

Jukka-Pekka Wessman

Vety- ja polttokennoteknologian käyttöönottoon liittyvän lainsäädännön nykytila ja tulevaisuus

Opinnäytetyö

Merikapteeni

Merenkulun koulutusohjelma

2022



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Merikapteeni (AMK)
Tekijä/Tekijät	Jukka-Pekka Wessman
Työn nimi	Vety- ja polttokennoteknologian käyttöönottoon liittyvän lainsäädännön nykytila ja tulevaisuus
Toimeksiantaja	Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu (Xamk), Joel Paananen
Vuosi	2022
Sivut	52 sivua
Työn ohjaaja(t)	Joel Paananen

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, millaista lainsäädäntöä on olemassa vetypolttokennojen käyttöön ottamiseksi merenkulun sovelluksissa ja miten lainsäädäntö kehittyi tulevaisuudessa. Vastauksia kysymykseen etsitään IMO:n yleissopimuksista, IMO:n kokousten pöytäkirjoista, tieteellisistä tutkimuksista ja artikkeleista. Opinnäytetyö on osa Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Merenkulun megatrendit -projektia.

Polttokennoteknologian käyttöönottoon liittyy kahdenalaisia vaatimuksia: energiantuotantoon liittyvät vaatimukset ja polttoainekohtaiset vaatimukset. SOLAS-yleissopimus sisältää vaatimukset laivojen energiantuotantojärjestelmille ja IGF-koodi sisältää vaatimukset laivoilla käytettäviä matalan leimahduspisteen polttoaineiden käyttöä varten laivoissa. Kumpikaan em. IMO:n sopimukset ei sisällä ns. määrääviä sääntöjä vetypolttokennojen käyttöönottamiseksi laivoilla, joten vaihtoehtoinen suunnitteluprosessi on ainoa mahdollisuus edetä prosessissa. Vaihtoehtoinen suunnitteluprosessi korvaa tässä yhteydessä määräävät säännöt, joiden nojalla esimerkiksi perinteiset energiantuotantojärjestelmät asennetaan laivoihin. Sen avulla osoitetaan, että vetypolttokenno on yhtä turvallinen kuin konventionaalinen energiantuotantojärjestelmä.

Polttokennojen ja vedyn varastointiin liittyvien teknisten järjestelmien asentaminen edellyttää luokituslaitosten sertifiointiprosessia. Toisin sanoen järjestelmä tulee asentaa laivaan luokituslaitosten sääntöjen mukaisesti, ja sen jälkeen sille myönnetään ko. luokituslaitoksen sertifikaatti siitä. Tämä on tavallinen prosessi, joka suoritetaan kaikille laivoille suunnittelun ja rakentamisen yhteydessä. Tällä tavoin varmistetaan vetypolttokennoteknologian turvallisuus laivoilla.

Opinnäytetyön alussa määritettyihin tutkimuskysymyksiin löytyi kattavasti vastauksia. Niiden pohjalta voidaan tehdä johtopäätös, että polttokennojen laajamittainen käyttöönotto edellyttää asianmukaisen lainsäädännön laatimista. Lisäksi tarvitaan tutkimusta vedyn turvallisuuteen liittyen ja päivityksiä IMO:n sopimukseen, jotta saadaan yhdenmukaiset vaatimukset polttokennojen ja vedyn käyttöä varten merenkulun sovelluksissa.

Asiasanat: vety, polttokenno, ilmastonmuutos, IMO, SOLAS, IGF-koodi, luokituslaitos

Degree	Bachelor of Maritime Technology
Author (authors)	Jukka-Pekka Wessman
Thesis title	Current state and future of legislation related to the introduction of hydrogen and fuel cell technology
Commissioned by	Southern-Eastern Finland University of Applied Sciences, Xamk
Time	2022
Pages	52 pages
Supervisor	Joel Paananen

ABSTRACT

The objective of this thesis was to examine the legislation that exists for the introduction of hydrogen fuel cells in marine applications and how this legislation will be developed in the future. The topic has been generally addressed in the IMO conventions, protocols of IMO meetings, scientific studies and articles. The thesis is part of Maritime Megatrends project run by the Southern Eastern Finland University of Applied Sciences.

In general, there are two sets of requirements applied for the introduction of fuel cell technology: requirements for energy production and requirements for each fuel. The SOLAS Convention contains requirements for marine energy production systems, and the IGF Code contains requirements for the use of low flash point fuels on ships. The above-mentioned IMO conventions do not contain prescriptive rules for the introduction of hydrogen fuel cells in maritime applications so an alternative design process is the only way to move forward in the process. In this context, the alternative design process replaces the prescriptive rules of the installation of traditional energy production systems on ships and aims to demonstrate that a hydrogen fuel cell is as safe as a conventional power generation system.

The installation of technical systems related to fuel cells and hydrogen storage requires a certification process by classification societies. In other words, the system must be installed on board in accordance with the rules of a classification society and afterwards a classification certificate will be issued for the project. This is a standard process performed for all ships during design and construction. In this way, the safety of hydrogen fuel cell technology on board ships is ensured.

It can be concluded on the basis of this thesis study that a large-scale introduction of fuel cells requires the development of appropriate legislation. In addition, research into hydrogen safety and updates to IMO conventions as well as codes are needed to achieve harmonized requirements for the use of fuel cells and hydrogen in maritime applications.

Keywords: hydrogen, fuel cell, climate change, IMO, SOLAS, IGF Code, classification society

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	10
1.1	IMO:n ilmastostrategia.....	11
2	TUTKIMUSMENTELMÄT	12
2.1	Tutkimusmetodin kuvaus	12
2.2	Aineistonkeruumenetelmän kuvaus	12
2.3	Tutkimuskysymykset.....	12
3	LAINSÄÄDÄNNÖN NYKYTILA.....	13
3.1	Eurooppalainen viitekehys	13
3.2	Kansainväliset sopimukset	14
3.2.1	IMO - International Maritime Organization	14
3.2.2	MARPOL Annex VI	14
3.2.3	Ilmansuojeluliite (Annex VI)	14
3.2.4	SOLAS-yleissopimus	16
3.2.5	IGF-koodi	18
3.2.6	IGF-koodi, A-osa.....	18
3.3	Vaihtoehtoinen hyväksymisprosessi.....	19
3.3.1	Alustavan suunnitteluvaiheen hyväksyminen (Approval of Preliminary Design) 21	
3.3.2	Hankkeen lopullinen hyväksyntä (Final Approval of Alternative Design)	23
3.4	MARANDA-projekti	24
3.5	IMDG-koodi.....	27
3.6	Vetykennoteknologiaan soveltuvia standardeja	27
4	MIKÄ ON OHJEISTUKSEN NYKYTILA?	29
4.1	American Bureau of Shipping (ABS).....	31
4.1.1	Section 1: Dokumentointi	31
4.1.2	Section 2: Polttokennolaitteistojen suunnitteluperiaatteet	31
4.1.3	Section 3: Laivan järjestelyt ja asennusvaatimukset	33

4.1.4	Section 4: Polttoaineen jakelu ja putkistot.....	33
4.1.5	Section 5: Paloturvallisuus.....	35
4.1.6	Section 6: Sähköjärjestelmät	36
4.1.7	Section 7: Ohjaus, valvonta ja turvajärjestelmä	37
4.1.8	Section 8 ja 9: Katsastukset ja tarkastukset.....	39
4.2	Säätelyvaje	39
5	MITEN IMO AIKOO EDETÄ LAINSÄÄDÄNNÖN SUHTEEN?	42
5.1	Polttokennot.....	42
5.2	Vety	43
6	MITEN LUOKITUSLAITOKSET AIKOVAT EDETÄ OHJEISTUKSIEN SUHTEEN? ...	44
7	TUTKIMUSTULOKSET	45
7.1	Maissa käytettyjen vetysovelluksien soveltuvuus laivoihin	45
7.2	Johtopäätökset	45
	LÄHTEET.....	47
	KUVALUETTELO	

LYHENTEET JA NIIDEN SELITYKSET

- A-60 Kirjaimella A tarkoitetaan sellaista tulipaloa eristävää rakennetta (seinä, kansi), jonka vastakkaisen puolen seinässä keskilämpötila ei saa nousta yli 140 °C, eikä yli 180 °C missään vaiheessa tietyn ajan sisällä. Lisäksi eristävä rakenne tulee rakentaa palamattomista materiaaleista, kuten teräksestä tai vastaavasta materiaalista. Luku 60 tarkoittaa sitä, että eristävän rakenteen tulee kestää tulipaloa 60 minuutin ajan. (SOLAS 2020, 125–126.)
- CCC Sub-Committee of Carriage of Cargoes and Containers, meriturvallisuuskomitean (MSC) alakomitea, jonka tehtävänä on kehittää ja laatia erilaisiin vaarallisiin lasteihin liittyviä sääntelyehdotuksia MSC:n hyväksyttäväksi. Esimerkiksi IGF-koodin tarkistaminen ja kehittäminen kuuluu sen tehtäviin. (IMO 2021a.)
- CCC1-7 Sub-Committee of Carriage of Cargoes and Containers, meriturvallisuuskomitean (MSC) alakomitea. Numero kirjainyhdistelmän CCC perässä tarkoittaa kyseisen alakomitean kokouksen järjestysnumeroa. Esimerkiksi CCC7 tarkoittaa sen 7. kokousta.
- CH2 Compressed hydrogen, paineistettu vety.
- EEDI Energy Efficiency Design Index, energiatehokkuusindeksi tai standardi, jota sovelletaan 1.1.2013 ja sen jälkeen rakennettuihin uusiin laivoihin. Se asettaa rajat laivojen tuottamille hiilidioksidipäästöille tietyllä lastimatalla (tonni per kilometri). Näitä päästörajoja kiristetään asteittain, jotta alusten energiatehokkuus paranee. Varustamot ja alusten suunnittelijat saavat vapaasti valita ne teknologiat, joilla toteuttavat EEDI-vaatimukset suunnittelussa. (IMO 2018, 4.)
- ECA Emission Control Area, maantieteellinen päästörajoitusalue, jossa rajoitetaan typpi-, rikki- ja pienhiukkaspäästöjä. MARPOL-yleissopimuksen liitteen VI alaliitteessä on kuvattu kaikki maailman pääs-

törajoitusalueet koordinaattien avulla. Esimerkiksi Itämeri on tällainen päästörajoitusalue, jossa laivoissa käytettävän polttoaineen rikki- ja hiilipitoisuus on rajoitettu 0,10 %:iin. (MARPOL 2017, 270.)

- ERA Explosion Risk Analysis, riskianalyysin malli, jolla mitataan räjähdystä seuraavan paineen vaikutusta ympäristöön. Räjähdysriskien varalle tulee kehittää suojamenetelmiä, joilla riskit poistetaan tai minimoidaan. (MarHySafe 2021, 66.)
- FMEA Failure Mode and Effects Analysis, systemaattinen menetelmä, jossa tunnistetaan kaikki mahdolliset järjestelmän vikatilat sekä niiden vaikutukset ympäristöön. Analyysissa käydään systemaattisesti läpi kaikki järjestelmän komponentit ja niiden mahdolliset vikatilat ja seuraukset ympäristöön. Tältä pohjalta pyritään löytämään keinoja vikatilojen ehkäisemiseksi sekä mahdollisten vikatilojen vaikutusten minimoiseksi. (Tronstad ym. 2017, 89.)
- HCFC Hydro Chloro Fluoro Carbon, halogenoitu hiilivety, jota käytetään ns. kylmäaineena ilmastointilaitteissa, jääkaapeissa jne. Se on vähemmän haitallista otsonikerrokselle kuin esimerkiksi freonit. Aineen käyttö kiellettiin vuonna 2015. (Detector 2021.)
- HFC Hydro Fluoro Carbon, fluorihiihivety, jota käytetään ns. kylmäaineena ilmastointilaitteissa, jääkaapeissa laivojen kylmäkonteissa jne. Aine itsessään ei ole haitallista otsonikerrokselle, mutta reagoi bromin ja tai kloorin kanssa, siitä tulee haitallinen aine otsonikerrokselle. (Detector 2021.)
- HAZID Hazard Identification, vaarojen tunnistusmenetelmä (MarHySafe 2021, 64).
- HAZOP Hazard and Operability Study, poikkeamatarkastelu, jolla tunnistetaan tarkemmin prosessijärjestelmien riskejä (MarHySafe 2021, 64).

- IAPP International Air Pollution Prevention Certificate, on alukselle myönnettävä todistuskirja sen jälkeen, kun se täyttää MARPOL-yleissopimuksen liitteen VI vaatimukset. Todistuskirja on voimassa 5 vuotta, jonka aikana alukselle tehdyissä katsastuksissa vahvistetaan, että alus edelleen täyttää em. vaatimukset. (MARPOL 2017, 278–279.)
- IGF-koodi International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels, säännöstö, joka sisältää turvallisuusvaatimukset laivoille, jotka käyttävät polttoaineenaan kaasuja ja muita matalan leimahduspisteen polttoaineita. (Langfeldt 2017, 8.)
- IMO International Maritime Organisation
- LH2 Liquefied Hydrogen, nesteytetty vety
- LNG Liquefied Natural Gas, nesteytetty maakaasu
- MARPOL International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, kansainvälinen yleissopimus, joka sisältää määräykset laivoille meriympäristön saastumisen ehkäisemiseksi. (IMO 2021b.)
- MEPC Marine Environment Protection Committee, IMO:n alaisuudessa toimiva meriympäristön suojelukomitea, jonka tehtävänä on valvoa ja ehkäistä MARPOL-sopimuksen kattamista laivoista tulevia saasteita, kuten jätevedet, öljyt, roskat, kemikaalit ja painolastivedet. (IMO 2021c.)
- MSC Maritime Safety Committee, IMO:n alaisuudessa toimiva meriturvallisuuskomitea, jonka vastuulla on laatia lainsäädäntöä merenkulun teknisten sovellusten turvalliseen toimintaan liittyen. (IMO 2021d.)

POLTTOKENNO

Polttokenno on laite, jossa sähkökemiallisen reaktion avulla tuotetaan sähköä. Toimintaperiaate on käänteinen elektrolyysiprosessi.

Polttokennoon syötetään polttoainetta (vetyä) ja happea, joiden reaktiotuotteena syntyy sähköä, lämpöä ja vettä. (Wikipedia 2022a.)

QRA Quantative Risk Asesment, määrällinen riskianalyysin malli, jolla mitataan riskin todennäköisyyttä, esiintymistiheyttä ja vaikutuksia ympäristöön. (DNV 2022.)

REFORMERI

Reformeri on laite, jonka avulla vetypitoisesta polttoaineesta erotetaan vety polttokennoon syöttämistä varten. Esimerkiksi ammoniakki on tyypillinen vetypitoinen polttoaine. (HowStuffWorks 2021.)

SEEMP The Ship Energy Efficiency Management Plan, energiatehokkuuden hallintasuunnitelma, jonka avulla pyritään vähentämään laivojen päästöjä. Sen avulla laivan omistaja pystyy kartoittamaan laivasta tulevien päästöjen määrän. (Tronstadt ym. 2017, 53.)

SOLAS International Convention for the Safety of Life at Sea

VETY Vety on maailmankaikkeuden yleisin alkuaine. Tunnetuin vetyä sisältävä yhdiste on vesi (H₂O). Vety voidaan erottaa vedestä elektrolyysin avulla, ja siitä edelleen jäähdyttää (-253 °C) nestemäiseen muotoon. Vetykaasu on erittäin syttymisherkkä, ja siksi sen käyttöön laivojen polttoaineena tarvitaan huomattava panostus turvallisuuteen. (Wikipedia 2022b.)

1 JOHDANTO

Nykyiset ympäristön suojeluun kohdistuvat uudet vaatimukset ja määräykset pakottavat merenkulun toimialan muutokseen. Toisaalta polttokennoteknologian turvallinen käyttöönotto edellyttää asianmukaista lainsäädäntöä. Polttokennoteknologia ja matalanleimahduspisteen vähähiiliset polttoaineet voivat tarjota ratkaisun näiden vaatimusten täyttämiseen. Matalan leimahduspisteen polttoaineilla on valtava potentiaali panostaa merenkulun tulevaisuuden vähähiiliseen kestäväan kehitykseen. Erityisesti odotukset vetyä ja polttokennoja kohtaan ovat valtavat ja kunnianhimoiset. Sen täysimittaista kaupallistamista varten on panostettu paljon polttokennojen ja niiden infrastruktuuriin liittyvien asetusten, säännösten ja standardien koordinoimiseen. Lisää työtä tarvitaan, jotta lainsäädännölliset esteet saadaan poistettua matalan leimahduspisteen polttoaineiden (mukaan lukien vety) laajemman soveltamisen tieltä. (Tronstad ym. 2017, 50–51.)

Polttokennoteknologian avulla voidaan eliminoida typpi-, rikki- ja pienhiukkaspäästöt lähes kokonaan sekä vähentää huomattavasti hiilidioksidipäästöjä perinteiseen dieselmoottoriin verrattuna. Pitkällä aikavälillä polttokennon polttoaineena käytetään uusiutuvista hiilivapaista luonnonvaroista tuotettua ns. vihreää vetyä, jolloin päästään lähelle nollapäästöisiä aluksia. (Tronstad ym. 2017, 51).

Matalan leimahduspisteen polttoaineiden potentiaali merenkulun päästöjen leikkaamisessa tuo myös mukanaan huolenaiheita koskien niiden varastointia ja käyttöä aluksilla. Jotta matalan leimahduspisteen polttoaineet voidaan hyväksyä merenkulun polttokennosovelluksiin, niin tarvitaan tähän liittyvää sääntelykehystä. Tällä hetkellä ainut kansainvälinen sopimus em. liittyen on IGF-koodi. Se sisältää rakenteelliset ja käyttöön liittyvät vaatimukset aluksille, jotka käyttävät polttoaineenaan maakaasua (LNG tai CNG). Mahdolliset muut matalan leimahduspisteen polttoaineet ja polttokennot voidaan hyväksyä ns. vaihtoehdoisen suunnitteluprosessin (Alternative Design Approach) kautta.

Merenkulun polttokennosovellusten tulee täyttää kahdenlaisia vaatimuksia: 1) Energian tuotantojärjestelmien vaatimukset 2) ja Polttoainekohtaiset vaatimukset koskien polttoaineen käsittelyn komponenttien, putkistojen ja varastoinnin

suunnittelua ja järjestelyä laivalla. Tronstad (2017) esittelee tutkimuksessaan "Study on the use of fuel cells in shipping" näkökohtia, määräyksiä ja sääntöjä edelliseen liittyen. Lisäksi hän esittelee lainsäädännöllisiä esteitä, jotka vallitsevat polttokennojen käyttöönottoon liittyen merenkulussa. Edellisen lisäksi MarHySafe-yhteistyöprojekti (2021) tarkastelee vedyn käyttöön laivojen polttoaineena liittyviä haasteita. Tarvitaan edelleen työtä asetusten, määräyksien ja standardien kehittämisessä, jotta nämä esteet saadaan poistettua. (Tronstad ym. 2017, 52–54.) Tämä opinnäytetyö käsittelee nykyistä vety- ja polttokennoteknologian käyttöönottoon liittyvää lainsäädäntöä ja sen tulevaisuutta.

1.1 IMO:n ilmastostrategia

Kansainvälinen Merenkulkujärjestö (IMO) on sitoutunut kunnianhimoiseen tavoitteeseensa vähentää kasvihuonepäästöjä merenkulussa vaiheittain tämän vuosisadan aikana. Tämä on luokiteltu kiireelliseksi asiaksi IMO:n asialistoilla. Tämän tavoitteen kolme tasoa ovat seuraavat:

- 1) Aluksen hiili-intensiteetti laskee, kun energiatehokkuusindeksin (EEDI) lisävaiheet toteutetaan. Tämä tarkoittaa sitä, että energiatehokkuutta koskevat suunnitteluvaatimukset arvioidaan uudelleen, ja niitä kiristetään asteittain, jotta aluksen energiatehokkuus paranee.
- 2) Kansainvälisen merenkulun hiili-intensiteettiä pyritään laskemaan vähentämällä hiilidioksidipäästöjä keskimäärin 40 % vuoteen 2030 mennessä ja 70 % vuoteen 2050 mennessä. Hiilidioksidipäästöjen prosentuaaliset osuudet perustuvat vuoden 2008 päästötasoon.
- 3) Kansainvälisen merenkulun päästöhuippu tulee saavuttaa mahdollisimman pian. Vuotuisia kasvihuonepäästöjä tulee vähentää 50 % vuoteen 2050 mennessä vuoden 2008 päästötasoon verrattuna. Kasvihuonepäästöjä tulee pyrkiä vähentämään asteittain Pariisin sopimuksen lämpötilatavoitteiden mukaisesti (maksimissaan 2 asteen lämpötilan nousu). (IMO 2018, 6–7.)

2 TUTKIMUSMENTELMÄT

2.1 Tutkimusmetodin kuvaus

Tässä opinnäytetyössäni käytän kvalitatiivista eli laadullista tutkimusmenetelmää, koska pyrin selittämään todellisuutta kokonaisvaltaisesti. Kvalitatiivisen tutkimuksen lajeja on useita, joista parhaiten tähän tutkimukseen sopi ns. deskriptiivinen tutkimus. Siinä kuvaillaan todellista elämää niin kuin se oikeasti voidaan havaita. Tässä tapauksessa se tarkoittaa sitä, että kuvailen olemassa olevaa lainsäädäntöä niin kuin se on kirjoitettu. Kvalitatiiviseen tutkimukseen liittyy ns. saturaation käsite, joka tarkoittaa tutkittavan aineiston riittävää määrää. Aineistoa voidaan pitää riittävänä eli saturoituneena, kun samat asiat alkavat toistua aineistossa. (Hirsjärvi ym. 2009, 161–162.) Vetykennoteknologian käyttöönottoon liittyvän jo olemassa olevien säännösten ja ohjeistuksien selvittämiseen käytän ns. kartoittavaa kirjallisuuskatsausta. Se kuvaa aiheeseen liittyvää aiempaa tutkimusta, laajuutta, syvyyttä ja määrää (JAMK 2021).

2.2 Aineistonkeruumenetelmän kuvaus

Aineiston keräämistä varten loin IMO:n nettisivulle tunnukset, jotta pääsen kirjautumaan sisään IMO DOCS -sivustolle. Siellä oli dokumentteja IMO:n turvallisuuskomitean (MSC) kokouksista. Niistä dokumenteista löytyi tietoa vetykennoteknologian käyttöönottoon liittyvän lainsäädännön nykytilasta ja tulevaisuudesta. Lisäksi käytän IMO:n olemassa olevia sopimuksia ja säännöstöjä, kuten SOLAS, STCW, IGF-koodi. EU-direktiiveistä löytyy tähän aiheeseen soveltuva lainsäädäntöä. Ne löytyvät EU:n lainsäädännön nettisivuilta EUR-LEX. Lisäksi käytin XAMK:n kirjaston nettisivuilla olevaa Science Direct -toimintoa tieteellisten artikkeleiden etsimiseen.

2.3 Tutkimuskysymykset

Opinnäytetyö pyrkii vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

- 1) Mikä on vety- ja polttokennoteknologian käyttöönottoon vaikuttavan lainsäädännön nykytila merenkulussa?
- 2) Mikä on luokituslaitosten ohjeistuksien nykytila?

- 3) Miten IMO aikoo edetä lainsäädännön kehittämisessä?
- 4) Miten luokituslaitokset aikovat edetä ohjeistuksien kehittämisessä?

3 LAINSÄÄDÄNNÖN NYKYTILA

3.1 Eurooppalainen viitekehys

Euroopan Unionin ilmastopolitiikka on johtanut laivojen päästöjä hillitsevän lainsäädännön laatimiseen. Rikkidirektiivi (2012/33/EU) edellyttää, että 1. tammikuuta 2015 eteenpäin EU:n jäsenvaltioiden on valvottava, että Itämerellä, Pohjanmerellä ja Englannin kanaalissa purjehtivat laivat käyttävät polttoainetta, jonka rikkipitoisuus on enintään 0,10 %. Muilla Euroopan ja maailman merialueilla, pois lukien erityisalueet (SECA ja NECA), polttoaineen suurin sallittu rikkipitoisuus on 0,50 %. Korkeamman rikkipitoisuuden polttoaineiden käyttö, kuten raskaspolttoöljy (HFO), on yhä mahdollista, jos alukseen on asennettu ns. rikkipesurit (eng. scrubbers). (Tronstad ym. 2017, 53.)

Typenoksidien rajoitusalue (NECA) laajeni Itämerelle ja Pohjanmerelle 1.1.2021 alkaen. Laivojen typpipäästöjä tulee leikata 80 % vuonna 2000 käytössä olleiden moottorien typenoksidien päästötasosta. Asetusta sovelletaan uusiin aluksiin, ja sellaisiin käytössä oleviin aluksiin, joihin asennetaan uusia meridieselmoottoreita. (Traficom 2020.)

Hiilidioksidipäästöjä koskevat muutosehdotukset MARPOL-sopimukseen hyväksyttiin IMO:n kansainvälisen meriympäristön suojelukomitean (MEPC) kokouksessa (MEPC 70) vuonna 2016. Uusi asetus edellyttää kaikilta yli 5000 GT:n aluksilta polttoaineen kulutustietojen raportointia 1. tammikuuta 2019 alkaen. Kun paikallinen lippuvaltion merenkulkuviranomainen on vahvistanut, että suunnitelma polttoaineen kulutustietojen keräämisestä on sisällytetty SEEMP-ohjelmaan, niin kyseinen alus saa tästä todistuksen (Statement of Compliance). Vuotuinen polttoaineen kulutusraportti tulee lähettää lippuvaltion merenkulkuviranomaiselle, ja se tulee tarkistaa viimeistään seuraavan vuoden 1. kesäkuuta mennessä. Tämän jälkeen myönnetään uusi todistus tästä. (Tronstadt ym. 2017, 53.)

Samanaikaisesti Euroopan Komissio käynnisti samankaltaisen aloitteen ns. MRV-asetuksesta (Monitoring, Reporting and Verification). Sen tarkoituksena

on mitata ja vähentää merenkulun hiilidioksidipäästöjä. Asetus koskee kaikkia yli 5000 GT:n laivoja, jotka purjehtivat EU:n satamiin/satamista tai niiden välillä, ja hiilidioksidipäästöt on raportoitava vuosittain. (Tronstadt ym. 2017, 53.)

3.2 Kansainväliset sopimukset

3.2.1 IMO - International Maritime Organization

IMO on kansainvälinen merenkulkujärjestö, jonka vastuulla on laatia, käsitellä, hyväksyä ja ylläpitää merenkulun sopimuksia. IMO itse ei säädä lakeja, vaan laatii kansainväliset yleissopimukset, joiden pohjalta sen jäsenvaltiot ottavat ne osaksi omaa kansallista lainsäädäntöään. IMO:n yleissopimukset asettavat minimivaatimukset kansalliselle lainsäädännölle. Kansallisvaltiot voivat halutessaan säätää vielä tiukempia määräyksiä niiden lipun alla seilaaville aluksille. (IMO 2021e.)

3.2.2 MARPOL Annex VI

MARPOL-yleissopimus on tärkein kansainvälinen sopimus, jolla estetään laivojen tavanomaisesta toiminnasta ja onnettomuuksista seuraavaa meriympäristön saastumista. Vuonna 1973 hyväksytty MARPOL-yleissopimus ja vuonna 1978 hyväksytty pöytäkirja tulivat samanaikaisesti voimaan vuonna 1983. Myöhemmin vuonna 1997 osaksi MARPOL-yleissopimusta hyväksyttiin ns. ilmansuojeluliite (Annex VI), joka astui voimaan vuonna 2005. Se asettaa vaatimukset laivojen ilmansaasteiden hillitsemiseksi. (IMO 2021b.)

MARPOL-yleissopimuksen ilmansuojeluliite (Annex VI) asettaa rajoitukset laivojen rikkidioksidi-, typpioksidi- ja pienhiukkaspäästöille. Lisäksi se kieltää otsonikerrosta heikentävien aineiden tarkoituksellisen päästämisen ilmaan. Näillä määräyksillä halutaan parantaa ilmanlaatua rannikon tuntumassa. (IMO 2021b.)

3.2.3 Ilmansuojeluliite (Annex VI)

Ilmansuojeluliite (Annex VI), kolmas luku, sisältää päästörajoitukset laivojen ilmansaasteille. Otsonikerrosta heikentävien aineiden käyttö on kielletty la-

voilla, jotka on rakennettu 19.5.2005 jälkeen. HFC-yhdisteiden (Fluorihilive-
dyt) ja HCFC-yhdisteiden (Halonit) käyttö on kielletty laivoilla, jotka ovat raken-
nettu 1.1.2020 jälkeen. Kansainvälisen ilmansuojelutodistuskirjan (IAPP)
omaavien laivojen tulee pitää päiväkirjaa laitteista, joissa käytetään otsoniker-
rosta heikentäviä aineita. Lisäksi laivoissa, joissa on otsonikerrosta heikentä-
villä aineilla ladattavia järjestelmiä, tulee pitää päiväkirjaa niihin liittyen. Siihen
merkitään esimerkiksi em. laitteiden lataukset, tyhjennykset ja korjaukset.
(MARPOL 2017, 281.)

Laivojen typpioksidipäästöjä rajoitetaan kolmitasoisella järjestelmällä. Tasot
ovat Tier I, Tier II ja Tier III. Näiden tasojen typpipäästörajat perustuvat tiettyyn
grammamäärään per kilowattitunti (kWh) tietyllä moottorin kierroslukualueella.
Esimerkiksi Tier I asettaa 9,8 g/kWh -typpipäästörajoituksen moottorille, jonka
kierrosluku on yli 2000 rpm. Vastaava rajoitus Tier III:ssa on 2,0 g/kWh. Tier III
-rajoitukset ovat käytössä päästörajoitusalueilla (ECA), joita ovat esimerkiksi
Pohjois-Amerikan rannikko, Karibianmeri, Englannin kanaali, Pohjanmeri ja
Itämeri. (MARPOL 2017, 283–284).

Laivojen polttoaineiden rikkipitoisuusraja on kaikilla maailman merillä 0,50 %.
Päästörajoitusalueilla (ECA) vastaava raja on 0,10 %. Nämä alueet ovat Poh-
jois-Amerikan rannikko, Karibianmeri, Englannin Kanaali, Pohjanmeri ja Itä-
meri. Kun laiva saapuu päästörajoitusalueelle, niin sen on vaihdettava matala-
rikkinen polttoaine hyvissä ajoin ennen alueelle saapumista, jotta moottori ehtii
huuhdella korkeamman rikkipitoisuuden polttoaineet pois sen putkistoista. Em.
polttoaineen vaihtoprosessia varten laivalla on oltava kirjallinen manuaali,
jossa osoitetaan, miten polttoaineen vaihto toteutetaan. (MARPOL 2021, 285–
286.)

MARPOL-yleissopimuksen ilmansuojeluliite (Annex VI) rajoittaa myös tankki-
ja säiliöaluksien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) päästöjä. Näitä
päästöjä aiheutuu öljy- ja kemikaalitankkereiden lastioperaatioiden aikana, jol-
loin öljytuotteista haihtuu orgaanisia yhdisteitä ilmakehään. Näiden päästöjen
hallitsemiseksi laivoilla tulee olla hallintasuunnitelma. Lisäksi polttimien (in-
cinerator) aiheuttamia päästöjä on rajoitettu. MARPOL-yleissopimuksen liittei-
den I, II ja III sisältämien lastien jäänteiden poltto laivalla on kielletty. Näitä las-

tijäänteitä ovat esimerkiksi öljytuotteet, irtolastina kuljetettavat vaaralliset nestemäiset aineet ja meriympäristölle vaaralliset pakatut aineet. (MARPOL 2017, 287–289.)

Laivojen energiatehokkuudesta säädetään liitteen loppuosassa. EEDI-indeksi on otettu käyttöön uusien laivojen suunnittelussa, ja se on pakollinen kaikille laivoille, joiden kokonaisvetoisuus on 400 tonnia tai yli. EEDI määrittelee tietyn rajan hiilidioksidimäärälle kuljetun matkan aikana (tonni per kilometri). EEDI:n tarkoitus on kannustaa varustamoita käyttämään vähemmän saastuttavaa teknologiaa, jolla laivojen energiatehokkuutta edistetään. (IMO 2021f).

3.2.4 SOLAS-yleissopimus

SOLAS-yleissopimus on IMO:n kansainvälinen yleissopimus ihmishengen turvaamisesta merellä. Viimeisin ja uusin SOLAS-versio astui voimaan 1.1.2020. SOLAS-sopimus määrittelee kansainvälisesti hyväksytyt turvallisuuteen liittyvät minimivaatimukset laivojen rakenteelle, varusteille ja operoinnille. Lippuvaltioiden tulee valvoa näiden minimivaatimusten noudattamista laivoilla. (MarHySafe 2021, 31.) Esimerkiksi Suomessa SOLAS-sopimus hyväksyttiin osaksi kansallista lainsäädäntöä vuonna 1981 (Valtioneuvosto 2021).

SOLAS-sopimuksen alaisuudessa on lukuisia pakollisia säännöstöjä (Code), joissa on määriteltä tarkemmin tekniset minimivaatimukset tietyn tyyppisiä laivoja varten (MarHySafe 2021, 31). SOLAS Regulation II-1/Part G/57 toteaa, että matalan leimahduspisteen polttoaineita käyttävien laivojen tulee täyttää IGF-koodin vaatimukset (SOLAS 2020, 123). Näin ollen SOLAS-sopimuksen alaisuudessa oleva IGF-koodi antaa tarkemmat ja yksityiskohtaisemmat vaatimukset matalan leimahduspisteen polttoaineita käyttävien laivojen suunnittelulle, rakenteelle ja operoinnille.

Edellisestä kappaleeseen ikään kuin jatkumona SOLAS-yleissopimuksessa (SOLAS II-1/Part A-1/3.1) todetaan, että SOLAS-sopimuksen vaatimusten lisäksi laivojen tulee täyttää lippuvaltioiden hyväksymien luokituslaitosten rakenteelliset, mekaaniset ja sähkölaitteisiin liittyvät vaatimukset. (SOLAS 2020, 49.) Luokituslaitokset siis määrittelevät tarkemmat vaatimukset vetykennojen käyttöönotolle IMO:n sopimusten ja kansallisen lainsäädännön pohjalta.

Vetykennoteknologian käyttöönotto merenkulun sovelluksissa on mahdollista, jos vaihtoehtoisen suunnitteluprosessin kautta voidaan osoittaa, että se on yhtä turvallinen, luotettava ja vakaa kuin tavanomaisen öljykäyttöisen laivan energiantuotantojärjestelmä. SOLAS Regulation II-1/Part F/55 tarjoaa minimivaatimukset riskianalyysin suorittamiseksi, jolla em. vastaava turvallisuustaso voidaan osoittaa. Siinä on myös viite IMO:n kiertokirjeeseen (MSC.1/Circ 1455), joka tarjoaa yksityiskohtaiset ohjeet riskianalyysin suorittamiseksi. SOLAS Regulation II-1/Part F/55 tarjoamat minimivaatimukset ovat:

- 1) Asianomaisen aluksen tyyppin, koneiden, sähkölaitteiden, matalan leimahduspisteen polttoaineen varastointi- ja jakelujärjestelmien ja tilojen määrittäminen.
- 2) Niiden pakollisten vaatimusten tunnistaminen, joita koneistot, sähkölaitteistot ja matalan leimahduspisteen polttoaineen varastointi- ja jakelujärjestelmät eivät täytä.
- 3) Sen syyn tunnistaminen, miksi ehdotettu suunnittelu ei täytä määräyksiä, joita muut tunnustetut tekniset määräykset tai teollisuusstandardit tukevat.
- 4) Aluksen, koneiden, sähköasennuksen, matalan leimahduspisteen polttoaineen varastointi- ja jakelujärjestelmän tai asianomaisten määrättyjen vaatimusten kohteena olevien tilojen suorituskykykriteerien määrittäminen:
 - Suorituskykykriteerien on tarjottava turvallisuustaso, joka ei ole huonompi kuin SOLAS-sopimuksen osien C, D, E tai G sisältyvät määräykset.
 - Suorituskriteerien on oltava laskettavissa ja mitattavissa.
- 5) Yksityiskohtainen kuvaus vaihtoehtoisesta rakenteesta ja järjestelyistä, mukaan lukien luettelo suunnittelussa käytetyistä oletetuista ratkaisuista ja mahdollisista ehdotetuista toimintarajoituksista tai -olosuhteista.

- 6) Tekniset perustelut, jotka osoittavat, että vaihtoehtoinen rakenne ja järjestelyt täyttävät turvallisuusvaatimukset.
- 7) Riskinarviointi, joka perustuu ehdotettuun suunnitteluun liittyvien mahdollisten vikojen ja vaarojen tunnistamiseen. (SOLAS 2020, 121.)

3.2.5 IGF-koodi

IGF-koodi astui voimaan 1.1.2017. Se on pakollinen laivoille, jotka käyttävät polttoaineenaan kaasua tai muita matalan leimahduspisteen (alle 60°C) polttoaineita. Se sisältää yksityiskohtaiset vaatimukset vain maakaasua (LNG tai CNG) polttoaineenaan käyttäville laivoille. Nämä määräykset määrittelevät koneistojen ja polttoainejärjestelmien järjestelyihin, asennuksiin ja valvontaan liittyvät menettelytavat. Näiden määräysten tarkoitus on minimoida laivaan, miehistöön ja ympäristöön kohdistuvia riskejä. (Langfeldt 2017, 8.) Tarkennuksena vielä, että nämä määräykset eivät koske IGC-koodin piiriin kuuluvia laivoja (IGF Code 2017, 3). IGC-koodi on pakollinen säännöstö laivoille, jotka kuljettavat esimerkiksi nesteytettyä vetyä (LH2) lastina pakatussa muodossa.

Nykyisessä muodossaan oleva IGF-koodi sisältää tarkat ja yksityiskohtaiset määräykset vain nesteytettyä (LNG) ja paineistettua (CNG) maakaasua polttoaineenaan käyttäviä laivoja varten. Määräykset muita matalan leimahduspisteen polttoaineita varten ovat kehitysvaiheessa IMO:ssa. (IGF Code 2016, ix.) Vedyn käyttö laivojen polttoaineena edellyttää IGF-koodin vaihtoehtoista suunnitteluprosessia vedyn varastointi- ja jakelujärjestelmille laivoissa.

3.2.6 IGF-koodi, A-osa

IGF Code Part A/2.3 mukaan matalan leimahduspisteen polttoaineen, kuten vedyn, käyttö laivojen polttoaineena on mahdollista. Tämä edellyttää, että vaihtoehtoisen suunnitteluprosessin kautta osoitetaan, että vetykäyttöiset järjestelmät ovat yhtä turvallisia ja luotettavia kuin tavanomaiset öljykäyttöiset järjestelmät. SOLAS Regulation II-1/55 määrittelee riskienarvioinnin vaiheet, jotka on täsmennetty IMO:n meriturvallisuuskomitean kiertokirjeessä (MSC.1/Circ 1455). Tämä riskienarviointiprosessi vaatii kansallisen merenkulkuviranomaisen hyväksynnän. (MarHySafe 2021, 32.)

IGF-koodin A-osa, Regulation 3.2 esittää toiminnalliset vaatimukset (Functional Requirements) kaasua ja matalan leimahduspisteen polttoaineiden käyttöä varten. Seuraavassa muutama esimerkki näistä vaatimuksista:

- Matalan leimahduspisteen polttoaineen käyttö ei saa aiheuttaa vaaraa ihmiselle, laivalle ja ympäristölle.
- Vaaralliset alueet tulee eristää muista tiloista, ja niissä tulee olla kaasunilmaisimet.
- Koneistot, polttoainejärjestelmät ja yksittäiset komponentit tulee suunnitella, asentaa, operoida, huoltaa ja suojata siten, että turvallisuus laivalla varmistetaan.
- Yksittäinen vika järjestelmässä ei saa johtaa vaarallisiin tilanteisiin laivalla. (IGF Code 2016, 10.)

IGF Code/Part A/4 määrittelee vaatimukset riskiarvioinnille ja -analyysille, joiden avulla tunnistetaan mahdolliset vikatilat, jotka aiheuttavat vaaraa ihmisille, omaisuudelle ja ympäristölle. Lisäksi riskiarvioinnin tarkoitus on eliminoida tai minimoida räjähdysten seurauksia. Missä tahansa tapahtuva matalan leimahduspisteen polttoaineeseen liittyvä räjähdys ei saa vahingoittaa muissa tiloissa olevia laitteita tai järjestelmiä kuten päätaulua ja sähköjakelujärjestelmiä. Laivan turvallinen operointi ja ihmisten turvallisuus tulee varmistaa räjähdysvaarasta huolimatta. (IGF Code 2016, 11.)

3.3 Vaihtoehtoinen hyväksymisprosessi

IGF-koodi tarjoaa mahdollisuuden käyttää vetyä ja muita matalan leimahduspisteen polttoaineita, mikäli vaihtoehtoisen suunnitteluprosessin kautta osoitetaan tavanomaisia öljykäyttöisiä järjestelmiä vastaava turvallisuustaso. Vaihtoehtoisen suunnitteluprosessin haasteena on polttoainekohtaisen lainsäädännön ja aikaisemman kokemuksen puute sovellettaessa vetykennoteknologiaan. Lisäksi tämä on kallis ja pitkäkestoinen projekti, johon liittyy paljon epävarmuutta. Toisaalta etuna voidaan pitää sitä, että vaihtoehtoinen suunnittelu-prosessi antaa mahdollisuuden täysin uusien innovaatioiden kehittämiseksi yk-

sityiskohtaisten ohjeiden puuttuessa. Nämä projektit antavat arvokasta kokemusta sääntelytyötä tekeville elimille kuten IMO:lle ja luokituslaitoksille. (MarHySafe 2021, 33.)

IMO tarjoaa menetelmät vaihtoehtoiselle suunnitteluprosessille dokumentissa "Guidelines for the approval of alternatives and equivalents as provided for in various IMO instruments" (MSC.1/Circ 1455, 2013). Tämä on yleinen prosessi, jota voidaan soveltaa muihinkin teknisiin ratkaisuihin kuin vetyyn tai polttokennoihin. Esimerkiksi 1990-luvun alkupuolella sitä sovellettiin risteilyaluksien palontorjunta- ja evakuointijärjestelmiin (MarHySafe 2021, 33).

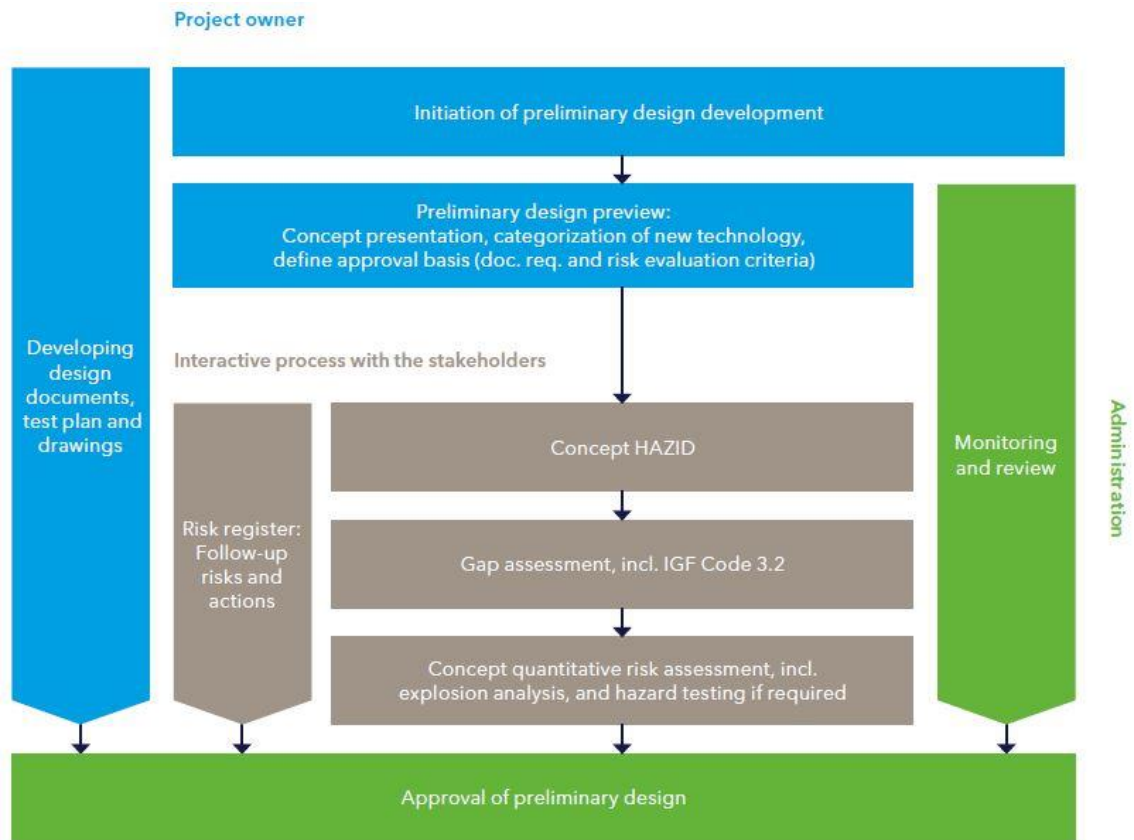
Koko prosessi jakaantuu karkeasti kahteen vaiheeseen:

- 1) Alustava hyväksyminen (Approval of Preliminary Design)
- 2) Lopullinen hyväksyminen (Approval of Final Design)

Lisäksi tätä prosessia voidaan täsmentää jakamalla se viiteen osaan:

- 1) Alustavan suunnittelun kehittäminen
- 2) Alustavan suunnittelun hyväksyminen
- 3) Lopullisen suunnittelun kehittäminen
- 4) Lopullisen suunnittelun testaaminen ja analyysi
- 5) Hyväksyntä

3.3.1 Alustavan suunnitteluvaiheen hyväksyminen (Approval of Preliminary Design)



Kuva 1. Prosessikaavio alustavan suunnittelun vaiheesta (MarHySafe 2021, 35)

Kuten yllä olevasta kuvasta voidaan nähdä, niin vaihtoehtoisen suunnittelun hyväksymisprosessi sisältää useita vaiheita. Se on interaktiivinen prosessi omistajan (varustamon), lippuvaltion merenkulkuviranomaisen (esim. Traficom) ja erilaisten sidosryhmien välillä. Kuvasta voidaan nähdä em. osapuolten roolit kuvattuna eri väreillä hankkeen toteuttamisessa. Vasemmassa reunassa oleva sininen laatikko kuvaa hankkeen omistajan tehtävää kehittää suunnitteludokumentit, testaussuunnitelmat ja piirustukset. Oikeassa reunassa oleva vihreä laatikko kuvaa lippuvaltion merenkulun viranomaisen roolia valvoa ja tarkastaa hanketta säännöllisesti. Näiden em. laatikoiden välissä olevat harmaat laatikot kuvaavat hankkeen toteuttamiseen liittyviä sidosryhmiä, kuten laitevalmistajat ja -suunnittelijat, eri alojen asiantuntijat, telakat jne.

Seuraavaksi kuvaan alustavan suunnitteluprosessin yllä olevan kuvan keskellä poikittain olevien laatikoiden mukaan vaihe vaiheelta. Ensimmäisessä vaiheessa (Initiation of Preliminary Design) hankkeen omistaja valmistele

luonnossuunnitelman projektista. Sen tulee sisältää yleiset järjestelyt, komponentit, alusjärjestelmän reunaehdot, fyysiset rajat laivan muihin järjestelmiin ja järjestelmän rajapinnat. (MarHySafe 2021, 35.)

Toisessa vaiheessa järjestetään tapaaminen lippuvaltion merenkulkuviranomaisen ja eri alojen ammattilaisten kanssa. Siellä hankkeen omistaja esittelee hankkeen luonnossuunnitelman. Olennaista on tunnistaa ne säännöt, joita hankkeen toteuttaminen ei täytä, ja suunnitella miten lainsäädännölliset haasteet käsitellään. Tässä tapauksessa siihen tarvitaan erilaisia riskianalyyseja. Lopuksi määritellään hyväksymisperusteet, joiden pohjalta hankkeen omistaja toteuttaa hankettaan. (MarHySafe 2021, 35.)

Toisessa vaiheessa suoritetaan myös uuden teknologian kategorisointi alla olevan matriisin mukaisesti. Koska vetykennoteknologia ei perustu olemassa oleviin ns. määräävin vaatimuksiin, niin se määritellään uudeksi ja testaamattomaksi tekniikaksi (Kategoria 4). Tämä tarkoittaa sitä, että IMO:n kiertokirjeen (MSC.1/Circ 1455) riskianalyysin metodologiaa sovelletaan tähän hankkeeseen. Se sisältää mm. riksianalyysin (HAZID), määrällisen riskiarvion (QRA), räjähdysanalyysin (ERA) sekä lisätestejä ja vaatimustenmukaisuuden valvontaa käyttöönoton jälkeen. (MarHySafe 2021, 36.)

Application Area	Technology status		
	Proven	Limited field history	New or unproven
Known	1	2	3
New	2	3	4

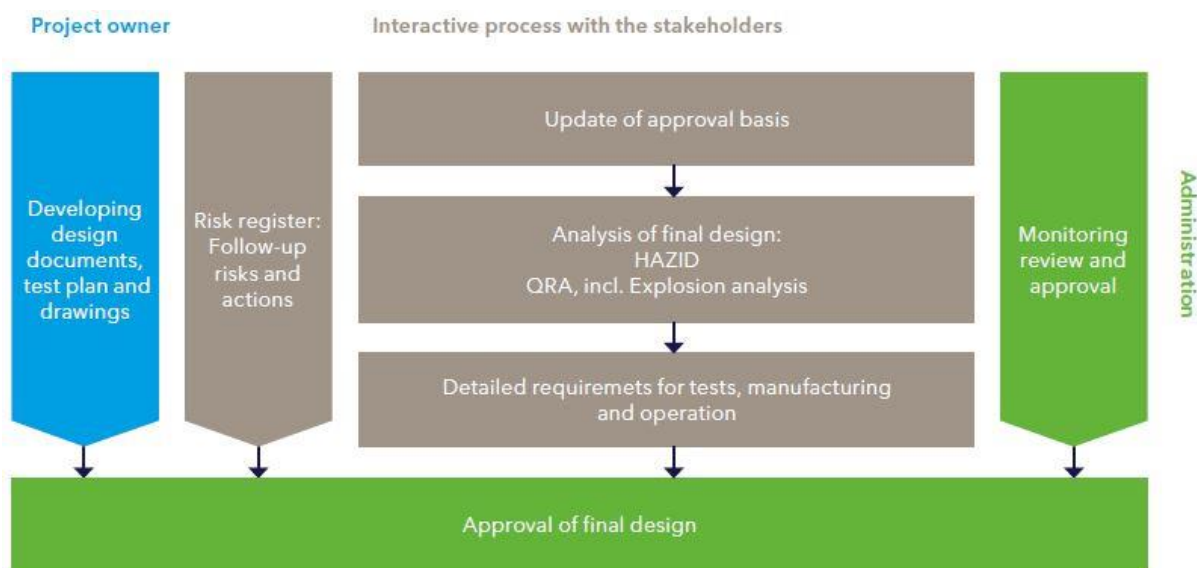
Kuva 2. Kategorisointimatriisi (MarHySafe 2021, 36)

Lippuvaltion merenkulun viranomaisen ja hankkeen omistaja joutuvat todennäköisesti järjestämään useita palavereita, joissa määritetään hyväksymisperusteet. Niissä käsitellään mm. perinteisen energian tuotannon ja vetykennoteknologian välisiä eroja, hankkeen tavoitteet, olemassa olevat ja puuttuvat lait ja asetukset, vaatimukset, joita nykyiset säännöt eivät kata, sekä uuden tekniikan vaikutus laivan muihin järjestelmiin. (MarHySafe 2021, 36.)

Viimeisessä vaiheessa suoritetaan riskianalyysit, erilaiset tutkimukset, testit, uudelleen arvioinnit ja simulaatiot interaktiivisesti sidosryhmien kanssa. Hankkeen omistaja perustaa ns. riskirekisterin, johon sidosryhmien edustajilla on pääsy, ja johon kirjataan kaikki riskianalyysit, testitulokset, suoritettut toimenpiteet jne. (MarHySafe 2021, 37.)

Viimeinen vihreä poikittainen laatikko prosessikaavion alareunassa kuvaa alustavan suunnitteluvaiheen hyväksyntää. Se saavutetaan, kun hankkeeseen liittyvät kaikki vaarat ja vikatilat on tunnistettu, ja niiden varalle on kuvattu hallintakeinot. Lisäksi hanke tulee havaita toteuttamiskelpoiseksi ja sopivaksi aiottua soveltamista varten. (MarHySafe 2021, 37.)

3.3.2 Hankkeen lopullinen hyväksyntä (Final Approval of Alternative Design)



Kuva 3. Prosessikaavio hankkeen lopullisesta hyväksynnästä (MarHySafe 2021, 38)

Kuten yllä olevasta kuvasta voidaan nähdä, niin hankkeen lopullisen hyväksynnän vaihe perustuu yksinomaan hankkeen omistajan, sidosryhmien ja merenkulkuviranomaisen interaktiiviseen toimintaan. Karkeasti kuvailtuna tässä vaiheessa toistetaan samoja vaiheita kuin alustavassa suunnitteluvaiheessa, mutta ne tehdään perusteellisemmin. Seuraavaksi käyn läpi yllä olevasta kuvasta keskellä olevat kolme vaihetta (harmaat poikittain olevat laatikot).

Ensimmäisessä vaiheessa päivitetään hankkeen hyväksymisperusteet. Esi-merkiksi hankkeen pitkäkestoisuudesta johtuen tutkimustietoa tulee lisää vety-kennoteknologiaan liittyen, joten hankkeen hyväksymiselle asetetut kriteerit tulee päivittää sen mukaisesti. Lisäksi alustavan suunnittelun vaiheessa tehdyt analyysit tulee arvioida uudelleen. (MarHySafe 2021, 38.)

Toisessa vaiheessa riskianalyysit HAZID, QRA ja ERA suoritetaan uudelleen, ja sen pohjalta saadut tulokset analysoidaan uudelleen. Tarkoituksena on osoittaa, että uusi tekniikka vastaa konventionaalisen energiantuotantotekniikan turvallisuustasoa. (MarHySafe 2021, 38.)

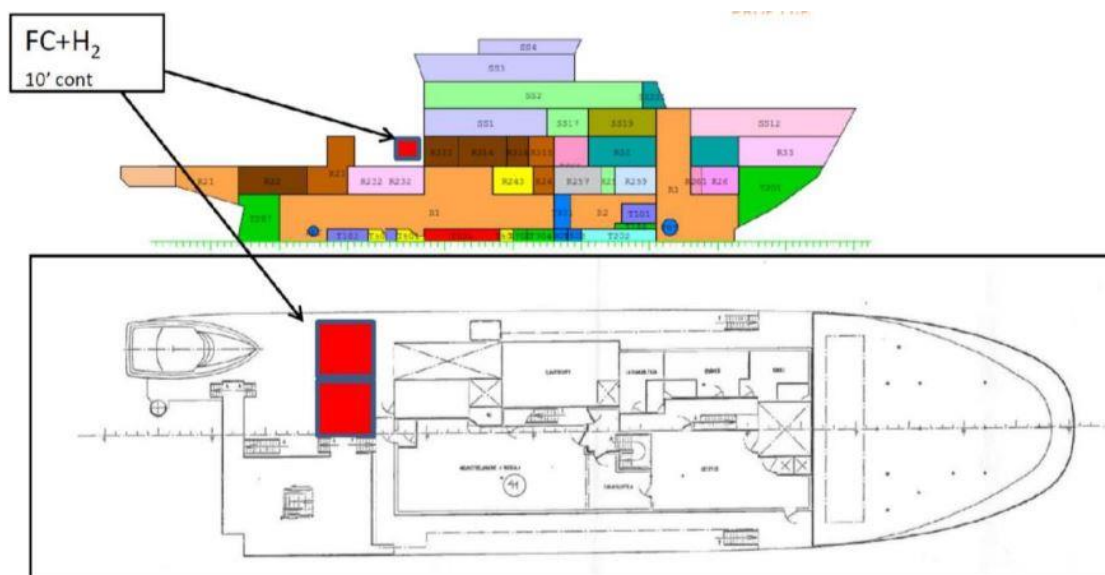
Viimeisessä vaiheessa tarkistetaan hankkeen luotettavuus ja toiminta. Tämä toteutetaan yhteistyössä sidosryhmien kanssa. Riskianalyysien pohjalta löytyneitä hypoteeseja testataan ja varmistetaan, että riskienhallinta toimii käytännössä. Näitä testejä voidaan joutua suorittamaan useita kertoja. Hankkeen omistaja lähettää nämä testitulokset merenkulkuviranomaisen tarkistettavaksi. Tuloksista riippuen hanke saa lopullisen hyväksynnän tai sille asetetaan rajoituksia tai lisävaatimuksia. (MarHySafe 2021, 39.)

3.4 MARANDA-projekti

MTA Aranda on Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) omistama merentutkimus alus. Aranda on jäävahvistettu alus, joka suorittaa merentutkimusta pääsääntöisesti Itämerellä. Se on tehnyt tutkimusmatkoja myös Pohjois-Atlantille ja Antarktikselle. (Suomen ympäristökeskus 2021.)

MTA Aranda osallistui eurooppalaiseen yhteistyöprojektiin, jossa testattiin vety-polttokennoja meriympäristössä. Arandan kannelle asennettiin kaksi merikonttia alla olevan kuvan mukaisesti, joissa toisessa oli polttokennomoduuli ja toisessa vedyn varastointi- ja jakelumuoduuli. Idea tällaisessa järjestelyssä oli se, että vedyn varastointikontti oli mahdollista nostaa maihin tankkausta varten missä tahansa satamassa Arandan omalla kansinosturilla. Alla olevassa kuvassa näkyy konttien sijoittelu Arandan peräkannella. Polttokennojen teho on 2 x 82,5 kW ja ne tuottavat vaihtovirtaa (AC) aluksen tutkimuslaitteita varten. Yksi tavoitteista oli myös tuottaa sähköä tutkimuslaitteille ilman tärinää,

melua ja ilmansaasteita, jotka saattaisivat vääristää tutkimustuloksia. (MARANDA 2021a.)



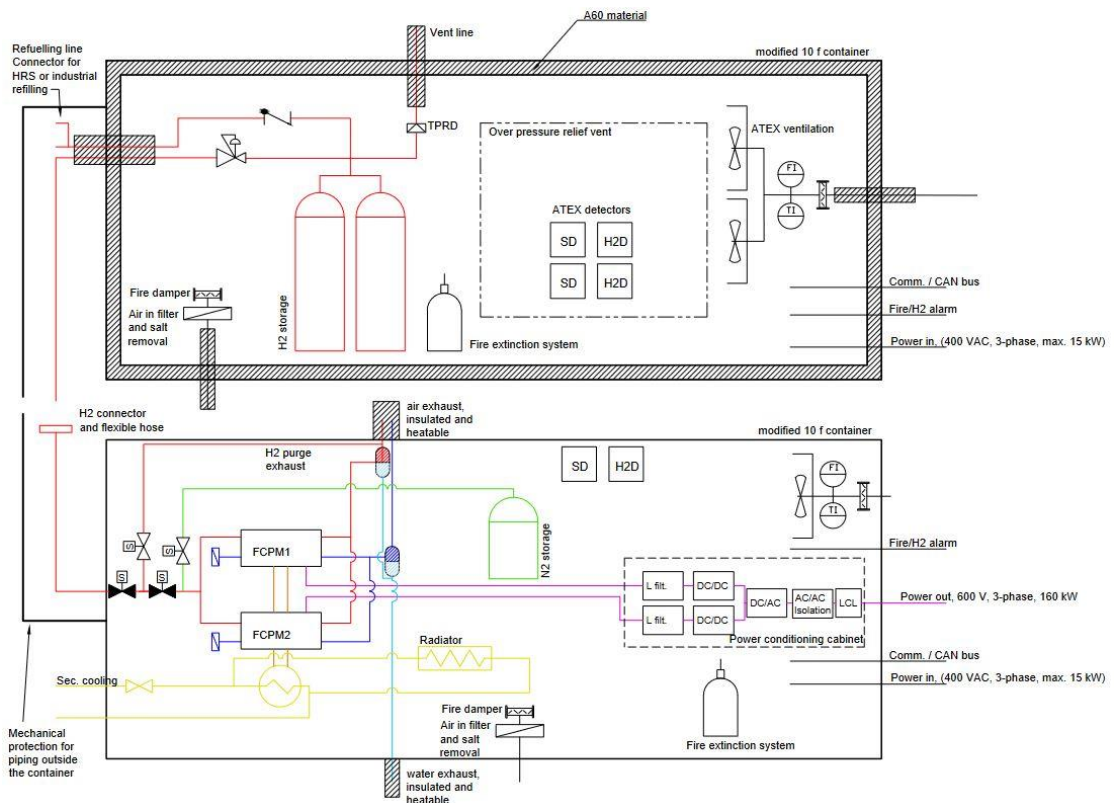
Kuva 4. Polttokennojärjestelmän konttien sijoittelu Arandan peräkannella (MARANDA 2021b, 9)

MARANDA-projektissa hyödynnettiin edellisessä luvussa kuvattua vaihtoehdoista suunnitteluprosessia. Koska polttokennoja koskevaa muutosta IGF-koodiin ei ole vielä hyväksytty, niin Arandan polttokennojen vaatimustenmukaisuus IGF-koodin toiminnallisiin vaatimuksiin nähden osoitetaan vaihtoehdoisen suunnittelun avulla. Tämä sisältää mm. erilaisia riskianalyyskejä. (MARANDA 2021a, 8)

MARANDA-projektissa hyödynnettiin kansainvälisen luokituslaitosliiton IACS:n menetelmää (Recommendation 146) riskianalyysissä. Se koostuu vaarojen tunnistuksesta, todennäköisyys- ja seurausten analyysistä ja riskianalyysistä ja -arviosta. Peruseriaatteena on tunnistaa vetykennojen käyttöön liittyviä vaaroja kuten ihmisten loukkaantumiset ja menehtymiset, ympäristövahingot ja laivan rakenteet. Riskejä pyritään eliminoimaan ja niiden vaikutuksia minimoimaan. Jäännösriskien varalle luodaan suojamenetelmiä. Lopuksi riskit analysoidaan ja arvioidaan erillisen riskimatriisin avulla. (MARANDA 2021a, 11–12.)

Keskeisin johtopäätös MARANDA-projektista oli järjestelmän turvallisuus kaasuvuotojen ja räjähdysvaaraan suhteen. Tämä oli ensimmäinen huomioon

otettava turvallisuusnäkökohta suunnittelun aikana. Meriympäristön tuomat haasteet, kuten imuilman suodattaminen ennen konttien tuulettamista tuli myös ottaa huomioon. Imuilmassa olevat suolapartikkelit tulee suodattaa pois meriilmasta. Lisäksi MARANDA:n kaltaisia projekteja tarvitaan lisää, jotta voidaan luoda vankka ja selkeä säännöstö vetykennojen käyttöönoton helpottamiseksi laivoissa. (Pohjoranta ym. 2020, 7–9.)



Kuva 5. Kaavio polttokenno- ja vedyn varastointijärjestelmästä (MARANDA 2021b, 19)

Yllä oleva kuva esittää kaaviota merikonteissa olevista polttokenno- ja vedyn varastointijärjestelmistä. Ylemmässä kontissa on 10 komposiittikapselia, joissa vetyä varastoidaan 350 baarin paineessa. Vety johdetaan kontin vasemmasta päädyistä putkistoilla alemmassa kontissa olevien polttokennojen polttoaineeksi. Polttokennoista tuotettu tasavirta muunnetaan 600 voltin (V) vaihtovirraksi. Molemmissa konteissa on palopellit, kaasun- ja savunilmaisimet, tuloilman-suodattimet ja palonsammutusjärjestelmät.

3.5 IMDG-koodi

IMDG-koodi asettaa määräykset vedyn kuljettamisesta pakatussa muodossa. Vetyä saa kuljettaa pakatussa muodossa nesteytettynä tai paineistettuna kannella, mutta sitä ei saa kuljettaa aluksen omissa lastitankeissa eikä sääkannen alapuolella. Jos matkustajia on yli 25, niin vetyä ei saa kuljettaa ollenkaan. Koska vetyä ei saa varastoida kannen alapuolelle, niin voidaan ennakoida, että tulevaisuudessa vetytankit tullaan sijoittamaan sääkannelle. (Tronstad ym. 2017, 58.)

3.6 Vetykennoteknologiaan soveltuvia standardeja

Kansainvälinen standardisoimisjärjestö (ISO) ja kansainvälinen sähköalan standardisoimisjärjestö (IEC) ovat kehittäneet standardeja ja sääntöjä poltto-kennojen turvallisuudelle ja testaamiselle. Nämä säännöt ja standardit kehitettiin ensisijaisesti tieliikenteen ajoneuvoja ja pieniä kiinteitä sähköjärjestelmiä varten. Joitakin olemassa olevia standardeja voidaan soveltaa merenkulun polttokennosovelluksiin. (Tronstad ym. 2017, 61.)

ISO:n tekninen komitea TC 197 on kehittänyt standardeja vedyn käyttöä polttoaineena varten. Ne kattavat järjestelmät ja laitteet, vedyn tuotannon, varastoinnin ja kuljetuksen sekä vedyn mittauksen ja käytön. Äskettäin käynnistetyin kolmen standardin hankkeen (ISO 19885 -sarja) periaatteita voidaan soveltaa vedyn käyttöön polttoaineena laivoilla. Lisäksi ISO 19886 -standardinumero on varattu vedyn tankkausprotokolloja varten, joita voidaan soveltaa tulevaisuudessa laivojen tankkausoperaatioihin. (MarHySafe 2021, 45.)

Luokituslaitokset ja/tai lippuvaltiot saattavat vaatia joidenkin standardien ja ohjeistuksien käyttöä pakollisten määräyksien lisäksi. Esimerkiksi luokituslaitokset voivat vaatia hyväksytyjä standardeja osana tiettyjen komponenttien ja apujärjestelmien suunnitteluprosessia. Seuraavassa muutamia esimerkkejä olennaisista standardeista, joita voidaan soveltaa vetyyn polttoaineena ja polttokennojärjestelmiin.

ISO/TR 15916, 2015 Vetyjärjestelmien turvallisuuden perusteet

Tämä standardin vaatimukset ovat sovellettavissa vetykennoteknologiaan merenkulussa. Se sisältää ohjeet vedyn käytöstä kaasumaisessa ja nestemäisessä muodossa. Siinä kuvataan vedyn ominaisuudet sekä yksilöidään vedyn käytön turvallisuuteen liittyvät huolenaiheet, vaarat ja riskit. Lisäksi siinä kuvataan vedyn käyttöön liittyviä komponentteja ja järjestelmiä. Tarkennuksena siis, että tämä standardi koskee vedyn käyttöä yleisellä tasolla. (ISO/TR 15916: 2015.)

ASME B31-12: Vetyputkistot ja -putkilinjat

Tämä standardi sisältää vaatimukset kaasumaista ja nestemäistä vetyä sisältäviä putkilinjoja varten. Se sisältää esimerkiksi yleiset vaatimukset putkilinjojen materiaaleista, hitsaussaumoista, lämpökäsittelystä ja jälkitarkastuksista. Lisäksi se sisältää vaatimukset komponenttien suunnittelusta, valmistuksesta, asennuksesta ja tarkastuksesta. Tämä standardi on amerikkalaisen standardisoimisjärjestö The American Society of Mechanical Engineers (ASME) kehittämä. Tämä on amerikkalaisen luokituslaitoksen (ABS) hyväksymä standardi, jonka soveltamista se vaatii vetyputkistojen ja -putkilinjojen suunnittelussa. (ASME B31-12: 2019.)

IEC 62282-2-100 Polttokennomoduulit – turvallisuus

Tämä standardi sisältää turvallisuusvaatimukset polttokennomoduulien rakentamiselle, toiminnalle normaaleissa ja epänormaaleissa olosuhteissa sekä testaamiselle. Tässä standardissa käsitellään olosuhteita, jotka voivat aiheuttaa vaaraa ihmisille ja polttokennomoduulille. (IEC 62282-2-100: 2020.)

IEC 62282-3-100, Kiinteät polttokennojärjestelmät – turvallisuus

Tämän standardin turvallisuusvaatimuksia sovelletaan kiinteisiin polttokennojärjestelmiin sisä- tai ulkotiloissa. Pääasiallisesti tällaisia polttokennojärjestelmiä on tehtaissa. Nämä vaatimukset soveltuvat kaikenlaisiin polttoaineisiin ku-

ten maakaasuun ja vetyyn. Vaikka tämä standardi ei kata propulsio- poltto- kennojärjestelmiä, sitä voidaan kuitenkin soveltaa laivan apujärjestelmiin. (IEC 62282-3-100: 2019.)

IEC 62282-3-200 Kiinteiden polttokennojärjestelmien suorituskyvyn käyttö- ja ympäristönäkökohdat

Tämä standardi sisältää määräykset kiinteiden polttokennojärjestelmien suorituskykyyn liittyvistä käyttö- ja ympäristönäkökohdista. Suorituskykytesteissä otetaan huomioon seuraavia näkökohtia:

- Teho tietyissä pysyvissä ja ohimenevissä olosuhteissa.
- Sähkön ja lämmön talteenottokyky tietyissä olosuhteissa.
- Ympäristöominaisuudet, kuten pakokaasupäästöt, melu jne.

(IEC 62282-3-200: 2015.)

IEC 60079-10: Räjähdyksvaarallisten tilojen luokittelu

Tämä sähkölaitestandardi sisältää vaatimukset sähkölaitteiden asennuksista vaarallisiin tiloihin. Vaaralliset tilat on jaettava vaarallisiin vyöhykkeisiin 0, 1 tai 2. Jokaiseen vyöhykkeeseen asennettaville sähkölaitteille on erilliset vaatimukset. Esimerkiksi vyöhykkeeseen 2 sertifioituja sähkölaitteita ei saa asentaa sellaisenaan vyöhykkeeseen 1. Jos kyseinen komponentti halutaan asentaa sinne, niin silloin se tulee sertifioida vyöhykkeen 1 kanssa yhteensopivaksi. Tankkereille on oma vastaava IEC 60092-502 -standardi sähkölaitte-asennuksia varten. (IEC 60079-10: 2020.)

4 MIKÄ ON OHJEISTUKSEN NYKYTILA?

Muutamilla luokituslaitoksilla on omia ohjeistuksia polttokennojen käyttöönottoa varten. Ne eivät perustu vielä IMO:n hyväksymiin yleissopimuksiin, vaan CCC:n kehittämiin väliaikaisiin ohjeistuksiin. Tällainen käytäntö oli käytössä esimerkiksi LNG:n suhteen, ennen IGF-koodin hyväksymistä. Esimerkiksi vuonna 2013 valmistuneen M/S Viking Gracen LNG-tekniikka perustui IMO:n väliaikaisiin ohjeistuksiin ennen varsinaisen IGF-koodin hyväksymistä. Sama käytäntö saattaa toteutua vetypolttokennojenkin osalta.

Luokituslaitosten säännöillä on useita yhtäläisyyksiä keskenään. Sääntöjen tarkoitus on varmistaa polttokennojen turvallinen toiminta ja minimoida niiden käytöstä aiheutuneet riskit. Tilojen suunnittelussa tulee välttää sellaisten alueiden luominen, joihin kaasu voi kerääntyä kaasuvuodon aikana. Erityisen tärkeää on varmistaa polttokennotilojen palontorjunta ja riittävä ilmanvaihto sekä riittävä kaasun ilmaisimien asentaminen. (Gianni ym. 2021, 3.)

Luokituslaitosten säännöissä on myös joitakin eroavaisuuksia tiettyjen osa-alueiden painotuksessa. Esimerkiksi kaksoisputkien kohdalla luokituslaitoksilla on kolme erilaista ohjeistusta niiden käytöstä:

- 1) Kaksoisputkien käyttö on pakollista polttokennojärjestelmän kaikilla osa-alueilla.
- 2) Kaksoisputkia tai hitsattuja putkia tulee käyttää polttokennojärjestelmän kaikilla osa-alueilla. Hitsattujen putkien käyttäminen edellyttää myös riittävän tehokkaan ilmanvaihtojärjestelmän käyttöönottoa, jotta ilman kaasupitoisuus voidaan laimentaa alle alemman syttymisrajan (LEL < 4 %).
- 3) Kaksoisputkia tai hitsattuja putkia tulee käyttää ainoastaan polttokennotilassa. Hitsattujen putkien käyttäminen edellyttää myös riittävän tehokkaan ilmanvaihtojärjestelmän käyttöönottoa, jotta ilman kaasupitoisuus voidaan laimentaa alle alemman syttymisrajan (LEL < 4 %).

Edellisten lisäksi vain ABS- ja DNV GL -luokituslaitokset luokittelevat polttokennoon tai polttoaineeseen liittyvät tilat A-luokan koneistotiloiksi SOLAS II-2:n mukaisesti. A-luokan osastolla tarkoitetaan sellaista osastoa, jota ympäröi teräksestä tehdyt seinät ja katot, jotka ovat jäykistetty ja kuumuutta kestäviä. Bureau Veritas - ja Korean Register of Shipping -luokituslaitokset sen sijaan luokittelevat vain kompressoritilat A-luokan koneistotiloiksi. (Gianni ym. 2021, 3.)

4.1 American Bureau of Shipping (ABS)

American Bureau of Shipping -luokituslaitoksen ohjeet perustuvat MSC:n alakomitean (CCC) väliaikaisen ohjeistuksen luonnokseen polttokennojen käyttöönotosta merenkulussa. Ohjeistuksia sovelletaan uusiin ja vanhoihin laivoihin, proomuihin, off-shore-aluksiin jne, joihin polttokennosovelluksia halutaan asentaa, ja jotka käyttävät nestemäisiä tai kaasumaisia matalan leimahduspisteen polttoaineita. Tämä opas on tarkoitettu polttokennojärjestelmien suunnitteluun, asennukseen ja tarkastamiseen. Se kattaa polttokennot, polttoaineen reformerit, polttokennopinot, moduulit, polttoainejärjestelmät, varastointijärjestelmät, valmisteluhuoneet, turvallisuusjärjestelmät, valvonnan ohjauksen, testauksen, sertifiointin jne. Seuraavaksi katsaus näihin ohjeistuksiin. (ABS 2019, 9.)

4.1.1 Section 1: Dokumentointi

Koko prosessi lähtee liikkeelle dokumentaatiosta. Polttokennotekniikkaa hyödyntävän tahon (telakka ja varustamo) tulee laatia yksityiskohtaiset suunnitelmat polttokennojärjestelmän toteuttamisesta laivalla. Tämä sisältää dokumentit mm. yleisjärjestelyistä, riskianalyseista, polttokennosta, materiaaleista, putkistoista, polttoaineen varastoinnista, ilmanvaihdosta, palontorjuntajärjestelmistä jne. Tämä dokumentti tulee lähettää ABS:lle arvioitavaksi ja sertifioitavaksi. Kaikki dokumentoidut polttokennojen käyttö-, huolto- ja turvallisuusohjeet tulee löytyä laivalta. (ABS 2019, 16–17.)

4.1.2 Section 2: Polttokennolaitteistojen suunnitteluperiaatteet

Polttokennotilat tulee luokitella A-luokan mukaiseksi koneistotiloiksi, joiden tulee täyttää SOLAS Chapter II-2:n edellyttämät paloturvallisuusvaatimukset. Palontorjuntajärjestelmän tulee olla yhteensopiva polttokennojärjestelmän ja käytettävän polttoaineen kanssa. Riskianalyysien avulla varmistetaan, että mikään järjestelmän komponentin vika ei vaarantaa minkään järjestelmän osan toimintaa. Koska polttokennopinojen toimintaan liittyy kaasuvuotovaara, polttokennotila tulee luokitella vaara-alue 1:ksi. Vaara-alue 1 tarkoittaa sellaista aluetta, jossa kaasuvuotoja saattaa esiintyä satunnaisesti polttokennojen nor-

maalin käytön aikana. Aluksen kriittisten laitteiden toiminta ja aluksen turvallisuus eivät saa vaarantua polttokennon toimintahäiriöstä seuraavan virran menetyksen vuoksi. (ABS 2019, 23.)

Polttokennotiloissa ei saa käyttää palavia materiaaleja lukuun ottamatta sähköjohtojen eristysmateriaaleja. Eristysmateriaalien käyttö edellyttää ABS:n hyväksyntää. Vedyn kanssa kosketuksissa olevat materiaalit tulee olla sellaisia, että ne eivät halkeile tai haurastu. Tarvittaessa tulee käyttää ISO 11114-4 -standardin mukaista arviointimenetelmää arvioitaessa materiaalien yhteensopivuutta vedyn kanssa. (ABS 2019, 24.)

Suunnitteluvaiheessa tulee suorittaa riskianalyysi polttokennojärjestelmän osalta, jossa arvioidaan aluksen rakenteisiin, miehistöön ja ympäristöön kohdistuvia riskejä. Sen tulee sisältää vähintään seuraavat osa-alueet: toiminnan menetys, komponenttien vaurio, tulipalo, räjähdys ja sähköisku. Näiden vaikutuksia ympäristöön tulee arvioida sekä riskejä poistaa ja minimoida. Riskianalyysissä voidaan käyttää HAZID-, FMEA- ja HAZOP-riskianalyysitekniikoita. (ABS 2019, 24.)

Kaikki ennakoitavat vaarat, niiden syyt ja seuraukset, ja niihin liittyvien riskienhallintamenetelmät on dokumentoitava ja lähetettävä ABS:lle suunnitteluvaiheessa. Riskianalyysissä tulee ottaa huomioon kaikki kaasuvuototilanteet, joita voi tapahtua polttokennossa, aluksen törmäystilanteessa, vetysäiliön tai putken revetessä, inerttikaasujärjestelmän menetyksessä sekä vedyn alhaisen lämpötilan vaikutus järjestelmän komponentteihin. Ihmisten turvallisuus ja terveys tulee varmistaa asianmukaisilla toimenpiteillä kuten suojausvarusteilla, silmänhuuhtelu- ja hätäsuihkupisteillä jne. (ABS 2019, 25.)

Polttokennomoduuli tulee suunnitella, tyyppi hyväksyä ja sertifioida IEC 62282-2 -sähkölaitestandardin mukaisesti. Lisäksi polttokennojärjestelmän tulee suunnitella yleisten työturvallisuusperiaatteiden mukaisesti. Tällaisia ovat esimerkiksi liikkuvien osien ja kuumien pintojen ympärille rakennetut suojakaitteet, liukastumista estävät karheat pinnat, polttokennojärjestelmän vakaus kovassa merenkäynnissä, hätäpysäytysjärjestelmät jne. (ABS 2019, 25–26.)

4.1.3 Section 3: Laivan järjestelyt ja asennusvaatimukset

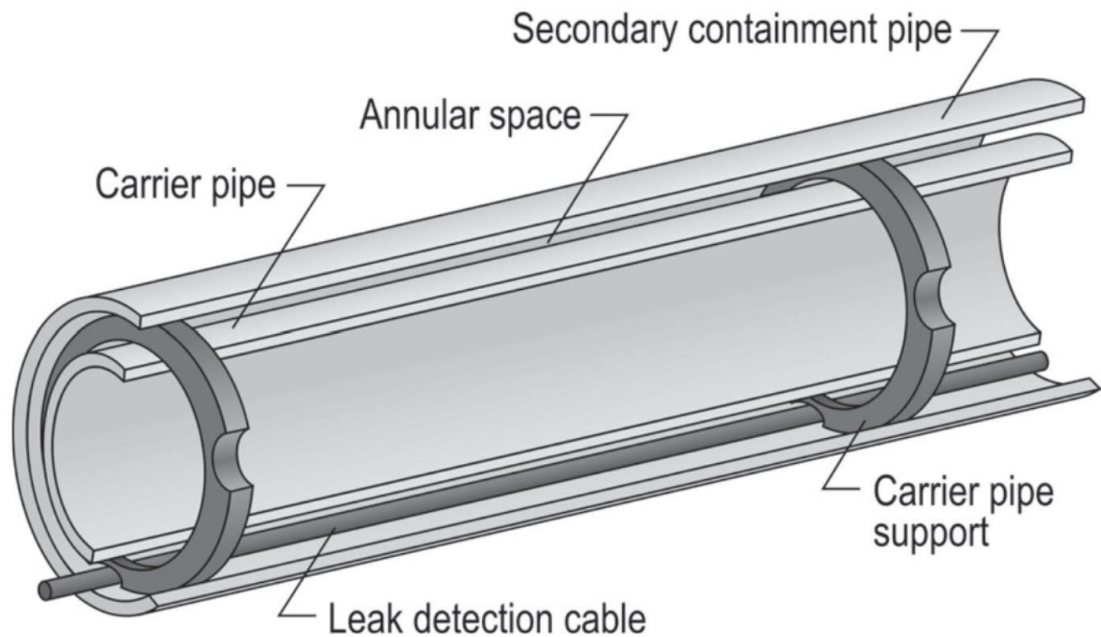
Polttokennotila luokitellaan A-luokan koneistotilaksi. Tämä tarkoittaa sitä, että polttokennotila tulee rajata A-60-luokan palo-ovilla, joiden kautta on pääsy majoitustiloihin, evakuointiasemalle, ohjausasemille, käytäville, portaikkoihin jne. A-60-luokan palo-ovella tarkoitetaan sellaista ovea tai seinää, joka kykenee estämään tulipalon leviämisen 60 minuutin aikana. Polttokennotila tulee luokitella vaara-alue 1:ksi johtuen vedyn luonteesta, ja kaikki komponentit tulee sertifioida. (ABS 2019, 27.)

Polttokennotiloihin liittyy aina turvalliseksi luokiteltua kaasuvuotoa, ja niitä varten on asennettava kaasun ilmaisimet. Polttokennotilojen ulkopuolella tulee olla hätäpysäytyspainikkeet, joihin pääsee helposti käsiksi. Lisäksi polttokennotilojen tulee olla kaasutiiviitä. Polttoaineen valmistustilat eivät saa olla koneistotiloissa, jotka on luokiteltu kuuluvaksi A-ryhmään. Nämä tilat tulee tuulettaa vähintään 30 kertaa tunnissa. (ABS 2019, 27–28.)

Sisäänkäynnit suoraan vaarattomalta alueelta vaaralliselle alueelle eivät ole sallittuja. Tällaisessa tapauksessa tulee asentaa ns. ilmalukko vaarattoman ja vaarallisen tilan välille. Ilmalukot ovat kaasutiiviitä tiloja, joissa on ovet kahteen eri suuntaan. Niissä on koneellinen ilmanvaihto ja ylipaine viereisiin vaarallisiin tiloihin verrattuna. Näin ollen esimerkiksi vety ei pääse polttokennotilasta ilmalukkoon, ja siitä edelleen muihin tiloihin. (ABS 2019, 28–29.)

4.1.4 Section 4: Polttoaineen jakelu ja putkistot

Vetyputkistot tulee hitsattuja putkia, jos se on käytännöllisesti katsoen mahdollista, ja niitä ympäröivässä tilassa tulee olla koneellinen ilmanvaihto. Asuintilojen läpi reititetyt vetyputket tulee olla kaksoisputkia, ja niiden ympärille on asennettava kaasu- ja vesitiivis kotelo. (ABS 2019, 34.)



Kuva 6. Kaksoisputken rakenne (INL 2012, 2)

Yllä oleva kuva havainnollistaa kaksoisputken rakennetta. Siinä on sisempi putki, jota pitkin polttoaine syötetään kuluttajille. Ulompi putki varmistaa, että mahdolliset sisemmän putken vuodot eivät pääse leviämään ympäröivään tilaan. Putkien välissä olevat rengaskannattimet erottavat putket toisistaan muodostaen niiden väliin tyhjän tilan, johon voidaan asentaa ilmanvaihto tai syöttää inerttikaasua. Tämän järjestelyn avulla pidetään ko. tilan vetykaasupitoisuus alle 4 %:ssa (LEL). Pitkittäinen kaapeli putkien välissä on kaasuvuodonilmaisin.

Polttoaineen jakelujärjestelmä kuluttajille tulee olla itsenäinen, ja se tulee eristää muista putkistoista. Se tulee toteuttaa siten, että mahdollisen vuodon aiheuttamat riskit minimoidaan. Mikään vikatila järjestelmässä ei saa johtaa siihen, että vetykaasu vuotaa esimerkiksi asuintiloihin aiheuttaen vaaraa ihmisille. (ABS 2019, 33–34.)

Polttoainetankit tulee sijoittaa kauas majoitus- ja koneistotiloista. Ulkokannelle sijoitettujen tankkien ympärille on rakennettava erillinen suoja-aita (coaming), joka estää mahdollisia vuotoja leviämästä laajemmille alueille. Vuotanut polttoaine tulee ohjata tankin ympäriltä erilliseen keräyssäiliöön. Kannen alla olevat säiliöt tulee ympäröidä kofferidameilla, jotta ne saadaan eristettyä muista tiloista. (ABS 2019, 34–35.)

Tankkausoperaatiossa suurin vaara on vetyvuodon aiheuttamat vaarat ihmisille ja ympäristölle. Tällöin tulee huolehtia riittävästä ilmanvaihdosta. Ulkokannelle sijoitettava bunkkeriasema tulee sijaita sellaisessa paikassa, jotta luonnollinen ilmanvaihto on riittävä. Suljetuissa tiloissa tulee olla koneellinen ilmanvaihto. Näiden tilojen läheisyyteen tulee sijoittaa hätäsuihkut ja silmähuuhtelupisteet mahdollisen polttoaineelle altistumiselle. Lisäksi tankkausoperaatio on hätätilanteissa pystyttävä keskeyttämään sekä laivalta että maista hätäpysäytysjärjestelmän avulla. (ABS 2019, 36–37.)

Ilmanvaihto:

Vaarallisten tilojen ilmanvaihtokanavat on pidettävä erillään vaarattomien tilojen ilmanvaihtokanavista. Ilmanvaihtojärjestelmän tulee pysyä toimintakunnossa kaikissa lämpötiloissa ja sääolosuhteissa. Sähkötuuletinmoottoreita ei saa asentaa vaarallisten tilojen ilmanvaihtokanaviin elleivät ne ole sertifioitu sellaista käyttöä varten. Ne eivät esimerkiksi saa tuottaa kipinöitä tai aiheuttaa staattista sähköä vaarallisiin tiloihin. Tällainen riittävä ilmanvaihto tulee järjestää polttokennotilaan, vedynvalmistustilaan, bunkkeriasemalle ja kaksoisputkien väliseen tilaan sekä putkia ympäröivään kanavaan. (ABS 2019, 37–38.)

4.1.5 Section 5: Paloturvallisuus

Polttokennotilojen geometrisen muodon tulee olla sellainen, että se estää kaasun kerääntymisen polttokennotilan johonkin osaan, esimerkiksi ns. kaasutaskuihin. Tämä tarkoittaa sitä, että katon tulee olla tasainen ja kalteva ilmanpoistoaukkoa kohti, jotta vety ohjautuu kohti tuuletusaukkoa. Polttokenno- ja majoitustilojen välillä tulee käyttää A-60-eristystä kaikissa seinissä ja ovissa. (ABS 2019, 41.)

Palontorjunnan kannalta A-60-luokan eristysvaatimuksia sovelletaan polttokennotiloihin, bunkkeriasemaan, polttoainesäiliöön, polttoaineen valmistushuoneeseen jne. Nämä tilat tulee varustaa kiinteällä palonsammutusjärjestelmällä. Palonsammutusjärjestelmän tulee olla yhteensopiva käytetyn polttoaineen kanssa. Koneistotilat ja polttoaineen valmisteluhuone tulee varustaa SOLAS Regulation II-2/10 ja FFS-koodin mukaisella kiinteällä palonsammutusjär-

jestelmällä. Lisäksi näihin tiloihin tulee järjestää alkoholin kestävä vaahtosammutusjärjestelmä. Kaikki polttoainetta sisältävät tilat tulee varustaa kiinteällä palonilmaisin- ja hälytysjärjestelmällä FFS-koodin luvun 9 mukaisesti. (ABS 2019, 41–42.)

4.1.6 Section 6: Sähköjärjestelmät

Tämä osio täydentää SOLAS Chapter II-1/Part D:n ja ABS:n Marine Vessel Rules -vaatimuksia. Tässä osiossa on kuvattu yleisiä periaatteita sähkölaitteiden asennusta varten. Esimerkiksi sähkölaitteita ja johtoja ei saa asentaa vaarallisille alueille, ellei se ole välttämätöntä. Polttokennojärjestelmän kannalta niiden asentaminen polttokennotilaan on välttämätöntä, ja niiden turvallisuus varmistetaan sähkölaitestandardien IEC 60079-sarjan ja IEC 60092-502 avulla. (ABS 2019, 44.)

Vaarallisten alueiden vyöhykkeet:

Vaarallinen vyöhyke 0:

Tilat, joissa on matalan leimahduspisteen polttoainetta sisältäviä komponentteja kuten polttoainetankit, putkistot, reformerit jne. Tämä on vaarallisin vyöhyke, koska mahdollisuus suureen vetyvuotoon on siinä suurin.

Vaarallinen vyöhyke 1:

Polttokennotilat luokitellaan vaarallinen vyöhyke 1:ksi. Avoimilla kansilla tai puoliksi suljetuissa tiloissa 3 metrin säteellä olevat kaasujen huuhteluaukot, polttokennotilan tuuletusaukot kuuluvat tähän vyöhykkeeseen. Lisäksi pako-kaasujen ulostuloaukkojen läheisyydessä olevat alueet kuuluvat tähän vyöhykkeeseen.

Vaarallinen vyöhyke 2:

Ilmalukot ja alueet, jotka sijaitsevat 1,5 m säteellä vaarallinen vyöhyke 1:ssä määritellyistä alueista.

Ilmanvaihtokanavilla tulee olla sama vaarallisen tilan luokitus kuin itse tuuletettavalla tilalla. Esimerkiksi polttokennotilassa (vyöhyke 1) olevat ilmanvaihtokanavat tulee sertifioida vyöhykkeen 1 kanssa yhteensopiviksi.

(ABS 2019, 44–45.)

4.1.7 Section 7: Ohjaus, valvonta ja turvajärjestelmä

Polttokennojärjestelmän parametreja tulee voida valvoa sekä paikallisesti että etänä esimerkiksi komentosillalta. Tätä varten alukselle tulee asentaa joko integroitu tai itsenäinen ohjausjärjestelmä, jolla valvotaan polttokennon käyttöön liittyviä parametreja kuten lämpötilaa, jännitettä ja painetta. Esimerkiksi suljettuihin tiloihin, joissa on polttoainetankki, ja jossa ei ole suojaavaa kofferdamia ympärillä, tulee asentaa ainakin yksi pilssikaivo ylärajahälytyksellä. Pilssikavon täytyessä tulee järjestelmän antaa siitä hälytys. Polttokennossa tapahtuvia kemiallisia reaktioita tulee valvoa seuraamalla lämpötilaa, jännitettä ja painetta. Jos näille em. parametreille määritetyt raja-arvot ylittyvät, niin järjestelmän tulee kytkeytyä pois päältä automaattisesti. (ABS 2019, 48.)

Polttokennon toiminnan aikana tulee seurata, että siihen liittyvät parametrit ovat laitevalmistajan ilmoittamien raja-arvojen sisäpuolella. Vikatila- ja vaikutusanalyysin (FMEA) tulosten perusteella päätetään seurannan laajuudesta. Vähintään seuraavia kohteita on seurattava:

- Polttokennon jännite ja sen muutokset
- Pakokaasulämpötila
- Polttokennon lämpötila
- Sähkövirta

(ABS 2019, 49–50.)

Edellisten lisäksi tyypillisiä huomiotavia kohteita ovat mm. polttoaineen virtausnopeus, lämpötila ja paine, ilman virtausnopeus ja -paine. Lisäksi polttokenno on voitava sammuttaa manuaalisesti hätäpysäytysjärjestelmän (ESD) avulla komentosillalta, konehuoneesta, lastitoimistosta ja paloasemalta. (ABS 2019, 50.)

Polttokennojärjestelmään liittyviin tiloihin tulee asentaa kiinteät kaasun- ja höyrynilmaisimet. Tällaisia alueita ovat mm. polttokennotila, kaksoisputkien välinen tyhjättila, polttoaineen valmistustila, ilmalukot jne. Kaasun-/höyrynilmaisinjärjestelmän tulee antaa hälytys, jos kaasupitoisuus ilmasta on 20 % alemmasta syttymisrajasta (LEL). Jos kaasupitoisuus nousee 40 %:iin alemmasta syttymisrajasta (LEL), niin ohjausjärjestelmä antaa hälytyksen ja sulkee polttoaineventtiilit. Lisäksi tulipalon, ilmanvaihdon vikatilan, polttoainevuodon sattuessa järjestelmän tulee antaa hälytys komentosillalle, konehuoneeseen jne. (ABS 2019, 51.)

<i>Parameter⁽¹⁾</i>	<i>Alarm</i>	<i>Automatic Shutdown of Tank Valve</i>	<i>Automatic Shutdown of Master Fuel Valve</i>	<i>Automatic Shutdown of Bunkering Valve</i>	<i>Comments</i>
Vapor detection in ducts around double walled pipes, 40% of LEL ⁽²⁾	X	X	X		See 6/3.1vi) Two gas detectors to give min 40 % LEL before shutdown
Liquid leak detection in annular space of double walled pipes	X	X	X		See 6/1.1v)
Liquid leak detection in Machinery space	X	X			See 6/1.1v)
Liquid leak detection in pump-room	X	X			See 6/3.1vi)
Liquid leakage detection in protective cofferdams surrounding fuel tanks	X				See 6/3.1vi)
Fire detection in fuel cell space	X				See 4/5iii)
Air Lock	X				See 3/3.3iv)
Emergency Shutdown	X	X	X	X	See 3/9.6, & 5/5

Kuva 7. Taulukko turvallisuustoiminnoista (ABS 2019, 53)

Yllä oleva taulukko havainnollistaa turvallisuustoimintoja polttokennon toimintaan liittyen. Esimerkiksi ensimmäinen rivi esittää järjestelmän suorittamat automaattiset toimenpiteet kaasupitoisuuden ollessa vähintään 40 % alemmasta syttymisrajasta (LEL = 4 %) kaksoisputkien ympärillä olevassa kanavassa. Taulukon mukaan järjestelmä käynnistää automaattisesti hälytyksen, sulkee tankkiventtiilin ja polttoaineen pääventtiilin, kun em. kanavassa vetykaasun pitoisuus ympäröivässä tilassa on vähintään 40 % vetykaasun alemmasta syttymisrajasta (LEL = 4 %). (ABS 2019, 52.)

4.1.8 Section 8 ja 9: Katsastukset ja tarkastukset

Polttokennojärjestelmän asennuksen aikana sille tehdään tarkastuksia ja testejä. Dokumentoitu tarkastussuunnitelma tulee lähettää ABS:lle hyväksyttäväksi. Siinä tunnistetaan ja nimetään kaikki tarkastettavat kohteet. Itse tarkastusprosessissa tarkastetaan mm. putkistot ja hitsausseamat, sertifioidut komponentit ja niiden vastaavuus piirustusten kanssa, putkistojen painetestit jne. (ABS 2019, 54.)

Polttokennojärjestelmälle tulee suorittaa vuosikatsastus, kun se on otettu käyttöön laivalla. Vuosikatsastuksessa tarkastetaan mm. ohjaus-, valvonta- ja turvajärjestelmät, johon sisältyy esimerkiksi kaasunilmaisimet, automaattiset sulkuventtiilit jne. Palonsammutusjärjestelmä, vaaralliset vyöhykkeet, ilmanvaihtojärjestelmä, polttoaineenjakojärjestelmät tulee myös tarkistaa. (ABS 2019, 54.)

Erikoiskatsastus tulee suorittaa kerran viidessä vuodessa. Asiakkaan pyynnöstä se voidaan jakaa viiden vuoden ajalle siten, että noin 20 % järjestelmästä tarkistetaan vuosittain. Tähän katsastukseen sisältyy mm. paineenvapautusventtiilit, polttoaineen käsittelylaitteet, putkistot, sähköjohdot, polttoainetankit jne. (ABS 2019, 54.)

4.2 Säätelyvaje

IGF-koodin vain maakaasuun (LNG ja CNG) rajoittuneet vaatimukset muodostavat ns. säätelyvajeen vedyn ja polttokennojen käyttöönottoon liittyen merenkulussa. Seuraavaksi käsitellään vetypolttokennojen käyttöönottoon liittyviä keskeisimpiä lainsäädännöllisiä puutteita.

IGF-koodi

Kaksi olennaista lainsäädännöllistä puutetta IGF-koodissa ovat määrävien sääntöjen puuttuminen vedyn ja polttokennojen käyttöön liittyen. Yksityiskohdalliset vaatimukset tulee lisätä IGF-koodiin, jotta vedyn käyttö ja varastointi polttoaineena sekä polttokennojen käyttö sähköntuotantotarkoituksessa voidaan kattaa. Polttokennojen asennuksiin liittyvät väliaikaiset ohjeistukset ovat

valmiina hyväksymistä varten IMO:ssa, mutta vedyn käyttöön polttoaineena liittyvä lainsäädäntö on vielä kesken. (Tronstad ym. 2017, 75.)

Luokituslaitosten säännöt

Joidenkin luokituslaitosten säännöt kattavat polttokennojen asennukset, mutta eivät vedyn varastointiin, valmistamiseen ja jakeluun liittyviä asennuksia ja järjestelyitä. Paineistetussa muodossa olevan vedyn (CH₂) käyttöönottoon liittyviä ohjeistuksia ei ole tällä hetkellä, mutta nesteytettyjen kaasujen varastointi laivoilla on katettu IGF- ja IGC-koodin säännöillä. Periaatteessa näitä säännöitä voidaan soveltaa vetykaasun viilentämiseen nestemäiseen muotoon, mutta siihen liittyy epävarmuutta, koska vedyn ominaisuudet vaativat lisätutkimuksia. Yksi mahdollisuus saada hyväksyntä vedyn varastointiin, jakeluun ja valmistukseen laivalla, on suorittaa esimerkiksi DNV GL -luokituslaitoksen riskiarviointiprosessit AiP ja GASA ennen laivan rakennussopimuksen vahvistamista. AiP (Approval in Principle) vastaa jo tässä opinnäytetyössä aiemmin esiteltyä alustavan suunnittelun hyväksyntää (Approval of Preliminary Design), kun taas GASA (General Approval of Ship Application) vastaa lopullista hyväksyntää (Approval of Final Design). (MarHySafe 2021, 48–50.)

Vedyn tankkaus

Nestemäisen vedyn tankkaukseen liittyviä sääntöjä ei ole vielä kehitetty. Ainoastaan nestemäiselle maakaasulle (LNG) kyseiset säännöt on määritelty IGF-koodissa. LNG:n tankkaussääntöjä voidaan jossakin määrin yhdessä maasovelluksissa kertyneiden nestemäisen vedyn tankkaukseen liittyvien kokemusten kautta hyödyntää merenkulun sovelluksissa. Epäselvää on esimerkiksi se, että kestääkö putkistot nestemäisen vedyn -253 °C:n lämpötilaa. Lisäksi huomiota tulee kiinnittää siihen, kestääkö kylmät vetyputkistot laivan keinumisesta, värinästä yms. aiheutuvia rasituksia. Kaasumaisessa muodossa olevan vedyn tankkaukseen liittyvää tietoa ja kokemuksia on vieläkin vähemmän. Lisätutkimuksia vaaditaan asianmukaisen tiedon hankkimiseksi näissä aiheissa. (Tronstad ym. 2017, 76.)

Vedyn varastointi laivalla

Paineistetun vedyn varastointiin laivalla tarvitaan lainsäädännöllinen valtuutus, koska paineistettujen tankkien hyväksyty sijainti laivalla on vielä avoin kysymys. Nykyiset DNV GL -luokituslaitoksen säännöt tarjoavat hyvät lähtökohdat paineistetun vedyn varastointiin suljetuissa tiloissa, mutta ne eivät sisällä yksityiskohtaisia ohjeita paineistettujen vetytankkien asennuksia varten. Lisäksi tarvitaan lisätutkimuksia esimerkiksi vetyvuotojen riskienhallintaan liittyvissä kysymyksissä. Vedyn varastointi suljetuissa tiloissa edellyttää toimenpiteitä vetypitoisuuden pitämiseksi syttymisrajojen (LEL ja UEL) ulkopuolella. Esimerkiksi inerttikaasun, kuten typpi, käyttämisestä tähän tarkoitukseen tarvitaan lisätutkimuksia. (Tronstad ym. 2017, 78)

Nesteytetyn vedyn kohdalla ongelmana on puutteellinen ymmärrys sen käyttöön liittyvistä vikatiloista. Hyvä esimerkki tästä on nestemäisen vetytankin ympärillä oleva tyhjiöeristys, jonka tehtävä on estää vedyn lämpötilan laske- mista. Vedyn hyvin alahainen lämpötila ja laivaan kohdistuvat dynaamiset rasitukset saattavat vaurioittaa vetytankin metallisia materiaaleja, ja tyhjiöeristys vaurioituu. Laivalla käytetyt materiaalit tulee olla huomattavasti lujempia kuin maasovelluksissa käytetyt materiaalit. Lisätutkimuksia tarvitaan arvioidessa vedyn alhaisen lämpötilan tuomia haasteita materiaalivalintoihin. (Tronstad ym. 2017, 79.)

Polttokennojärjestelmä

Polttokennojärjestelmän suurin riski on kaasuvuoto polttokennotilassa. Vetykaasun alempi syttymisraja on vain 4 %, joten pienikin vuoto muodostaa räjähdysriskin. Räjähdyssuojaamattomien laitteiden käyttö on sallittua polttokennotilassa, jos riittävä ilmanvaihto siellä varmistetaan. On epätietoisuutta siitä, onko tämä riittävä keino hallita riskit vetyvuototilanteissa, joten lisätutkimuksia aiheeseen liittyen tarvitaan. Erilaisten riskianalyysien avulla voidaan yrittää tunnistaa mahdollisia kaasuvuotokohtia ja syttymislähteitä. (Tronstad ym. 2017, 79.)

IGF-koodi edellyttää ilmanvaihtokoneistolta 30 ilmanvaihtoa tunnissa vastaavaa tehoa. Samaa periaatetta ei voida soveltaa suoraan vetykennotiloihin joutuessa vedyn erilaisista ominaisuuksista. Lisätutkimuksia tarvitaan siitä, kuinka monta ilmanvaihtoa tunnissa tarvitaan ehkäisemään syttyviä vetytuloisuksia polttokennotiloissa. Edellisten lisäksi kaksoisputkien soveltuvuus vetykäyttöön tarvitsee lisätutkimuksia. (Tronstad ym. 2017, 79–81.)

Polttokennojärjestelmän luonteesta seuraava ns. modulaarisuus eli itsenäisistä osista (moduuleista) koostuva järjestelmä synnyttää uusia teknisiä järjestelyitä ja suunnitteluperiaatteita. Polttokennoja voidaan esimerkiksi hajauttaa laajemmalle alueelle, ja tämä vähentää yhteen tilaan kohdistuvan mahdollisen kaasuvuodon energiapitoisuutta. Lisäksi tällaisen järjestelmän hajauttaminen mahdollistaa sen, että koko sähköntuotantoa ei menetetä kerralla vikatilanteissa yhdessä moduulissa, ja aluksella on osa sähköntuotannosta toiminnassa satamaan palaamisen mahdollistamiseksi (safe-return-to-port). Sähköntuotantojärjestelmän hajauttaminen on ristiriidassa SOLAS-sopimuksen kanssa, koska se vaatii sähköjärjestelmien keskittämistä. SOLAS-sopimuksen vaatimuksia tähän liittyen tulee edelleen kehittää. (Tronstad ym. 2017, 80.)

5 MITEN IMO AIKOO EDETÄ LAINSÄÄDÄNNÖN SUHTEEN?

5.1 Polttokennot

IMO:n työryhmissä on keskusteltu matalan leimahduspisteen polttoaineiden sisällyttämisestä IGF-koodin alkumetreiltä lähtien. Alusta alkaen IMO:n tarkoitus oli kehittää lippuvaltioita sitovat kansainväliset standardimääräykset laivoille, jotka käyttävät polttoaineen kaasua tai muita matalan leimahduspisteen polttoaineita. Siksi CCC muodosti kokouksessaan (MSC.285 (86)) perustan muiden matalan leimahduspisteen polttoaineiden jatkokehitykselle, jotka tullessaan myöhemmin lisäämään IGF-koodiin. Tämän lisäksi IGF-koodin tulisi sisältää vaatimukset vaihtoehtoisille energian tuotantojärjestelmille kuten polttokennoille. Syyskuussa vuonna 2016 CCC3:ssa päätettiin laajentaa soveltamisalaa sisällyttämällä polttokennoja koskeva lainsäädäntö IGF-koodissa erilliseen osaan E (Part E). (Tronstad ym. 2017, 55.)

CCC3:ssa keskusteltiin myös polttokennoteknologiaan liittyvien määräyksien kehittämisestä IGF-koodiin. Polttokennojen sietokyky eri polttoaineiden epäpuhtauksille vaihtelee polttokennotyyppien mukaan. Kokouksessa ehdotettiin polttoaineen puhtauden jatkuvaa valvontajärjestelmän käyttöönottoa. Erityisesti kiinnitettiin huomiota matalan itsesytyvyyslämpötilan omaaviin polttoaineisiin, kuten vetyyn. Polttokennotilojen seinien ulkopuolelle tarvitaan lämpötilarajoitus, koska vety saattaa syttyä itsestään hyvin matalassa lämpötilassaakin. Lisäksi vedyn ilmanvaihtokanavissa saattaa syntyä staattista sähköä, joka lisää vedyn syttymisriskiä. (Tronstad ym. 2017, 57.) Nämä yllä mainitut esimerkit kuvaavat hyvin tilannetta mitä tulee vedyn ja polttokennojen turvallisuuteen. Lisätutkimuksia tarvitaan, jotta asianmukainen lainsäädäntö saadaan turvallisuuden takaamiseksi.

Marraskuussa 2019 CCC sai päätökseen väliaikaisen luonnoksen metyyli-/etyylialkoholia polttoaineena käyttävien laivojen turvallisuudesta. Tämä vietään vielä meriturvallisuuskomitean (MSC) kokoukseen hyväksyttäväksi. Vastaavasti CCC on edistynyt luodessaan samantyyppisen väliaikaisen ohjeistuksen polttokennojen asennusta varten laivoille. (IMO 2021g.)

Syksyllä 2021 CCC hyväksyi luonnoksen väliaikaisesta ohjeistuksesta merenkulun polttokennojen käyttöönotolle kokouksessaan (CCC7). Tavoitteena on luoda kansainväliset standardimääräykset lavoille, jotka käyttävät polttokennoteknologiaa energialähteenään. Uudet ohjeistukset kattavat mm. polttokennojen asennukset, palontorjunta- ja kaasuilmaisinjärjestelmät. Määräysten tarkoitus on varmistaa turvallinen ja luotettava sähköntuotanto polttokennojen avulla. Tämä luonnos toimitetaan IMO:n meriturvallisuuskomitean (MSC) hyväksyttäväksi huhtikuussa 2022. (IMO 2021h.)

5.2 Vety

Tällä hetkellä IMO:ssa keskustellaan metyyli-/etyylialkoholin hyväksymisestä polttoaineena polttokennoihin. Ongelmana on, että ensimmäinen asetuseritys perustui IGF-koodin asetuksille maakaasua varten. Metyyli-/etyylialkoholi on ominaisuuksiltaan erilainen kuin maakaasu, joten IGF-koodin määräysten soveltaminen sellaisenaan näihin ei ole relevanttia. Sama ongelma voi tulla

vastaa vedyn hyväksymisprosessissa polttoaineena polttokennoihin. (Tronstad ym. 2017, 56.)

CCC hyväksyi kokouksessaan (CCC6) ehdotuksen siitä, että kehitetään lisäyksiä IGF-koodiin liittyen matalan leimahduspisteen polttoaineita käyttäviä laivoja varten. Käytännössä tämä tarkoittaisi uusien osien (PART) lisäämistä IGF-koodiin. Vedylle tulisi oma osa (PART E) IGF-koodiin. Näitä lisäyksiä/muutoksia varten perustettiin oma työryhmä, Correspondence Group (CG), jonka tehtäviin jatkaa tätä työtä (IMO 2021). Tämä Part E tulisi todennäköisesti voimaan vuonna 2028 (MarHySafe 2021, 31).

Edellisessä kappaleessa mainitun vedyn käyttöä koskevan lainsäädännön kehittäminen on kesken IMO:ssa. Vaihtoehtoisin polttoaineisiin liittyvät asiat käsitellään IGF-koodiin liittyvän kehittämisen yhteydessä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että vedyn ja muiden matalan leimahduspisteen polttoaineiden mahdollisia käyttöönottoon liittyviä turvallisuusnäkökohtia kehitetään IGF-koodiin lisättäviksi. Nesteytettyä maakaasua koskevat määräykset ovat kehitetty minimoimaan miehistöön, laivaan ja ympäristöön kohdistuvia riskejä. Samaa periaatetta soveltaen kehitetään määräykset muiden kaasujen ja matalan leimahduspisteen polttoaineiden käyttämiselle polttoaineena laivalla. (IMO 2021h.)

6 MITEN LUOKITUSLAITOKSET AIKOVAT EDETÄ OHJEISTUKSIEN SUHTEEN?

Luokituslaitoksilla on omia sääntöjä polttokennojen asentamiseksi laivoihin, mutta ne eivät perustu IMO:n yleissopimukseen ja säännöstöihin. Polttokennojen laajamittaista käyttöönottoa varten tarvitaan IMO:n laatimat minimimääräykset, joiden pohjalta luokituslaitokset voivat laatia omat säännöt.

Vedyn käyttöön laivojen polttoaineena liittyy samat ongelmat kuin edellisessä kappaleessa. IGF-koodi tarvitsee IMO:n taholta määräykset muiden matalan leimahduspisteen polttoaineiden käytöstä laivojen polttoaineena. Kuten aiemmin todettiin tässä opinnäytetyössä, niin vedyn käyttöön liittyvät ohjeistukset ovat IMO:ssa vielä kesken. Tällä hetkellä vaihtoehtoisen suunnitteluprosessin kautta vety voidaan hyväksyä laivojen polttoaineeksi.

Polttokennojen osalta hyväksytään polttokennojen käyttöönottoa koskeva väliaikainen ohjeistus IMO:n taholta huhtikuussa 2022. Sen pohjalta luokituslaitokset tulevat päivittämään nykyiset ohjeistukset vastaamaan IMO:n väliaikaisia ohjeistuksia.

7 TUTKIMUSTULOKSET

7.1 Maissa käytettyjen vetysovelluksien soveltuvuus laivoihin

Vetysovellusten käyttöönotosta on kokemusta maissa teollisuuden ja liikenteen parissa. Näitä kokemuksia voidaan hyödyntää siirryttäessä maalta merelle vetysovellusten käyttöönotossa. Vaikka maissa käytetyissä vetysovelluksissa on onnistuttu varastoimaan vetyä turvallisesti, niin sama ei välttämättä päde laivoilla. Vedyn maasovellusten parissa on kuitenkin tapahtunut onnettomuuksia, joista voidaan ottaa opiksi merenkulun vetysovellusten kehittämisessä. Toisaalta laitevalmistajien ja loppukäyttäjien osaamisen puute merenkulun alan vetysovelluksista on este niiden käyttöönotolle. IMO ja luokituslaitokset ovat jo pitkään pitäneet perusperiaatteena, että maapohjaisen teknologian soveltaminen laivoihin vaatii aina turvallisuustason nostamista. Maalla turvalliseksi havaittu laite ei välttämättä kaikilta osin ole turvallinen merellä. (MarHySafe 2021, 31.) Näin ollen tarvitaan käytännön kokemuksia ja lainsäädännön kehittämistä vetysovellusten turvalliselle käyttöönotolle laivoilla.

7.2 Johtopäätökset

Tämän opinnäytetyön alussa esitettyihin kysymyksiin löytyi kattavasti erilaista materiaalia. Alussa kuvatut IMO:n ilmastostrategia, rikkidirektiivi ja MARPOL-yleissopimuksen ilmansuojeluliite (Annex VI) asettavat painetta merenkulun teollisuudelle kehittää ympäristöystävällisiä energiantuotantojärjestelmiä laivoihin.

IMO:n yleissopimuksissa ja säännöstoissa oli jo vuosia sitten ennakoitu mahdollinen tarve kehittää uutta teknologiaa laatimalla vaihtoehtoinen suunnittelu-prosessi, jossa riskianalyysien avulla korvataan ns. määräävä lainsäädäntö. Sen avulla todistetaan, että vetypolttokenno on yhtä turvallinen kuin konven-

tionaalinen öljykäyttöinen polttomoottoritekniikka. Tämä on huomattavasti työläämpi prosessi verrattuna valmiiden ns. määräävien sääntöjen mukaisesti toimimiselle. Käytännössä tämän hankkeen toteuttaja joutuu itse tunnistamaan riskit ja kehittämään suojamenetelmät niiden varalla. Jos olisi olemassa IMO:n yleissopimukset ja säännöt, joiden pohjalta tällainen projekti toteutettaisiin, niin se olisi huomattavasti helpompi ja halvempi vaihtoehto. Tästä johtuen IGF-koodiin tulee lisätä vedyn ja polttokennot kattava lainsäädäntö mahdollisimman pian. Tätä varten tarvitaan uutta tutkimusta vetypolttokennojen käyttöön liittyvistä riskeistä ja niiden eliminoimisesta.

IMO on keskeisessä roolissa lainsäädännön kehittämisessä vetypolttokennojen turvalliselle käyttöönotolle laivoissa. Positiivista on huomata, että sääntelytyössä on tapahtunut edistystä, kun IMO julkaisee väliaikaisen ohjeistuksen polttokennojen käyttöönotolle huhtikuussa 2022. Nämä julkaistavat ohjeistukset eivät sisällä vedyn käyttöä polttokennojen polttoaineena, joten se vaatii lisätutkimusta. Vety on räjähdys- ja paloherkkä kaasu, joten ihmisten ja ympäristön turvaamiseksi vaaditaan lisätutkimuksia ja teknisiä ratkaisuja riskien poistamiseksi ja minimoimiseksi.

Luokituslaitosten säännöt perustuvat yleensä IMO:n minimivaatimuksiin. Koska polttokennojen käyttöönottoon liittyviä IMO:n minimivaatimuksia ei ole, niin luokituslaitoksilla, kuten tässä opinnäytetyssä mainitulla ABS:lla, on omia sääntöjä polttokennojen siihen liittyen. Nämä säännöt eivät ole yhdenmukaisia kaikilta osiltaan. Jotta ne voisivat olla yhdenmukaiset, niin tarvitaan päivityksiä IMO:n sopimuksiin.

Positiivista on myös huomata, että erilaisia vetypolttokennohankkeita on käynnissä eri puolilla maailmaa. Niistä saadaan uutta tutkimustietoa, joita IMO ja luokituslaitokset voivat hyödyntää kehittäessään sääntöjä polttokennojen käyttöön ottamiseksi laivoissa. Yksi esimerkki on tässä opinnäytetyössä kuvattu MARANDA-projekti, josta saatiin empiiristä tietoa vetypolttokennojen käytöstä meriympäristössä.

LÄHTEET

ABS. 2019. Fuel Cell Power Systems for Marine and Offshore Applications. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/other/312_guidefuelcellpowersystemsmarineoffshoreapplications/fuel-cell-nov-2019.pdf [viitattu 10.10.2021].

ASME B31-12. 2019. Hydrogen Piping and Pipelines. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/b31-12-hydrogen-piping-pipelines> [viitattu 4.7.2021].

Detector. 2021. R-aineet eli kylmäaineet. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://detector.fi/r-aineet-eli-kylmaaineet/> [viitattu 3.12.2021].

Gianni, M. Pietra, A. & Taccani, R. 2021. Outlook of Future Implementation of PEMFC and SOFC onboard Cruise Ships. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/349351895_Outlook_of_future_implementation_of_PEMFC_and_SOFC_onboard_cruise_ships [viitattu 10.11.2021].

DNV. 2022. Quantative Risk Assesment. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.dnv.com/services/quantitative-risk-assessment-gra--1397> [viitattu 21.2.2022].

IGF Code. 2016. International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels. 2016 Edition. Lontoo: IMO.

IEC 60079-10. 2020. Classification of Areas - Explosive Gas Atmospheres. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://webstore.iec.ch/publication/63327> [viitattu 14.10.2021].

IEC 62282-2-100. 2020. Fuel Cell Modules – Safety. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://webstore.iec.ch/publication/59780> [viitattu 12.10.2021].

IEC 62282-3-100. 2019. Stationary Fuel Cell Power Systems – Safety. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://webstore.iec.ch/publication/59566> [viitattu 12.10.2021].

IEC 62282-3-200. 2015. Stationary Fuel Cell Power Systems - Performance Test Methods. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://webstore.iec.ch/publication/23736> [viitattu 12.10.2021].

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2009. Tutki ja kirjoita. Helsinki: Tammi.

HowStuffWorks. 2021. What Is Hydrogen Reformer? WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://auto.howstuffworks.com/fuel-efficiency/alternative-fuels/hydrogen-fuel-reformer.htm> [viitattu 17.2.2021].

IMO. 2018. Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Resolution%20MEPC.304%2872%29_E.pdf [viitattu 11.10.2021].

IMO. 2021a. Sub-Committee on Carriage of Cargoes and Containers (CCC). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/CCC-Default.aspx> [viitattu 17.12.2021].

IMO. 2021b. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx) [viitattu 1.12.2021].

IMO. 2021c. Marine Environment Protection Committee (MEPC). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MEPC-default.aspx> [viitattu 10.12.2021].

IMO.2021d. Maritime Safety Committee (MSC). WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MSC-Default.aspx> [viitattu 10.12.2021].

IMO. 2021e. About IMO. FAQs. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<https://www.imo.org/en/About/Pages/FAQs.aspx> [viitattu 7.7.2021].

IMO. 2021f. Energy Efficiency Measures. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Technical-and-Operational-Measures.aspx> [viitattu 6.12.2021].

IMO. 2021g. Sub-Committee on Carriage of Cargoes and Containers, 6th session (CCC 6), 9–13 September 2019. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/CCC-6th-session.aspx> [viitattu 20.9.2021].

IMO. 2021h. Sub-Committee on Carriage of Cargoes and Containers, 7th session (CCC 7), 6–10 September 2021. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/CCC-7th-session.aspx> [viitattu 20.9.2021].

INL. 2012. Reliability Estimation for Double Containment Piping. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://inldigitallibrary.inl.gov/sites/sti/sti/5558900.pdf> [viitattu 6.12.2021].

ISO/TR 15916. 2015. Basic Considerations for the Safety of Hydrogen Systems. WWW-dokumentti. Saatavissa:

<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:tr:15916:ed-2:v1:en> [viitattu 4.7.2021].

JAMK. 2021. Kirjallisuuskatsaukset. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://opimateriaalit.jamk.fi/yamk-kasikirja/kirjallisuuskatsaukset/> [viitattu 18.3.2021].

Langfeldt, L. 2017. Maritime Fuel Cell Applications – Regulations, Codes and Standards. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/2%20-%20Lars%20Langfeldt_DNVGL-2017-06-15_FI-NAL_rev%201.0%20with%20backup.pdf [viitattu 9.7.2021].

MarHySafe. 2021. Handbook For hydrogen-fuelled Ships. 1. Edition. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.dnv.com/maritime/publications/handbook-for-hydrogen-fuelled-vessels-download.html> [viitattu 11.7.2021].

MARANDA. 2021a. Preliminary Safe Analysis for Integrated Fuel Cell System and Hydrogen Storage. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://projectsites.vtt.fi/sites/maranda/files/Deliverable_2_4.pdf [viitattu 8.12.2021].

MARANDA. 2021b. Specification Report. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://projectsites.vtt.fi/sites/maranda/files/Deliverable_2_1.pdf [viitattu 8.12.2021].

MARPOL. 2017. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships. Consolidated Edition 2017. Lontoo: IMO.

Pohjoranta, A., Ihonen, J., Tommola, F., Hannesen, U., Kajava, M., Turcer, F., Ferrara, S., Karimäki, H., Grand-Clément, L., & Pajala, J. 2020. A fuel cell power unit and hydrogen storage for the research vessel Aranda. In Proceedings of TRA2020, the 8th Transport Research Arena: Rethinking transport – towards clean and inclusive mobility (pp. 241). Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. Traficom Research Reports No. 7/2020. PDF-tiedosto. Saatavissa: https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/33907180/MARANDA_TRA2020_HydrogenFuelCellPowerSystemForAranda_CLEAN_2019_10_18.pdf [viitattu 9.12.2021].

SOLAS. 2020. Safety of Life at Sea. Consolidated Edition 2020. Lontoo: IMO.

Suomen ympäristökeskus. 2021. Merentutkimusalus Aranda. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.syke.fi/fi-FI/Palvelut/Tutkimusalus_Aranda/Esittely [viitattu 8.12.2021].

Traficom. 2020. Muutoksia merenkulun päästövaatimukseen vuodenvaihteessa. Julkaistu 21.12.2020 15:45. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.traficom.fi/fi/ajankohtaista/muutoksia-merenkulun-ymparistovaatimukseen-vuodenvaihteessa> [viitattu 24.11.2021].

Tronstad, T. Åstrand, H. Haugom, G. & Langfeldt, L. 2017. Study on the use of fuel cells in shipping. EMSA European Maritime Safety Agency. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.emsa.europa.eu/publications/item/2921-emsas-study-on-the-use-of-fuel-cells-in-shipping.html> [viitattu 30.8.2021].

Valtioneuvosto. 2021. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://valtioneuvosto.fi/hanke?tunnus=LVM056:00/2007> [viitattu 11.7.2021].

Wikipedia. 2022a. Vety. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Vety> [viitattu 21.2.2022].

Wikipedia. 2022b. Polttokenno. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Polttokenno> [viitattu 21.2.2022].

KUALUETTELO

Kuva 1. Prosessikaavio alustavan suunnittelun vaiheesta (MarHySafe 2021, 35).

Kuva 2. Kategorisointimatriisi (MarHySafe 2021, 36).

Kuva 3. Prosessikaavio hankkeen lopullisesta hyväksynnästä (MarHySafe 2021, 38).

Kuva 4. Polttokennojärjestelmän konttien sijoittelu Arandan peräkannella (MARANDA 2021b, 9).

Kuva 5. Kaavio polttokenno- ja vedyn varastointijärjestelmästä (MARANDA 2021b, 19).

Kuva 6. Kaksoisputken rakenne (INL 2012, 2).

Kuva 7. Taulukko turvallisuustoiminnoista (ABS 2019, 53).