTL 2022). Suuren vuodon keräilyä ei tehdä itse, vaan alue evakuoidaan ja apuun pyydetään pelastuslaitos.

Sopivissa olosuhteissa voidaan vuodon keräys toteuttaa laimentamalla vuoto ensin vedellä paloriskin vähentämiseksi ja sen jälkeen imemällä laimennettu metanoli pois. Esimerkiksi, jos vuoto tulee metanolisäiliön vuotoaltaaseen ja allas on tilavuudeltaan niin suuri, että laimennus oikeassa suhteessa (vähintään 4 osaa vettä, 1 metanolia) onnistuu, voidaan käyttää tätä menetelmää.

Ympäristön kannalta metanolivuoto ei aiheuta vakavia vaikutuksia, eikä sitä ole voimassa olevien kriteerien perusteella luokiteltu ympäristölle vaaralliseksi kemikaaliksi. Ilmassa se hajoaa hydroksyyliiradikaalien vaikutuksesta ja sen puoliintumisaika on noin 18 vuorokautta. Vesiliukoisena se voi tulla sateen mukana alas. Metanolivuoto haihtuu nopeasti pintavesistä sekä maan pinnasta, mutta koska se ei sitoudu maa-ainekseen, se voi kulkeutua pohjaveteen. (TTL 2022) Joutuessaan maaperään, pintavesiin tai pohjavesiin, se laimenee nopeasti ja hajoaa biologisesti bakteerien vaikutuksesta. Hajoaminen tapahtuu sekä aerobisissa että anaerobisissa olosuhteissa ja aerobisissa olosuhteissa puoliintumisaika on noin viikko. (TTL 2020; MI 2020, 161) Metanoli on määritelty hyvin lievästi myrkylliseksi vesieliöille ja akuutit LC50-arvot ovat kalalle 8 530–29 000 mg/l (96 h) ja akuutit EC50-arvot vesikirpuille ovat 2 450–10 000 mg/l (48 h) (TTL2022).

4.3 Myrkyllisyys

Metanoli on myrkyllistä ihmiselle. Korkealle pitoisuudelle altistuminen voi johtaa sokeutumiseen, elinvarioihin tai jopa kuolemaan. Metanolille altistuminen voi tapahtua hengittämällä ilmasta metanolihöyryä, ihokontaktin ja silmien kautta tai nielemällä metanolia. Altistumistavasta riippumatta, myrkyllisyys ihmiselle on samantasoinen. Myrkytys aiheutuu metanolin aineenvaihdunta tuotteista, jotka

muodostuvat kuitenkin suhteellisen hitaasti. Myrkytysoireet eivät näy heti, vaan voi kestää jopa 8–36 tuntia ennen niiden ilmenemistä. (MI 2020, 51–55; KETSU)

Metanoli hajooa ihmisen aineenvaihdunnassa ensin formaldehydiksi, joka muuntuu formiaatiksi (muurahaishapon suoloiksi) ja lopulta hajooa hiilidioksidiksi ja vedeksi. Formiaatti on suurina pitoisuuksina myrkyllistä. (MI 2020, 54; KETSU)

Metanolissa on mieto alkoholimainen tuoksu. Työterveyslaitoksen OVA-ohjeen mukainen hajukynnys on 100 ppm (parts per million) (130 mg/m³). (TTL 2022) Hyväksytyjen hajukynnysten arvot vaihtelevat kuitenkin suuresti ja Methanol Instituten oppaan mukaan raportoidut arvot vaihtelevat 100–1 500 ppm:n välillä (MI 2020, 236). Variaatio ilmenee myös metanolinvalmistajien käyttöturvallisuustiedotteista. Haju varoittaakin huonosti terveysvaarasta, sillä metanolin pitoisuus ilmassa saattaa ylittää huomattavasti työhygieeniset raja-arvot, joita käsitellään tarkemmin jäljempänä, ennen kuin hajukynnys ylittyy.

4.3.1 Merkinnät

Euroopan parlamentin ja neuvoston kemikaalien luokitusta, merkintöjä ja pakkaamista koskevan asetuksen (EY) N:o 1272/2008 (ns. CLP-asetus) mukaan palavat nesteet luokitellaan kolmeen kategoriaan:

1. Palavat nesteet, joiden leimahduspiste on alle 23 °C ja kiehumisen alkamislämpötila ≤ 35 °C
2. Palavat nesteet, joiden leimahduspiste on alle 23 °C ja kiehumisen alkamislämpötila > 35 °C
3. Palavat nesteet, joiden leimahduspiste on ≥ 23 v ja ≤ 60 °C. Lisäksi tähän kategoriaan voidaan katsoa kuuluvan kaasöljyt, dieselpolttoaineet ja kevyet polttoöljyt, joiden leimahduspiste on 55–75 °C.

Metanoli kuuluu kategorian 2 palaviin nesteisiin. Sitä koskevat kuvassa 4. esitetyt CLP-asetuksen mukaiset varoitusmerkinnät sekä näihin varoitusmerkintöihin liittyvät vaaralausekkeet:

H225 – helposti syttyvä neste ja höyry

H331 – myrkyllistä hengitettynä

H311 – myrkyllistä joutuessaan iholle

H301 – myrkyllistä nieltynä

H370 – vahingoittaa elimiä (tai voidaan erikseen mainita kaikki tietyt kohde-elimet)

Myrkyllisyyttä kuvaavat vaaralausekkeen ovat vähimmäisluokitus. (TTL 2022)



Kuva 4. CLP-asetuksen mukaiset varoitusmerkinnät.

4.3.2 Työhygieeniset raja-arvot ja akuutin altistumisen raja-arvot (AEGL)

HTP (2022), (työpaikan haitalliseksi tunnettu pitoisuus) on pienin pitoisuus kyseistä ainetta työpaikan ilmassa, jonka on arvioitu aiheuttavan terveydellistä haittaa. Metanolille nämä arvot ovat:

200 ppm (270 mg/m³) /8 h (iho)

250 ppm (330 mg/m³) /15 min (iho)

Huomautus iho, tarkoittaa, että aine voi imeytyä haitallisessa määrin elimistöön ihon läpi. (TTL 2022)

Akuutin altistumisen raja-arvot (AEGL, Acute exposure guideline levels, USA) metanolille 10 ja 30 minuutin altistumisajalla ovat seuraavat (TTL 2022):

AEGL 1	väliaikainen arvo: 670 ppm (890 mg/m ³) / 10 min 670 ppm (890 mg/m ³) / 30 min
AEGL 2	väliaikainen arvo: 11 000 ppm (15 000 mg/m ³) /10 min* 4 000 ppm (5 300 mg/m ³) /30 min (*= pitoisuus ≥ 10 % alemmasta syttymisrajasta)
AEGL 3	väliaikainen arvo: 40 000 ppm (53 000 mg/m ³) / 10 min ** 14 000 ppm (19 000 mg/m ³) /30 min* (*= pitoisuus ≥ 10 % alemmasta syttymisrajasta) (**= pitoisuus ≥ 50 % alemmasta syttymisrajasta)

AEGL 1 raja-arvot ovat sellaisia pitoisuuksia kyseisillä altistumisajoilla, jolloin altistuneille henkilöille saattaa aiheutua huomattavaa haittaa, ärsytystä tai muita oireita, jotka kuitenkin lakkaavat altistumisen loppuessa, eivätkä ne aiheuta pysyviä vammoja. AEGL 2 raja-arvot ovat puolestaan pitoisuuksia, jotka näillä altistumisajoilla voivat aiheuttaa pysyvää, vakavaa ja pitkäaikaista haittaa tai oireita, jotka vähentävät kykyä suojautua altistumiselta. AEGL 3 raja-arvojen mukaiset pitoisuudet voivat taas aiheuttaa näillä altistumisajoilla hengenvaarallista terveyshaittaa tai kuoleman (AEGL 3). (TTL 2022)

Metanolihöyrypitoisuudet, jotka ylittävät selkeästi HTP-arvon, aiheuttavat päänsärkyä, väsymystä, pahoinvointia ja limakalvojen ärsytystä. Hyvin suurille, tuhansien ppm:ien pitoisuuksille altistuminen, aiheuttaa huumausta, keskushermosto-oireita ja ohimeneviä tai pysyviä näköhäiriöitä (näkökentän muutokset, kaksoiskuvat, jopa sokeus). Erittäin korkean, 50 000 ppm:n (66 000

mg/m³:n), pitoisuudelle altistuminen aiheuttaa kuoleman muutamassa tunnissa. (TTL 2022)

Metanolin aineenvaihduntatuotteet muodostuvat hitaasti, joten vaikutukset voivat olla kertyviä siten, että toistuva altistuminen HTP-arvon ylittävillä pitoisuuksille voi aiheuttaa oireita (TTL 2022). Tutkimusten mukaan lyhytaikainen altistuminen 200 pm:n pitoisuudelle ei aiheuta veren formiaattipitoisuuden kasvua (MI 2020, 54).

Suora ihokontakti aiheuttaa myös ihon kuivumista ja halkeilua ja suora silmäkontakti voi aiheuttaa sidekalvontulehduksen tai sarveiskalvon palovammoja. (MI 2020, 55)

Metanolin nieleminen saattaa aiheuttaa kuoleman jo 15 ml:n annoksella 40 vol% metanolia, mutta yleensä tappava annos on 80–150 ml. Ensimmäinen oire on tajunnantason lasku ja useiden tuntien (12–24 h) kuluttua alkavat muut oireet, kuten pahoinvointi, oksentelu, ohimenevä tai pysyvä sokeus, metabolinen asidoosi (elimistön happamoituminen), sekä maksa- ja munuaisvauriot. Jo 4 ml:n nieleminen metanolia on aiheuttanut pysyvän sokeuden. (TTL 2022)

Metanolin IDLH-arvoksi (Immediately Dangerous to Life and Health) on määritelty 6 000 ppm (NIOSH 2014). Metanolipalon havaitsemisen yhteydessä käsiteltiin kaasuhaistelijoiden käyttöä vuotojen tunnistamiseen ja paloriskin ehkäisemiseen. Metanolin alempi syttymisraja (LEL) eli pitoisuus, jolla ilma-metanoliseos on syttyvää, on 5,5 vol% (tai 6 vol% lähteestä riippuen). Tämä vastaa 55 000 ppm (tai 60 000 ppm). Kaasuhaistelijat tunnistavat pitoisuuden, joka vastaa 20–25 % LEL-arvosta. IDLH-arvon ollessa 6 000 ppm, vastaa se noin 10 % LEL-arvosta, eikä LEL-arvon mukaan kalibroituja kaasuhaistelijoita voida käyttää työhygieenisen pitoisuuden mittaukseen, vaan tätä varten tarvitaan omat haistelijat.

4.3.3 Henkilösuojaimet

Henkilösuojaimet valitaan altistumisriskin mukaan. Vähimmäisvaatimuksena suositellaan suojalaseja ja työhön sopivia suojakäsineitä. Suojakäsineiksi soveltuvat esimerkiksi kertakäyttöiset nitrilikäsineet tai silvershield -käsineet ja butyylikumikäsineet. Lisäksi palavia nesteitä käsiteltäessä työvaatteiden ja -jalkineiden tulee olla sähköä johtavia (TUKES 2021). Tietyissä tilanteissa voidaan tarvita myös hengityssuojainta tai kemikaalisuojapukua sekä kemikaalisaappaita ja hanskoja. (MI 2020, 59–61)

Suomessa myytävien henkilösuojainten on oltava CE-merkittyjä ja täytettävä henkilösuojainasetuksen (EU) 2016/425 tai henkilösuojaindirektiivin 89/686/ETY vaatimukset (TTL).

Työvaatteiden tulisi olla lisäksi palolta suojaavia (MI 2020, 61). Kuvassa 5. on suojavaatteiden sähköstaattisia- ja palonsuojausominaisuuksia ilmaisevat symbolit. Näitä ominaisuuksia koskevat standardit liittyen suojavaatteiden sähköstaattisiin ominaisuuksiin sekä standardit EN ISO 11612 ja EN ISO 14116 liittyen palonsuojausominaisuuksiin (Tranemo).



Kuva 5. Suojavaatteiden sähköstaattisia ominaisuuksia sekä kuumuuden ja tulen suoja koskevat symbolit (Tranemo).

Kun metanolihöyryn riski on korkea, on tarpeen käyttää hengityssuojainta. Ilmaa puhdistavat hengityssuojaimet, joissa on orgaaninen höyry (OVA) patruuna, eivät ole etenkin suljetuissa tiloissa sopiva suoja metanolihöyryjä vastaan. Tämä johtuu niiden lyhyestä käyttöiästä sekä siitä että metanolin vaihteleva hajukynnys (100–1 500 ppm) ei anna riittävää varoitusta, jos metanolihöyry pääsee

tunkeutumaan suojaimen läpi. Suositeltavaa on käyttää paineilmahengityslaitetta. (MI 2020, 59–60) Laitteen tulee olla EX-suojattu.

4.4 Ensiapuohjeet

Ensiapuohjeita metanoli-altistumisen varalle löytyy mm. metanolin käyttöturvallisuustiedotteista ja Työterveyslaitoksen OVA-ohjeesta. Alla on koottu eri lähteitä¹⁾ mukailleen ohjeet ensiaputoimenpiteisiin altistumistavan mukaisesti:

¹⁾ Käyttöturvallisuustiedote IS-VET Metanoli, Absor Oy; Methanol Institute: Safe Handling Manual; TTL Ova-ohje: Metanoli

4.4.1 Altistuminen hengitettynä

Metanolihöyryille altistunut henkilö tulee siirtää raittiiseen ilmaan ja pitää levossa. Hengitystä tulee tarkkailla ja jos hengitysvaikeuksia ilmenee, on kutsuttava välittömästi lääkintäapua. Vakavissa tapauksissa (esim. sydänpysähdys) tulee antaa elvyttää ja kutsua välittömästi apua.

4.4.2 Altistuminen ihon kautta

Altistunut alue täytyy huuhdella välittömästi runsaalla juoksevalla vedellä (15 min ajan) ja riisua heti likaantuneet vaatteet ja kengät. Tämän jälkeen altistunut alue pestään vielä huolellisesti veden ja saippuan avulla. Jos altistuminen on merkittävä tai ihon ärsytys/kipu jatkuu pesun jälkeen tai ilmenee myrkytysoireita, tulee hakeutua lääkärin hoitoon.

4.4.3 Altistuminen silmäkosketuksen kautta

Jos metanolia joutuu silmiin, tulee silmät huuhdella välittömästi runsaalla määrällä haaleaa vettä (silmäsuihku) vähintään 15 min ajan, mieluummin 30 min. Silmäluomet täytyy pitää erillään huuhtelun aikana, jotta silmän kaikki kudokset huuhtoutuvat vedellä. Jos altistuneella on piilolinssit, ne tulee poistaa, jos se vain on mahdollista. Huuhtelun jälkeen tulee hakeutua lääkärin hoitoon.

4.4.4 Altistuminen nielemällä

Metanolia niellyt henkilö tulee toimittaa välittömästi lääkärin hoitoon.

Metanolin nieleminen saattaa olla hengenvaarallista ja oireiden alkaminen voi tapahtua vasta 8–36 tunnin kuluttua nielemisestä.

4.5 Metanolimyrkytyksen hoito

Metanolimyrkytyksen hoitoon on useita vakiintuneita keinoja, kuten pistoksena annettava vastalääke sekä hoito emäksien, etanolin ja dialyysin avulla, joilla estetään metanolin myrkyllisten aineenvaihduntatuotteiden kertymistä ja muodostumista kehoon sekä edistetään niiden poistumista (MI 2020, 66). Esimerkiksi etanoli toimii vastamyrykkynä siten, että se estää formaldehydin muodostumista ja suurin osa metanolista erittyy sellaisenaan virtsaan (KETSU).

5 METANOLIN SYÖTTÖJÄRJESTELMÄ

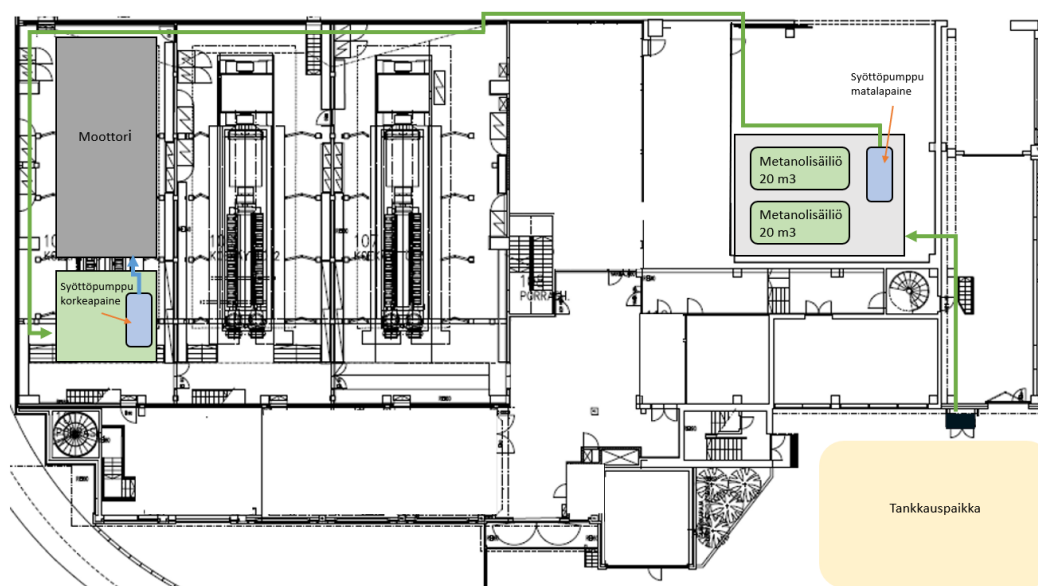
Wärtsilän moottoreiden koeajo tapahtuu laitoksen testiselleissä. Uuden polttoaineen syöttöjärjestelmän suunnittelu ja rakentaminen vanhaan teollisuuskiinteistöön sekä teollisuuskiinteistön sijainti kaupunkialueella toi projektiin paljon huomioitavia näkökulmia. Prosessin jokainen vaihe: tankkaus, varastointi sekä syöttöjärjestelmä putkistoinen ja toimilaitteineen, täytyi suunnitella erikseen ja/tai tehdä muutoksia olemassa oleviin järjestelmiin sekä käydä läpi näihin liittyvät turvallisuusnäkökulmat sekä luoda uudet ohjeistukset tai päivittää aikaisemmat käytännöt.

Metanolin syöttöjärjestelmän suunnittelun alkaessa oli tiedossa se testiselli, jossa metanolimoottori tullaan ajamaan. Tällä perusteella lähdettiin miettimään muiden toimintojen sijoitusta. Ensin suunniteltiin metanolisäiliöiden sijoituspaikka ja metanolin tankkaus näihin säiliöihin. Seuraavaksi määriteltiin putkilinjojen kulkureitit säiliöiltä moottorille ja varsinaisen syöttöjärjestelmän toimintojen sijoitus. Kuvassa 6. esitetään havainnollisesti tätä toimintojen sijoittelua.

Metanolin syöttöjärjestelmä säiliöistä moottorille koostuu karkeasti matalapainepumpusta, joka syöttää metanolin alle 10 bar paineessa korkeapainepumpulle. Korkeapainepumppu puolestaan nostaa metanolin paineen yli 500 bar:iin, jolla se syötetään moottorille. Järjestelmä on suunniteltu ensisijaisesti uusien W32-metanolimoottoreiden ajamiseen.

Varsinainen syöttölinja koostuu putkista ja venttiileistä sekä lämmönvaihtimista, suodattimesta, virtausmittarista ja paine- ja lämpötila-antureista. Matalapainepuolella putkisto on yksikertaista putkea ja korkeapainepuolella tuplaseinäistä putkea, jossa metanoli kulkee sisäputkessa ja mahdollinen vuoto jää sisä- ja ulkoputken väliseen tilaan. Lisäksi järjestelmään rakennettiin typpilinjat metanoliputkien huuhteluun typen avulla sekä mahdollisuus ajaa metanolilinjan kautta LFO:lla. Nämä ovat varokeinoja, joiden avulla saadaan poistettua metanoli järjestelmästä esimerkiksi mahdollisia huoltotoimenpiteitä varten.

Typpihuuhtelua varten järjestelmään kuuluu erillinen säiliö (drain tank). Se on täytetty valmiiksi vedellä siten, että sinne putkistosta huuhdeltu metanoli muodostaa veden kanssa niin laimean liuoksen, ettei sitä luokitella enää palavaksi nesteeksi. Syntyvä vesi-metanoliseos toimitetaan asianmukaiseen jatkokäsittelyyn.



Kuva 6. Havainnekuva syöttöjärjestelmän toimintojen sijoittelusta.

5.1 Tankkaus ja varastointi

Turvallisuuden kannalta on yleensä suositeltavaa sijoittaa vaarallisten kemikaalien säiliöt ulos (TUKES 2021). Vaihtoehtoisia paikkoja kiinteistön alueella ei kuitenkaan ollut kovin montaa. Sijoitusta mietittäessä jouduttiin huomioimaan ympäröivät toiminnot, liikenne ja välimatkat laitoksen alueella. Merkittäväksi tekijäksi nousivat myös tankkauspaikalle asetetut vaatimukset. Wärtsilän Vaasan keskustan yksikön toiminnot ovat siirtymässä Vaskiluodon uuteen Sustainable Technology Hub:iin (STH), joten yksi näkökulma suunnittelussa oli se, että järjestelmän käyttö jää väliaikaiseksi. Nämä tekijät huomioon ottaen, päädyttiin

sijoittamaan metanolisäiliöt sisälle rakennukseen tyhjäksi jääneeseen kokoonpanotilaan lähelle testisellejälle. Paikan läheltä löytyi myös sopiva, hieman kunnostusta vaativa, tankkauspaikka.

5.1.1 Tankkauspaikka

Kemikaalien tankkaus- ja tyhjennyspaikka tulee olla suunniteltu siten, että mahdolliset vuodot voidaan havaita ja kerätä talteen. Tämä järjestetään tekemällä kaadot ja allastus paikalle. Pitäisi pyrkiä välttämään sitä, että palava kemikaali pääsisi vuototilanteessa kerääntymään kuljetusauton alle. Allastuksen pitää olla riittävä suuri, jotta siihen mahtuu vähintään suurimman kuljetussäiliön tai sen osaston tilavuus. (TUKES 2019, 11; Vna 856/2012 4 luku 52§ 3 mom)

Vanha tankkauslaatta kunnostettiin metanolin tankkaukseen sopivaksi korottamalla alueen reunoja ja tiivistämällä laatta uudella tarkoitukseen sopivalla asfalttikerroksella. Laatalle tehtiin ensin mittauksia, joiden avulla todettiin reunojen korotustarve ja suunniteltiin kunnostus. Kuljetusyhtiöltä saadun tiedon mukaan, suurempi kuljetusauton säiliöistä on tilavuudeltaan 29 m³. Tankkauslaatan kallistukset johtavat valmiiksi viemärikaivoon, joka on varustettu sulkuautomatiikalla, jossa tankkauskaapin oven avaaminen sulkee viemärikaivon. Tällöin saadaan huolehdittua hulevesien hallinnasta tankkauslaatalta, mutta estettyä samalla metanolin pääsy viemäriin mahdollisen vuodon yhteydessä.

Säiliöauton tyhjennyspaikalla täytyy ottaa huomioon myös riittävät vaara- ja suojaetäisyydet alueen ympäröiviin toimintoihin, kuten rakennuksiin ja yleisiin liikenneväyliin nähden. Etäisyys tankkausalueen reunasta täytyy olla vähintään 5 metriä, kun rakennetaan uutta tankkauspaikkaa. (TUKES 2021)

Suunnittelutoimisto teki tankkaustapahtumasta seurausanalyysiin, jonka tulosten perusteella päädyttiin tekemään tiettyjä toimia vaarojen ehkäisemiseksi, kuten sulkemaan tankkausalueen läheltä kulkeva yleinen tie aina tankkauksen ajaksi mahdollisen tankkausonnettomuuden vaikutusten torjumiseksi. Lisäksi

palokonsultilta pyydettiin arvio viereisten rakennusten palosuojauksesta ja tehtiin niihin tarvittavia parannuksia.

Varsinaista tankkaustapahtumaa varten laadittiin ohjeistus, jossa on laitteiston käyttöohjeet sekä toimintaohjeet vaaratilanteita varten. Alueella ei ole erillistä kameravalvontaa, mutta valvonta hoidetaan siten, että laitoksen oma työntekijä on aina mukana tankkaustapahtumassa.

LIITE 1: METANOLIN TANKKAUSOHJE

5.1.2 Säiliötila

Prosessiin tarvittavan metanolin varastointiin valittiin kaksi noin 20 m³:n säiliökonttia. Säiliötilaksi suunniteltu vanha kokoonpanotila on tilavuudeltaan hyvin suuri. Palavan nesteen säilytystila täytyy rakentaa omaksi palo-osastoksi (Vna 856/2012 4 luku 36§ 2 mom) ja aluksi tarkoituksena oli tehdä koko tästä tilasta palo-osasto, mutta selkeämpänä ja varmempana ratkaisuna päädyttiin rakentamaan säiliöille oma palo-osasto ”huone huoneen sisällä” -periaatteella.

Huoneen rakenteellisessa palosuojauksessa noudatetaan asetuksen 848/2017 määräyksiä (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta). Suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös metanolin alhainen höyrystymislämpötila ja siitä aiheutuva räjähdysriski sekä mahdollisen tulipalon aiheuttama metanolisäiliöiden räjähdysriski (TUKES 2021; Vna 856/2012 4 luku 37§ 1 mom) Tämä huomioitiin rakentamalla tilaan yksi kevennytty seinä, jolloin räjähdystilanteessa paineen purkautuminen saadaan ohjattua haluttuun turvallisimpaan suuntaan. Paineen purkautuminen huomioitiin myös huoneen ilmastointikanavien suunnittelussa.

Kemikaalisäiliöt tulee vuotojen varalta sijoittaa allastettuun tilaan, erilliseen suoja- altaaseen tai vallitilaan, josta mahdolliset vuodot saadaan kerättyä pois. Tämän vuotosuojauksen tulee olla nestetiivis ja kestää varastoitavaa kemikaalia vähintään kahden vuorokauden ajan eli käytännössä viikonlopun yli. Vuotosuojaus

tulee palavien nesteiden kohdalla mitoittaa siten, että siihen mahtuu 110 % suurimman tilassa olevan säiliön tilavuudesta. Toiminnanharjoittajan täytyy myös pystyä osoittamaan rakenteen tiiviys esimerkiksi toimittajalta saatujen dokumenttien avulla. (TUKES 2019, 6)

Säiliöhuoneen allastus päätettiin toteuttaa teräsaltaalla, joka rakennettiin huoneeseen seinien teon yhteydessä. Vaihtoehtona mietittiin myös mm. epoksilla pinnoitettua betonirakennetta, mutta teräsallas tuli toteutuksen ja kustannustehokkuuden osalta järkevimmäksi ratkaisuksi. Vuotoaltaalle tehtiin erillinen vuototesti, josta saatiin tarvittava dokumentti.

Metanolin säiliökontit ovat vaarallisten aineiden kuljetukseen hyväksytyjä kuljetussäiliöitä. Kuljetussäiliöitä voidaan käyttää prosessiin kiinnitettyinä varastosäiliöinä, jos ne täyttävät samat turvallisuusvaatimukset kuin kiinteät säiliöt (TUKES 2019, 5). Tähän kuuluvat muun muassa säiliön nestepinnanvalvonta sekä ylitäytönesto (TUKES 2021).

Lisäksi säiliökontit on varustettava ilmaputkella, joka vie ulkoilmaan. Yli 10 m³ maanpäällisen säiliön, jossa on helposti syttyvää palavaa nestettä (leimahduspiste alle 21 °C), kuten metanoli, ilmaputki täytyy varustaa yli- ja alipaineventtiilillä tai liekinestimellä (Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös palavista nesteistä 15.4.1985/313 luku 6 54–55 §). Tähän järjestelmään laitettiin liekinestimet säiliöiden ilmaputkiin.

Toinen tapa kontrolloida tankin vapaaseen tilaan syntyvää höyryä ja ehkäistä tulipalon mahdollisuutta on tyhjän tilan täyttäminen inertillä kaasulla, kuten typellä. Tämä on erityisen käyttökelpoinen tekniikka silloin, kun metanolia säilytetään lämpötilassa, jossa säiliön vapaaseen tilaan on mahdollista syntyä sellainen metanoli-ilmaseos, joka on syttymisalueella. (MI 2020, 137)

Palavan nesteen varastoinnissa ilmanvaihdolle on asetettu tietyt vaatimukset (Vna 856/2012 4 luku 40§). Säiliötilaan rakennettiin oma koneellinen ilmastointi, jossa

poistoilma ohjataan tilasta rakennuksen katolle turvalliseen paikkaan. Poistoilmakanavat lähtevät sekä huoneen ala- että yläosasta, jolloin metanolihöyryn molemmat mahdolliset kulkusuunnat on huomioitu. Myös tuloilma jakautuu tilan ala- ja yläosaan ja koko tilassa vallitsee lievä alipaine.

Metanolisäiliöiden lisäksi säiliötilaan sijoitettiin säiliö kevyelle polttoöljylle (LFO) sekä syöttöjärjestelmän matalapainepumppu. Typpisäiliöt putkiston typpihuuhtelua varten sijoitettiin säiliötilan ulkopuolelle.

Metanolin ominaisuuksien vuoksi sen käsittely- ja varastointiloissa voi esiintyä räjähdyskelpoinen ilmaseos ja näille tiloille/alueille on tehtävä tilaluokitus. Tilaluokituksen perusteella koko tila tai tietyn kokoiset vyöhykkeet voivat muodostaa alueita, joissa on riskinä räjähdyskelpoisen ilmaseoksen syntyminen ja nämä on merkittävä asianmukaisin merkinnöin (EX-tila). EX-tiloihin sopivien laitteiden valintaan sovelletaan ATEX-laitedirektiiviä (2014/34/EU). Järjestelmän osat on yhdistettävä potentiaalitasaukseen ja maadoitettava, jottei staattinen sähkö aiheuta vaaraa (Vna 856/2012 5 luku 68§). Lisäksi tällaisissa tiloissa työskennellessä saa käyttää ainoastaan Ex-hyväksytyjä työkaluja ja laitteita sekä antistaattisia työvaatteita.

Metanolisäiliöiden miesluukkujen, syöttöpumpun sekä kaikkien laippaliitosten ympärille muodostuu tilaluokkien 1 ja 2 mukaisia vyöhykkeitä (SFS-Käsikirja 59). Samassa tilassa voi esiintyä siis eri tilaluokkia eri osissa, mutta koko säiliötila määriteltiin tilaluokkaan 1 kuuluvaksi, jolloin tämä tilaluokitus sekä aikaisemmin mainitut räjähdysryhmä (IIA) ja lämpötilaryhmä (T2) määrittävät laitteiden valintaa. Myös LFO:n aineominaisuudet huomioitiin valinnassa.

5.2 Syöttöjärjestelmä

Matalapainepumpulta syöttölinja jatkuu yhtenäisenä hitsattuna putkistona eri tilojen läpi aina testiselliin asti. Näin valmistettu putkilinja on tiivis, eikä mahdollisia vuotoriskin kohtia pääse syntymään. Selliin sijoitettiin

korkeapainepumppu, metanolisuodatin sekä lämmönvaihtimet polttoaineen jäähdystystä ja lämmitystä varten. Koko syöttöjärjestelmään säiliötilasta korkeapainepumpulle asti, kuuluu useita käsi- ja toimilaitteventtiileitä sekä instrumentteja mm. paineen ja lämpötilan tarkkailuun. Näiden osalta tehtiin sama tilaluokitus kuin säiliötilassa. Kaikki laippaliitoksilla kiinnitetyt komponentit metanolilinjassa aiheuttavat ympärilleen joko tilaluokan 1 tai 2 mukaisia EX-vyöhykkeitä. Pumpun osalta alue on huomattavasti muita laajempi, koska sen ympärille tulee tilaluokan 1 mukainen vyöhyke, jonka ympärille jatkuu vielä tilaluokan 2 mukainen vyöhyke. Selliin sijoitetut osat metanolijärjestelmästä päätettiin sijoittaa EX-alueen rajaamiseksi konttiin. Kontin sisäosa luokiteltiin kokonaisuudessaan tilaluokkaan 1, pääasiassa pumpun vuoksi, ja laitteet valittiin samojen perusteiden mukaan kuin säiliötilaan. Sellin puoleinen osa syöttöjärjestelmästä haluttiin lisäksi tehdä omaksi moduuliksi, joka helpottaisi järjestelmän siirtoa tulevaisuudessa ja moduulin sijoittaminen konttiin tuki myös tätä siirtomahdollisuutta.

5.2.1 Putkiston vaatimukset

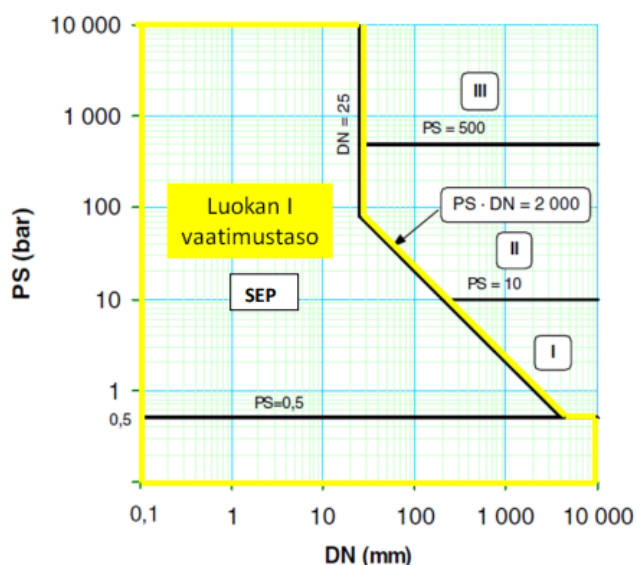
Kuten aikaisemmin käsiteltiin, ovat metanolijärjestelmän käyttöpaineet matalapainepuolella alle 10 bar ja korkeapainepuolella yli 500 bar. Painelaitesäädösten mukaan sellaisten painelaitteiden ja laitekokonaisuuksien suunnitteluun ja valmistukseen, joiden suurin sallittu käyttöpaine on yli 0,5 bar, tulee noudattaa painelaitteasetusta.

Painelaitteasetuksella (Vna 1548/2016) on implementoitu kansalliseen lakiin EU:n painelaitedirektiivi (2014/68/EU). Painelaitesäädöksissä on putkistoille määritelty luokat I-IV, siten korkeampaa lukua kohti vaara kasvaa sekä luokkien ulkopuolelle jäävä SEP eli hyvä konepajakäytäntö. Painelaitedirektiivin liitteessä II on 9 taulukkoa, joiden avulla voidaan putkikoon (DN) ja suurimman sallitun käyttöpaineen (PS) perusteella hakea oikea luokka. Oikea taulukko valitaan ensin painelaitteen tyyppin (säiliö, putkisto, kattila), sisällön (neste, kaasu) ja sisällön ryhmän eli vaarallisuuden perusteella. Luokkiin kuuluvien painelaitteiden on

täytettävä painelaitedirektiivin liitteen I olennaiset turvallisuusvaatimukset. (TUKES a)

Kemikaalilainsäädäntö tuo kuitenkin poikkeuksen tähän siten, että vaarallisten kemikaalien putkistoihin sovelletaan aina vähintään luokan I vaatimuksia, vaikka putkistot eivät varsinaisten painelaitesäädösten mukaan kuuluisikaan tämän luokan vaatimusten piiriin vaan jäävät SEP alueelle tai alle 0,5 bar:in rajan. Vaatimusluokkaa noudatetaan putkiston suunnittelussa, valmistuksessa ja tarkastuksessa. Näitä putkistoja ei kuitenkaan CE-merkitä. (TUKES 2017, 12)

Kuvan 7. taulukossa näkyvät luokat I-III sekä keltaisella kemikaalilainsäädännön tuoma poikkeus, jossa myös tällä alueella noudatetaan luokan I vaatimuksia.



Kuva 7. Painelaitedirektiivin liitteen II mukainen taulukko 8.

Painelaitteen luokan perusteella määräytyy vaatimuksenmukaisuuden arviointimenettely (moduuli tai moduuliyhdistelmä). Moduuleissa on kuvattu valmistajan ja tarkastuslaitoksen tehtävät ja velvollisuudet. Luokkaan I kuuluu

moduuli A, joka on näistä kevein menettely, eikä vaadi ulkopuolisen tarkastuslaitoksen osallistumista arviointiin. Tämä koskee siis painelaitesäännösten perusteella luokkaan I kuuluvia putkistoja sekä kemikaalilainsäädösten perusteella luokkaan I "nousseita" putkistoja. Moduulissa A valmistaja itse vakuuttaa putkiston täyttävän vaatimukset ja laatii moduulin edellyttämät tekniset asiakirjat, joiden perusteella vaatimuksenmukaisuus voidaan arvioida. Olennaisten turvallisuusvaatimusten täyttäminen voidaan osoittaa käyttämällä yhdenmukaistettuja standardeja mm. valmistuksessa ja materiaaleissa, mutta myös muut tavat ovat mahdollisia. Muissa luokissa tarvitaan lisäksi ulkopuolista tarkastuslaitosta. (TUKES a)

Valmistajan on tehtävä putkistolle CE-merkintä ja laadittava kirjallinen vaatimuksenmukaisuusvakuutus. Ei CE-merkittäville putkistoille laadita valmistajan vaatimuksenmukaisuusvakuutus. (TUKES a)

5.3 Turvallisuus

Opinnäytetyön 3 luvussa käytiin läpi metanolin käyttöturvallisuuteen liittyviä haasteita. Näihin varauduttiin järjestelmän suunnittelussa ja tulevan käytön kannalta erilaisin keinoin.

5.3.1 Vuotojen tunnistaminen

Metanolivuoto ja siitä syntyvä höyry saattavat aiheuttaa ilman metanolipitoisuuden kohoamisen. Riskinä on sekä myrkyllisen pitoisuuden saavuttaminen että räjähdyskelpoisen ilmaseoksen syntyminen. Tätä varten järjestelmään hankittiin kahden tyyppisiä kiinteästi asennettavia metanolihästelijoita, jotka asennettiin eri tiloihin sekä kytkettiin antamaan erilaisia hälytyksiä. Niiden sijoittelussa otettiin huomioon potentiaalisimmat vuotokohdat sekä metanolihöyryn mahdolliset kulkeutumissuunnat.

Toiset hästelija ovat nk. LEL-hästelijoita, jotka antavat hälytyksen, jos ilman metanolipitoisuus saavuttaa 20 % alemmasta syttymisrajasta (LEL) eli noin 11 000

ppm. Näiden haistelijoiden antamia hälytyksiä varten on tilojen ulkopuolelle lisätty punaisia hälytysvaloja sekä haistelijat on kytketty laitoksen kaasuhälytysjärjestelmään, jonka sireenit varoittavat lisäksi vaarasta.

Toiset taas ovat nk. ppm-haistelijoina. Ne ovat riittävän herkkiä mittaamaan 200 ppm:n pitoisuutta eli HTP 200 ppm / 8 h raja-arvoa ilmasta. Näiden antamia hälytyksiä varten tilojen ulkopuolelle lisättiin oransseja hälytysvaloja, jotka syttyvät, jos kyseisessä tilassa oleva ppm-haistelijä antaa hälytyksen. Lisäksi niiden antama hälytys näkyy valvomossa, josta käsin moottoreita ajetaan.

Näiden lisäksi hankittiin mukana kannettavia ppm-haistelijoina, jotka antavat hälytyksen ilman metanolipitoisuuden lähestyessä 200 ppm:n raja-arvoa. Näitä työntekijöiden tulee käyttää aina työskennellessä tiloissa, joissa metanolia voi esiintyä.

5.3.2 Liekkien tunnistaminen ja sammutusjärjestelmä

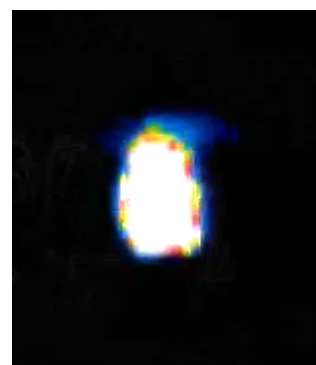
Metanolipalojen tunnistaminen on haasteellista lähes näkymättömän liekin, savun puutteen ja alhaisemman palolämmön vuoksi. Myös palon sammuttamiseen liittyy haasteita metanolin liuotinominaisuuden ja vesi-metanoliseoksen palavuuden vuoksi.

Säiliötilaan rakennettiin kokonaan uusi vaahtosammutusjärjestelmä ja koeajosellin järjestelmään vaihdettiin alkoholinkestävä sammutusvaahto. Sellin järjestelmästä haaroitettiin omat sprinklerit kontin sisälle. Sprinklerit laukeavat, kun kuumuus rikkoo niiden ampullit. Kuten teoriaosassa todettiin, pelkästään kuumuuteen reagoiva palon tunnistus on haasteellista. Nopean palon havaitsemisen varmistamiseksi tankkauspaikalle, säiliötilaan ja selliin asennettiin infrapuna-liekinilmaisimet. Havaitessaan liekin, ne antavat palohälytyksen ja tarvittaessa sammutusjärjestelmä voidaan laukaista käsin, vaikka sprinklereiden ampullit eivät olisi vielä reagoineet lämpöön. Näiden lisäksi hankittiin siirrettäviä vaahtosammuttimia, jotka sisältävät samaa alkoholinkestävää vaahtoa.

Wärtsilä ja Pohjanmaan pelastuslaitos järjestivät keväällä 2022 metanolin sammutusharjoituksen. Harjoituksen aikana kokeiltiin useita eri sammutusvaihtoehtoja. Metanolia poltettiin kahdessa altaassa, 1 500 l ja 50 l. Harjoitukseen osallistujat saivat kokeilla eri sammutusmetodeja, ja pelastuslaitos kuvasi harjoitusta droneilla ja lämpökameroilla.

Saadut havainnot tukivat teoriaosuudessa esitettyä sammutusvälineiden tehokkuutta:

- Jauhesammutus tukahduttaa metanolipaloa, mutta jauheen määrän tulee olla ilmeisen suuri, joten se soveltuu todennäköisesti parhaiten pienten palojen sammuttamiseen.
- Vesisammutus on haasteellista tarvittavan vesimäärän vuoksi. Metanolialtaat eivät olleet tilavuudeltaan riittävän suuria siihen, että harjoituksessa olisi voitu testata metanolin laimentamista nelinkertaisella vesimäärällä. Testimielessä metanolin sekaan ruiskutettu vesi ei saanut käytännössä minkäänlaista muutosta aikaan palossa, kun tilannetta tarkkailtiin lämpökameroilla:



- Palon sammuttaminen tavallisella sammutusvaahdolla meni ennako-odotusten mukaisesti eli sammutusvaahto ainoastaan liukeni metanoliin. Vaahto myös sai aikaan hetkellisesti heikosti näkyviä oransseja liekkejä eli se paloi osittain:



- Palon sammuttaminen alkoholinkestävällä vaahdolla muodosti odotetusti vaahtokerroksen metanolin pintaan. Tätä vaahtoa tulee kuitenkin suihkuttaa runsaasti, jotta palo varmasti tukahtuu. Levitetty vaahtokerros alkoi jonkin ajan kuluttua rakoilla altaan reunoilla ja palaminen alkoi näissä kohdissa uudelleen:



Kuva 8. Kuvia sammutusharjoituksesta, Pohjanmaan pelastuslaitos.

5.3.3 Henkilösuojaimet ja hätäsuihkut

Metanoli-altistuminen voi tapahtua ilmasta höyryä hengittämällä, roiskeiden tai höyryn imeytyessä ihon läpi tai silmien kautta sekä nielemällä metanolia.

Henkilösuojaimilla pyritään suojautumaan näitä altistumisreittejä vastaan.

Suojainten valintaan vaikuttaa ensisijaisesti metanolille altistumisen riskin taso.

Riskit jaoteltiin normaalin ja korkean riskin tasoon (Taulukko 4.). Normaalin riskin tilanne on sellainen, jossa metanolia saattaisi esiintyä, mutta höyryn ja roiskeen riski on kuitenkin matala. Korkean riskin tilanteessa taas metanolin tiedetään jo esiintyvän (esim. hälytys haistelijasta) tai tehtävä työ on sellainen, jossa esim. vuotoriskin tiedetään olevan korkea.

Taulukko 4. Henkilösuojaimet altistumisriskin tason mukaan.

Riskin taso	Normaali Metanolihöyryn riski matala / roiskeen riski matala	Korkea Metanolihöyryn riski korkea / roiskeen riski korkea
Suojaus	Antistaattinen, palon kestävä työvaatetus	Kemikaalisuojapuku
	Antistaattiset, umpinaiset työjalkineet	Antistaattiset kemikaalisuojasaappaat
	Suojakäsineet	Kemikaalihanskat
	Silmäsuojaus: sivusuojalliset suojalasit	Hengityssuojain: paineilmahengityslaitte (CABA/SCBA), koko maski

Työasu, umpinaiset työjalkineet, suojakäsineet ja silmäsuojat suojaavat yllättäviä roiskeita vastaan, kun muuten riskin metanoli-altistumiselle odotetaan olevan todella matala. Mukana kannettava henkilökohtainen haistelijä varoittaa ilman metanoli-pitoisuuden noususta ennen kuin se pääsee haitalliselle tasolle asti.

Yllättävien roiskeiden varalle on tankkauspaikalle, säiliötilan viereen ja selliin asennettu hätäsuihku. Koska metanoli imeytyy ihon kautta ja vaurioittaa silmiä, on ensimmäinen toimenpide näissä tilanteissa altistuneiden paikkojen runsas huuhtelu vedellä ennen hoitoon hakeutumista.

Jos työtilan metanolipitoisuuden nousu on jo tiedossa tai riski tälle on hyvin korkea, tulee käyttää täyttä kemikaalisuojavarustusta: suoja-pukua, saappaita sekä hanskoja. Paineilmahengityslaitteen koko maski suojaa silmiä ja hengitysilma maskiin tulee suodatettuna paineilmalinjasta metanolitilan ulkopuolelta.

Nielemällä metanolia tilastoidut metanolimyrkytykset liittyvät lähes yksinomaan epäpuhtaan alkoholin juomiseen. Työpaikalla nielemismyrkytys voisi teoreettisesti ehkä tulla ainoastaan tilanteessa, jossa metanolia suihkuaisi vuotavasta liitoksesta henkilön kasvoille. Tällaisessa tilanteessa toimittaisiin ensiapuohjeiden mukaisesti ja henkilö vietäisiin sairaalahoitoon.

Metanolin kanssa työskentelevälle henkilökunnalle on tarkempi ohjeistus siitä, millaisia varusteita eri työvaiheissa käytetään. Työvaiheiden metanolialtistumisriski on arvioitu ja valittu sillä perusteella vaadittava suojautumistaso. Tästä on tehty erillinen ohje henkilösuojainten valintaan.

LIITE 2: HENKILÖSUOJAINTEEN VALINTAOPAS

5.4 Viranomaisluvut

Käsiteltäessä ja varastoitaessa vaarallisia kemikaaleja tulee toiminnassa noudattaa kemikaalilaitoksia koskevaa lainsäädäntöä. Säädösten kautta pyritään ehkäisemään vaarallisista kemikaaleista johtuvia onnettomuuksia sekä ihmisille ja ympäristölle aiheutuvaa haittaa. (TUKES 2018, 3)

Toiminnanharjoittajan velvollisuudet määräytyvät toiminnan laajuuden mukaan. Toiminta on joko laajamittaista tai vähäistä riippuen kemikaalien määrän ja vaarallisuuden perusteella lasketusta suhdelvusta. Laajamittainen toiminta jaotellaan lisäksi lupalaitoksiin, toimintaperiaateasiakirjalaitoksiin sekä turvallisuusselvityslaitoksiin. (TUKES 2018, 6)

Wärtsilän Vaasan keskustan yksikkö on toimintaperiaateasiakirjalaitos. Tehtaalla varastoitavan metanolin määrän perusteella kemikaalien suhdeluku laskettiin

uudelleen ja varmistettiin, ettei tämä tuo muutosta laitoksen luokittelemiseksi turvallisuusselvityslaitokseksi.

Laajamittaista käsittelyä ja varastointia valvoo Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) ja vähäistä pelastuslaitos. Se tekee laitoksille määräaikaistarkastuksia tietyin väliajoin, toimintaperiaateasiakirjan laativiin laitoksiin yleensä kerran kolmessa vuodessa. (TUKES 2018, 8)

Kun laitoksessa toteutetaan muutoksia kemikaalien varastointimääriin tai kemikaalien tyyppiin, on otettava yhteyttä valvovaan viranomaiseen ja selvitettävä millaista lupakäsittelyä muutos vaatii. Ennen uuden toiminnan aloittamista on sille saatava käyttöönottolupa. (Backman E. 2022)

Kemikaaliluvan lisäksi on selvitettävä voiko muutos kemikaalien varastoinnissa tai tyypissä vaatia muutoksen olemassa olevaan ympäristölupaan. Tukes pyytää myös lupahakemuksen perusteella lausunnon paikalliselta pelastusviranomaiselta sekä ympäristöviranomaiselta ja heillä mahdollisuus osallistua käyttöönottotarkastukseen. (Backman E. 2022)

5.5 Ohjeistus ja koulutus

Ennen toiminnan aloittamista tulee metanolinsyöttöjärjestelmästä laatia käyttö- ja huolto-ohjeet operaattoreita varten ja järjestää riittävästi koulutusta itse järjestelmästä sekä metanolista kemikaalina. Annetun ohjeistuksen noudattamisen valvonta on toiminnanharjoittajan vastuulla. (Vna 856/2012 64 § 1. mom.)

Varsinaisen järjestelmän käyttökoulutus (venttiilien suunnat, pumppujen käyttö jne.) ja erilliset hätätilanneohjeet tehtiin muiden tahojen toimesta. Itse tein osana opinnäytetyötä edellä mainitut tankkausoppaan ja henkilösuojaisten valintaohjeen. Näiden lisäksi metanolista kemikaalina ja turvallisuuteen liittyvistä asioista pidettiin yleinen infotilaisuus kaikille laitoksessa työskenteleville henkilöille mukaan lukien alihankkijat ja yhteistyökumppanit sekä tarkempi

läpikäynti käyttöhenkilökunnalle. Valmistelin osana opinnäytetyötä materiaalia näihin tilaisuuksiin sekä osallistuin tilaisuuksien järjestämiseen.

LIITE 3: METANOLIKOULUTUS

6 JÄRJESTELMÄN SIIRTO UUTEEN LAITOKSEEN

Kuten aikaisemmin mainittiin, Wärtsilän Vaasan keskustan yksikön toiminnot ovat siirtymässä Vaskiluodon uuteen Sustainable Technology Hub:iin (STH). Tämän rakennetun metanolinsyöttöjärjestelmän käyttö jää siis väliaikaiseksi ja tarkoitus on siirtää se soveltuvin osin Vaskiluotoon jatkokäyttöä varten. Tankkauspaikalle tehdyt muutokset sekä säiliötilan palohuone jäävät käytöltään väliaikaisiksi. Samoin metanolisäiliöt ovat vuokrattuja, joten niiden siirto ei ole suunnitelmassa. Syöttöjärjestelmän osissa puolestaan on paljon siirtokelpoista materiaalia. Haasteeksi muodostuu varsinaiset putket ja putkistoon hitsaamalla liitetyt venttiilit.

Opinnäytetyön viimeiseksi osaksi muodostui järjestelmän läpikäynti siirtomahdollisuuksia silmällä pitäen. Olen projektin aikana luonut projektille laiteluettelon, jossa on listattuna kaikki järjestelmän osat. Kävin luetteloa läpi merkiten samalla siihen syöttöjärjestelmän osat, jotka on mahdollista siirtää ja käyttää uudelleen uudessa järjestelmässä. Lisäksi listasin turvallisuuteen liittyvät siirtokelpoiset komponentit. Järjestelmän siirtoon ja korvaavien osien rakentamiseen uudessa laitoksessa liittyy vahva taloudellinen intressi siirtoprojektin rahoitusta mietittäessä. Tämän selvittäminen ja kulujen arviointi etenkin nykyisessä markkinatilanteessa on haastavaa ja sen tutkimisesta syntyi kokonaan uusi opinnäytetyön aihe Wärtsilälle.

Yhteenveto siirrettävistä osista:

- Kontin moduuli sisältäen putket, venttiilit, anturit, lämmönvaihtimet, suodattimen ja korkeapainepumpun, lukuun ottamatta kontin läpi tulevaan metanolin syöttölinjaa ensimmäiseen kontin sisällä olevaan laippaliitokseen asti
- Matalapainepumppu
- Metanolisäiliöiden pinnanmittauksen instrumentit
- Metanolisäiliöiden hönkälinjan liekinestimet

- Veden ja vesi-metanoliseoksen siirtopumput
- LEL- ja ppm-haistelijat
- IR-liekinilmaisimet
- Säiliötilan vaahdosammutuslaitteisto
- Drain tankki.

7 YHTEENVETO

Polttoaineena metanoli vastaa ominaisuuksiltaan bensiiniä ja on suoraan käyttökelpoinen bensiinimoottoreissa, jos muut materiaalivalinnat tukevat sen käyttöä. Euroopan ulkopuolella, etenkin Kiinassa, metanolia käytetään polttoaineena maantieliikenteessä ja autovalmistajat tarjoavat markkinoille erilaisilla metanoli-bensiiniseoksilla ja puhtaalla metanolilla kulkevia autoja. Euroopassa juuri autojen ja jakeluasemien materiaalit muodostavat esteen laajemmalle käytölle ja seossuhde on rajattu 3 %:iin, sillä metanoli aiheuttaa usein korroosiota materiaaleille, joita yleensä käytetään näissä järjestelmissä. Suuremman mittaluokan moottoreissa, laivaliikenteeseen ja voimalaitoskäyttöön tarkoitetuissa, käyttö on suhteellisen uutta, mutta metanolin ominaisuuksista johtuva puhtaampi palaminen kasvattaa jatkuvasti kiinnostusta tätä kohtaan. Dieselmootoreissa metanolin käyttö polttoaineena edellyttää esimerkiksi pilottipolttoaineen käyttöä tai sytytyksenparantajan lisäämistä metanolin joukkoon.

Metanolin täydellinen palaminen tuottaa ainoastaan vettä ja hiilidioksidia. Valmistustapansa vuoksi metanoli on rikitöntä. Tämä on tärkeä ja kiinnostusta herättävä seikka etenkin meriliikenteen osalta, jossa pyritään löytämään ratkaisuja tiukentuviin päästörajoituksiin. Myös muut päästöt, typen oksidit ja pienhiukkaset, ovat hyvin vähäisiä metanolipolttoaineen pakokaasuissa, joka tukee entisestään sen kiinnostavuutta puhtaampana polttoaineena.

Suuremman mittaluokan käytössä metanolin huonompi lämpöarvo, alle puolet perinteisten meri- ja voimalaitospolttoaineiden lämpöarvosta, saa aikaan haasteita kasvavan polttoaineen kulutuksen vuoksi. Saman suorituskyvyn saaminen edellyttää huomattavasti suurempaa määrää polttoainetta ja vaikuttaa samalla polttoaineen varastointiin ja tankkaukseen. Toisaalta taas esimerkiksi nesteytettyyn maakaasuun verrattuna, joka on nestemäistä normaalipaineessa

vasta -163 asteen lämpötilassa, metanolin varastointi on helppoa, eikä vaadi säiliöiltä erikoisominaisuuksia.

Vielä tällä hetkellä metanolin valmistamiseen tarvittava synteetikaasu tuotetaan lähes yksinomaan fossiilisista polttoaineista. Ristiriitaa päästöjen näkökulmasta aiheuttaa etenkin se, että esimerkiksi maakaasun käyttö raaka-aineena johtaa myös maakaasun käyttöön valmistukseen tarvittavan energian tuottamiseksi ja lopputulos on se, että metanolin tuottaminen ja käyttö synnyttää enemmän elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä kuin puhtaan maakaasun polttaminen. Suurin ja mielestäni kiinnostavin etu metanolin käytössä onkin juuri mahdollisuus valmistaa synteettistä metanolia erityisesti ilmasta talteenotetun hiilidioksidin ja uusiutuvan sähkön avulla valmistetun vedyn kautta. Tällä tavoin tuotetulla metanolilla päästäisiin kasvihuonekaasupäästöjen osalta hyvin alhaiselle tasolle.

Opinnäytetyön valmistumisen loppuvaiheessa YLE julkaisi uutisen 4.10.2022, jonka mukaan Työ- ja elinkeinoministeriö päätti rahoittaa energiayhtiö ST1:n Lappeenrantaan suunnittelemaa metanolintuotantolaitosta 35 miljoonalla. Hankkeen kokonaisarvo on 125 miljoonaa euroa. Kyseessä olisi Suomen ensimmäinen uusiutuvan metanolin tuotantolaitos. Laitos käyttäisi metanolin raaka-aineina laitoksessa valmistettavaa uusiutuvaa vetyä sekä läheisen Finnsementin tehtaan savukaasuista erotettavaa hiilidioksidia. Ministeriön rahoituspäätös on vielä ehdollinen ja odottaa Euroopan komission hyväksyntää. Jos hanke etenee, olisi tavoitteena saada laitos toimintaan vuonna 2026. Se tuottaisi vuosittain 25 000 tonnia synteettistä metanolia, joka vastaisi suuren rahtilaivan vuoden polttoainetarvetta. Tämä olisi askel kohti synteettisen metanolin valmistusta kotimaassa ja jään suurella mielenkiinnolla seuraamaan kyseisen hankkeen etenemistä.

Ominaisuuksiensa puolesta metanoli eroaa melko paljon Wärtsilän Vaasan tuotantolaitoksen koeajossa aikaisemmin käytössä olleista polttoaineista, maakaasusta ja kevyestä sekä raskaasta polttoöljystä. Etenkin sen myrkyllisyys ja

räjähdyskelpoisen ilmaseoksen muodostumisriski toivat paljon uusia suojaustoimenpiteitä laitoksen aikaisempaan tilanteeseen verrattuna. Suurimpia haasteita projektissa olivat tarve varastoida metanolia sisätiloissa sekä oikeanlaisen palontunnistus- ja sammutusjärjestelmän rakentaminen.

Metanolin myrkyllisyys ihmiselle on samantasoista riippumatta siitä, tapahtuuko altistuminen hengityksen, iho- tai silmäkontaktin kautta vai nielemällä. Sopivien henkilösuojainten valinta eri työvaiheisiin nousi merkittäväksi tekijäksi turvallisuusnäkökulmien osalta. Metanolin kohdalla yhtenä haasteena voisi pitää myös vaihtelevaa hajukynnystä, jonka vuoksi metanolin tuoksu ei ole lainkaan riittävä varoitus vaarasta.

Metanolin matala leimahduspiste puolestaan saa aikaan sen, että jo laitoksen normaalissa lämpötilassa, voi metanolivuoto alkaa höyrystyä muodostaen räjähdyskelpoisen metanoli-ilmaseoksen. Metanolijärjestelmän ympärille muodostui paljon EX-alueita tai tiloja, joissa oleville komponenteille ja niissä työskentelylle asetetaan omat vaatimukset. Varastointi sisätiloissa taas vaati säiliötilan rakentamisen omaksi palo-osastokseen, jossa on erillinen ilmanvaihto.

Yksi metanolin haastavimmista ominaisuuksista turvallisuuden kannalta on metanolipalon havaitseminen. Metanoli palaa heikosti vaaleansinisellä liekillä, joka erityisesti päivänvalossa on käytännössä näkymätön ja tuottaa vähemmän lämpöä moniin muihin polttoaineisiin verrattuna. Liekin näkee tällöin ainoastaan lämpösäteilyn aikaansaamana värähtelynä ilmassa. Ilman hiili-hiilidoksia palosta puuttuu myös savu ja palo tulee kaiken kaikkiaan näkyväksi vasta yleensä silloin, kun paloon yhdistyy muuta palokuormaa ympäristöstä. Perinteisten savuun ja lämpöön reagoivien palotunnistimien käyttö ei välttämättä riitä, vaan nopeampaan palon tunnistamiseen tarvitaan myös esimerkiksi IR-liekinilmaisin.

Varsinaisen palon sammuttamiseen taas tuo haasteen se, että metanoli on täysin liukenevaa veteen ja säilyttää palavuuden hyvinkin suurilla vesipitoisuuksilla (75 % vettä, 25 % metanolia). Palon sammuttaminen vedellä vaatii näin ollen

moninkertaisen vesimäärän metanolin määrään nähden, jotta metanoli laimenee riittävästi. Tavallisilla sammutusvaahdoilla ei ole käyttöä metanolipalon sammuttamisessa, sillä ne hajoavat metanolin vaikutuksesta. Metanolipalo vaatii alkoholinkestävää sammutusvaahtoa, joka pystyy muodostamaan vaahtokerroksen metanolin pinnalle.

Yleisesti järjestelmän rakentamiseen toi haasteita projektin aikana vallitseva maailmanlaajuinen komponenttien ja materiaalin saatavuusongelma. Tämä pidensi toimitusaikoja merkittävästi siitä, mitä aikaisemman kokemuksen perusteella olisi osattu odottaa ja aiheutti haasteita muun muassa eri töiden ajoittamiseen ja yhteensovittamiseen. Samalla se viivästytti projektin valmistumista. Järjestelmän väliaikainen luonne otettiin mahdollisuuksien mukaan huomioon projektissa ja järjestelmän siirron suunnittelu taloudellisesta näkökulmasta sai aikaan myös uuden opinnäytetyön aiheen Wärtsilälle.

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda opas metanolin ominaisuuksista ja turvallisuusnäkökulmista henkilökunnalle sekä toimia koulutusmateriaalin pohjana. Työhön kerätyn materiaalin kautta tein ohjeistuksia ja osallistuin useiden koulutusten järjestämiseen, jotka olivat tärkeä osa metanolin käyttöönottoluvan hakemista. Samalla osallistuin viranomaisyhteistyöhön ja koko projektin läpiviemiseen, joten työn tavoitteet onnistuivat kokonaisuudessaan hyvin.

LÄHTEET

ABS. 2021. Sustainability Whitepaper: Methanol as Marine Fuel, February 2021. Viitattu 29.10.2022. <https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2021/02/Sustainability-Methanol-as-Marine-Fuel.pdf>

Backman E. Environmental Manager, HSE, Wärtsilä Finland Oy. Haastattelu. 31.10.2022

Basile A., Dalena F. 2017. Methanol: Science and Engineering. eBook. 1. painos. Elsevier.

Clary J.J. 2013. The Toxicology of Methanol. eBook. 1. painos. John Wiley & Sons, Inc.

DNV-GL. 2016. Use of Methanol as Fuel, Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility, International Maritime Organization. Report No.:2015-1197 Rev 2. Viitattu 9.10.2022. <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2020/04/IMO-Methanol-Marine-Fuel-21.01.2016.pdf>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/34/EU, annettu 26 päivänä helmikuuta 2014, räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäviksi tarkoitettuja laitteita ja suojausjärjestelmiä koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta (ATEX-laitedirektiivi)

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/68/EU, annettu 15 päivänä helmikuuta 2014, painelaitteiden asettamista saataville markkinoilla koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta (Painelaitedirektiivi)

Hobson C. 2018. Renewable Methanol Report. ATA Markets Intelligence S.L. on behalf of the Methanol Institute. Viitattu 29.10.2022. <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2019/01/MethanolReport.pdf>

International Energy Agency (IEA). Chemicals Tracking report- November 2021. Viitattu 16.4.2022. <https://www.iea.org/reports/chemicals>

International Renewable Energy Agency (IRENA) & Methanol Institute (MI)_ 2021. Innovation outlook Renewable Methanol. Viitattu 4.5.2021. file:///C:/Users/jni041/Downloads/IRENA_Innovation_Renewable_Methanol_2021.pdf

IS-VET. 2018. Käyttöturvallisuustiedote: Metanoli 59469. Versio 6.0 Päivitetty 16.3.2018. Viitattu 7.5.2022. <https://www.isvet.fi/ckeditor/plugins/fileman/Uploads/turvallisuustiedotteet/Metanoli.pdf>

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös palavista nesteistä 15.4.1985/313

Kemian työsuojeluneuvottelukunta (KETSU). Metanoli HTP-arvon perustelumuuisto. Viitattu 2.10.2022. <https://www.tyosuojelu.fi/documents/14660/6121633/Metanoli2005.pdf/559038f3-cc41-cba6-b32a-f1f603c5c52b>

Klein T. 2020. Methanol: A Future-Proof Fuel, A Primer Prepared for the Methanol Institute. Viitattu 29.10.2022. <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2020/03/Future-Fuel-Strategies-Methanol-Automotive-Fuel-Primer.pdf>

MAN Energy Solutions. Market Update Note 30 March 2020. Viitattu 29.10.2022. https://man-es.com/docs/default-source/marine/tools/introducing-the-lgim-w-principle.pdf?sfvrsn=a128e177_8

Methanol Institute (MI). 2020. Safe Handling Manual 5th Edition. Opas. Viitattu 13.2.2022. https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2020/03/Safe-Handling-Manual_5th-Edition_Final.pdf

Dr Liu Ming & Mr Li Chen. 2021. Methanol as a marine fuel – Availability and Sea Trial Considerations. Nanyang Technological University Singapore. Maritime Energy and Sustainable Development (MESD) Centre of Excellence. Viitattu 22.5.2022. <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2020/04/SG-NTU-methanol-marine-report-Jan-2021-1.pdf>

The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 2014. Methyl alcohol. Tarkistettu 4.12.2014. Viitattu 18.5.2022. <https://www.cdc.gov/niosh/idlh/67561.html>

Rostrup-Nielsen J. & Christiansen L. J. 2011. Concepts in Syngas Manufacture. Catalytic Science Series, vol. 10. Imperial College Press.

Schröder J, Müller-Langer F., Aakko-Saksa P., Winther K., Baumgarten W. & Lindgren M. 2020. Annex 56 Methanol as Motor Fuel Summary Report. Technology Collaboration Programme on Advanced Motor Fuels by IEA. Viitattu 29.10.2022. https://www.iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annex%20Reports/AMF_Annex_56.pdf

SFS-Käsikirja 59. 2012. Räjähdyksvaarallisten tilojen luokittelu. Palavat nesteet ja kaasut. 5. painos. Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.

SGS INSPIRE team. 2020. Methanol: Properties and Uses. Viitattu 22.5.2022. <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2020/03/SGS-INSPIRE-Methanol-Properties-and-Uses.pdf>

Stefenson P. Methanol: The marine fuel of the future. Stena Teknik. Viitattu 9.10.2022. <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2016/07/Updates-from-Stena-Germanica-Per-Stefenson.pdf>

Technology Colloboration Programme on Advanced Motor Fuels by IEA (IEA-AMF). Methanol. Viitattu 31.8.2022. https://www.iea-amf.org/content/fuel_information/methanol#general

The Engineering ToolBox (ETB) – Resources, Tools and Basic Information for Engineerin and Design of Technical Applications. <https://www.engineeringtoolbox.com/>

Tranemo. Viitattu 30.10.2022. <https://www.tranemoworkwear.fi/rajahdysvaarallinen-ymparisto>

TUKES. Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimuksenmukaisuuden arviointi. Viitattu 9.10.2022. <https://tukes.fi/-/painelaitteiden-suunnittelu-valmistus-ja-vaatimustenmukaisuuden-arvioin-1>

TUKES. 2017. Kemikaaliputkistojen turvallisuusvaatimukset. Opas. Viitattu 9.10.2022.

[file:///C:/Users/jni041/Downloads/Kemikaaliputkistojen%20turvallisuusvaatimukset%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/jni041/Downloads/Kemikaaliputkistojen%20turvallisuusvaatimukset%20(1).pdf)

TUKES. 2018. Vaaralliset kemikaalit teollisuudessa. Opas. Viitattu 30.10.2022. [file:///C:/Users/jni041/Downloads/Vaaralliset%20kemikaalit%20teollisuudessa%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/jni041/Downloads/Vaaralliset%20kemikaalit%20teollisuudessa%20(1).pdf)

TUKES. 2019. Kemikaalivuotojen ja sammutusjätevesien hallinta. Opas. Viitattu 27.2.2022.

<https://tukes.fi/documents/5470659/11781251/Kemikaalivuotojen+ja+sammutusj%C3%A4tevesien+hallinta+2019/332f5db1-54cd-aa85-2e0a-dd2b270f9a7a/Kemikaalivuotojen+ja+sammutusj%C3%A4tevesien+hallinta+2019.pdf?t=1574420128000>

TUKES. 2021. Vaarallisten kemikaalien käsittely ja varastointi. Opas. Viitattu 30.10.2022. <https://tukes.fi/vaarallisten-kemikaalien-kasittely-ja-varastointi>

Työterveyslaitos (TTL). 2022. OVA-ohjeet: Metanoli. Viitattu 29.10.2022. <https://www.ttl.fi/ova/metanoli>.

Työterveyslaitos (TTL) verkkosivut: Teemat – Henkilösuojaimet. Viitattu 5.5.2022. <https://www.ttl.fi/teemat/tyoturvallisuus/henkilonsuojaimet>

Valtioneuvoston asetus painelaitteista 1548/2016

Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012

Wärtsilä. Viitattu 28.10.2022. www.wartsila.com

YLE 4.10.2022. Pesu I. Korpela H. ”Ministeriö vahvisti rahoituspäätöksensä – uusiutuvan metanolin tuotantolaitos saa 35 miljoonan euron tuen Lappeenrannassa”. Artikkel. <https://yle.fi/uutiset/3-12645816>

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017