

Markus Lehtinen

Nesteytettyä maakaasua polttoaineena käyttävien alusten turvallisuus

Opinnäytetyö

Merenkulku

Maaliskuu 2016



KYAMK
University of Applied Sciences

Tekijä Markus Lehtinen	Tutkinto Merikapteeni	Aika Maaliskuu 2016
Opinnäytetyön nimi Nesteytettyä maakaasua polttoaineena käyttävien alusten turvallisuus		43 sivua
Toimeksiantaja Kotka Maritime Centre		
Ohjaaja Koulutuspäällikkö Timo Alava		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, mitä uusia turvallisuusvaatimuksia nesteytetyn maakaasun käyttö laivan polttoaineena aiheuttaa laivan miehistölle ja sen rakenteille. Tämän lisäksi selvitettiin tulevia koulutusvaatimuksia nesteytettyä maakaasua polttoaineena käyttävien alusten miehistölle.</p> <p>Työssä tutkittiin, minkälaisia erityisominaisuuksia nesteytetyllä maakaasulla on ja minkälaista vaaraa nämä ominaisuudet voivat aiheuttaa miehistölle ja laivan rakenteille. Mahdollisten vaaratilanteiden varalle pyrittiin löytämään toimintaohjeita ja ennaltaehkäiseviä toimenpiteitä. Turvallisuuspuolen lisäksi työssä tutkittiin, mitä vaatimuksia kansainvälisen merenkulkujärjestö asettaa miehistön koulutukselle ja aluksen rakenteille.</p> <p>Nesteytetyn maakaasun erittäin kylmä lämpötila ja aineen höyrystyminen lämmitessä aiheuttavat suurimmat turvallisuusriskit miehistölle. Lämpölaajeneminen ja -kutistuminen sekä aineen paineen muutos ovat taas aluksen rakenteiden kannalta suurimmat haasteet. Lähtökohtana miehistön turvallisuuden sekä rakenteiden ja laitteiden toimintakunnon takaamiseksi on vuotojen ennalta ehkäisy. Tämän lisäksi paloturvallisuuden kannalta on tärkeää, että syttymislähteet ja syttymiskelpoinen aine eliminoidaan vaara-alueilta. Vaaratilanteiden ennalta ehkäisemiseksi alukselta täytyy löytyä hälytysjärjestelmät, jotka mittaavat eri tilojen kaasupitoisuuksia sekä tankkien lämpötiloja ja höyrymuodostumista.</p> <p>Miehistön täytyy tietää, mitkä ovat maakaasun riskitekijät turvallisuuden kannalta aineen eri olomuodoissa. Aineen ominaisuuksien tunteminen auttaa miehistöä toimimaan oikein vuoto-, palonsammutus- ja ensiaputilanteissa. Miehistön on kyettävä myös ennalta ehkäisemään vaaratilanteita. Tämän vuoksi miehistön tulee saada riittävä koulutus. Koulutustaso riippuu siitä, mikä on miehistön jäsenen vastuu polttoaineen käsittelyssä ja käytössä laivalla. Vaaratilanteiden säännöllinen harjoittelu on aluksen turvallisen operoinnin ja miehistön turvallisuuden kannalta ensiarvoisen tärkeää.</p> <p>Opinnäytetyö tarjoaa kattavan tietopaketin uusista turvallisuustekijöistä aluksen polttoaineen vaihtuessa perinteisistä öljypohjaisista nesteytettyyn maakaasun. Työ kertoo myös, mitkä ovat nesteytettyä maakaasua polttoaineena käyttävien alusten miehistön koulutusvaatimukset sekä tarjoaa toimintaohjeita muun muassa ensiapuun ja palontorjuntaan.</p>		
Asiasanat maakaasu, LNG, nesteytetty maakaasu, turvallisuus, koulutus		

Author Markus Lehtinen	Degree Marine Technology, Master Mariner	Time March 2016
Thesis Title Safety of LNG-fuelled Ships		43 pages
Commissioned by Kotka Maritime Centre		
Supervisor Timo Alava, Training Manager		
Abstract <p>The thesis was composed in order study the safety of the crew and the requirements concerning the ship's structure on ships powered by liquefied natural gas (LNG). In addition, the aim of this study was to explore the training of the crew working on ships powered by LNG and find preventative actions to minimize dangerous situations. The objective was to find what possibly dangerous situations the use of LNG can cause to the crew, and what the ship's structural requirements are.</p> <p>The sources of this thesis consist of a variety of nautical books and publications. Furthermore, resolutions published by maritime safety committee for the ships using gases or other low-flashpoint fuels were used.</p> <p>Cold temperature storage and evaporation of LNG are the most considerable safety risks to the crew. Thermal expansion and the change in pressure of the substance are major challenges in terms of ship structures. In order to guarantee the safety of the crew, as well as the integrity of structures and components, it is important to prevent the leakage of the LNG. For the fire safety reasons, it is important that ignition sources are eliminated from hazardous areas. Vessels must be equipped with alarm systems which measure gas concentrations in different spaces and tank temperatures and steam generation. Regular training in case of incidents is important in order to achieve safe operation of the vessel and ensure the safety of the crew.</p> <p>The thesis provides comprehensive information on the new safety factors when using LNG as a ship's fuel. Also, the study introduces requirements for the crew's training and gives instructions for first-aid and firefighting.</p>		
Keywords natural gas, LNG, safety, training		

SISÄLLYS

LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 MAAKAASUN OMINAISUUDET JA TUOTANTO.....	7
2.1 Koostumus.....	8
2.2 Maakaasuvarannot ja tuotanto.....	9
2.3 Ominaisuudet.....	11
3 NESTEYTETYN MAAKAASUN KÄYTTÖ LAIVAPOLTTOAINEENA	11
3.1 Säädökset ja määräykset.....	12
3.1.1 IGF-koodi	12
3.2 Koneistovaihtoehdot	13
3.2.1 Höyryturbiinikoneisto.....	13
3.2.2 Dual fuel -moottori.....	14
3.2.3 Kaasumoottori.....	15
3.3 Nesteytetyllä maakaasulla toimivien laivojen osuus maailman aluskannasta	16
4 NESTEYTETYN MAAKAASUN ERITYISOMINAISSUUDET JA RISKITEKIJÄT	17
4.1 Vuototilanteet ja räjähdysvaara.....	18
4.2 Laajentuminen	19
4.3 Lastin sekoittuminen eli rollover.....	19
4.4 Nopea faasimuutos eli rapid phase transition (RPT).....	20
4.5 BLEVE-räjähdys	20
5 TURVALLISUUSTEKIJÄT MIEHISTÖN KANNALTA	20
5.1 Tukehtuminen	21
5.2 Häkämyrkytys	21
5.3 Kylmälle aineelle altistuminen.....	22
5.4 Kaasuvuotojen ja -palojen hallinta	23
5.4.1 Ilmastointi.....	24
5.4.2 Räjähämisaaran ennaltaehkäisy	25
5.4.3 Syttymislähteiden kontrollointi.....	25
5.5 Huolto-, tarkastus- ja korjaustoimenpiteet.....	26

5.6	Polttoainetäydennys	26
6	MIEHISTÖN KOULUTUS JA HARJOITTELU	30
6.1	STCW-vaatimukset	30
6.1.1	Peruskoulutus	31
6.1.2	Jatkokoulutus	32
6.2	Hätätilanneharjoittelu	36
7	VAATIMUKSET ALUKSEN RAKENTEILLE JA JÄRJESTELMILLE	36
7.1	Polttoaineen varastointi	36
7.2	Putkisto	37
7.3	Venttiilit	37
7.4	Höyrystin	38
7.5	Laitteistojen tukkeutuminen	38
7.6	Jäänmuodostuminen	39
7.7	Nesteytetyn maakaasun loukkuun jääminen	39
8	YHTEENVETO	39
	LÄHTEET	41

LYHENTEET

CNG	Compressed Natural Gas eli paineistettu maakaasu
ESD	Emergency shutdown eli hätäpysäytys
htp	Haitallinen tunnettu pitoisuus
IGC Code	International Code of the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk on kansainvälinen sopimus aluksille, jotka kuljettavat nestemäisiä kaasuja irtolastina
IGF Code	International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels on kansainvälinen sopimus aluksille, jotka käyttävät kaasua tai jotain muuta alhaisen leimahduspisteen omaavaa polttoainetta
IMO	International Maritime Organisation eli kansainvälinen merenkulkujärjestö
LNG	Liquefied Natural Gas eli nesteytetty maakaasu
LPG	Liquefied Petroleum Gas on kaupp nimi propaanille, butaanille tai näiden sekoituksille
MSC	Maritime Safety Committee on kansainvälisen merenkulkujärjestön alainen meriturvallisuuskomitea
NGL	Natural Gas Liquids eli nestekaasut
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development on 34 maan muodostama taloudelliseen yhteistyöhön keskittyvä järjestö
ppm	Parts per million eli miljoonasosa
SOLAS	International Convention for the Safety of Life at Sea on kansainvälinen meriturvallisuutta säätelevä sopimus.
STCW	International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers on kansainvälinen sopimus miehistön koulutuksesta, pätevyyksistä ja vahdinpidosta
tcm	Trillion cubic meters eli triljoona kuutiometriä

1 JOHDANTO

Jatkuvasti lisääntyvät päästörajoitukset laivaliikenteessä pistävät varustamot etsimään vaihtoehtoisia polttoaineita perinteisten öljypohjaisten aineiden tilalle. Tämän johdosta maakaasu on noussut uudeksi vaihtoehdoksi laivojen polttoainemarkkinoilla. Maakaasun käyttö on varustamoille varteenotettava vaihtoehto pienien päästöjensä takia. Sen käyttö laivan polttoaineena vaatii kuitenkin uutta osaamista miehistöltä, varsinkin turvallisuuteen liittyen. Laivoille se taas asettaa uusia rakenteellisia vaatimuksia.

Maakaasun fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet poikkeavat perinteisesti polttoaineena käytetyistä öljyistä oleellisin osin. Tämä tuo uudet vaatimuksensa aluksen rakenteille sekä miehistölle. Aluksen rakenteiden tulee kestää maakaasun asettamat vaatimukset ja miehistön tulee tietää mahdolliset vaaratekijät ja sen on kyettävä toimimaan mahdollisissa vaaratilanteissa.

Uuden polttoaineen tulo markkinoille vaikuttaa myös lainsäädäntöpuoleen. Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO on puuttumassa maakaasun käyttöön laivan polttoaineena. IMO:lla on omat säädöksensä ja vaatimuksensa koskien alusten rakennetta ja miehistön koulutusta. Aluksia jotka käyttävät matalan leimahduspisteen omaavia polttoaineita, joihin siis maakaasu kuuluu, koskevat säädökset ovat tulossa voimaan vuonna 2017.

2 MAAKAASUN OMINAISUUDET JA TUOTANTO

Maakaasu on kivihiilen ja öljyn rinnalla maailman tärkeimpiä energianlähteitä. Sitä käytetään lämmityksessä ja sähköntuotannossa sekä nykyään myös enenevässä määrin polttoaineena. Maakaasu kulkee maailmalla putkea pitkin kaasumaisessa olomuodossa ja laivojen kyydissä nestemäisenä.

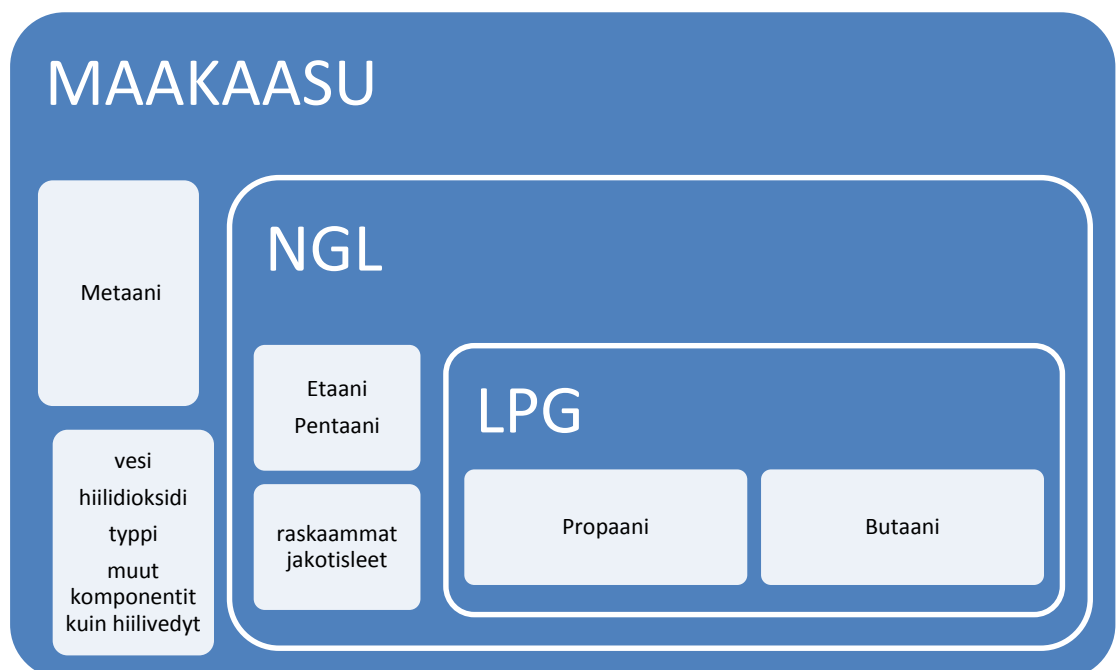
Maakaasun synty tapa on samanlainen kuin öljyllä, eli sitä on syntynyt pienten merieliöiden hajotessa ja hautautuessa meren pohjaan. Miljoonien vuosien kuluessa jäänteiden päälle on kertynyt maakerroksia, ja kovan paineen sekä lämmön vaikutuksesta eliöt ovat muuttuneet öljyksi ja kaasuksi. (EIA 2014.)

2.1 Koostumus

Maakaasu on luonnonkaasua, joka koostuu pääosin metaanista. Sen muita komponentteja ovat muun muassa etaani, propaani, butaani, typpi ja hiilidioksidi. Aivan kuten raakaöljyä myös maakaasua jalostetaan, ennen kuin sitä hyödynnetään teollisuudessa. Jalostusprosessi on huomattavasti yksinkertaisempi kuin öljyn. Hallitulla nesteytysprosessilla saadaan eroteltua muut kaasut metaanista (Karvonen 2013, 10). Sivutuotteena saatavien nestekaasujen (NGL), kuten etaanin, propaanin ja butaanin hyödyntäminen parantaa merkittävästi kaasuntuotannon kannattavuutta. (Suomen maakaasuyhdistys 2014, 6; Gasum 2015).

Maakaasun koostumus vaihtelee merkittävästi riippuen tuotantolähteestä. Esimerkiksi Venäjältä Siperiasta saatava maakaasu on 98-prosenttisesti metaania, kun taas Hollannin Groningenissa sijaitsevassa maakaasukentässä on metaania noin 81 prosenttia. Mitä suurempi metaanipitoisuus on, sitä paremmin maakaasu soveltuu polttoaineeksi. Runsaammin metaania raskaampia hiilivetyjä sisältävä maakaasu soveltuu taas paremmin raaka-aineeksi. Suomessa käytetty maakaasu on pääosin kotoisin Siperiasta Venäjältä. (Suomen kaasuyhdistys 2014, 6.)

Kuvassa 1 on kuvattuna nestekaasujen ja maakaasun suhde toisiinsa.



Kuva 1. Maakaasun ja nestekaasujen välinen suhde. (McGuire & White 1986, 2)

2.2 Maakaasuvarannot ja tuotanto

Maakaasua saadaan maakaasu- ja öljyesiintymistä, jotka voivat sijaita maalla tai merellä (Gasum 2015). Maakaasuesiintymiä on ympäri maapalloa, mutta merkittävimmät esiintymät ovat Lähi-idässä ja Venäjällä (Energiateollisuus 2015). Perinteisten esiintymien lisäksi, tämän vuosituhannen alussa onnistuttiin kehittämään tekniikka, jolla voidaan taloudellisesti kannattavasti hyödyntää liuskekivestä saatavaa maakaasua. Liuskekivestä saatava maakaasu, eli liuskekaasu, onkin mullistanut maakaasutuotannon viime vuosina. Esimerkiksi Yhdysvalloilla on mittavat liuskekaasuvarannot. Maa nousikin maailman suurimmaksi maakaasun tuottajaksi ohi Venäjän vuonna 2009, mutta sen todetut maakaasuvarat ovat silti huomattavasti pienemmät kuin Venäjällä. (BP 2014, 20, 22).

Uusia liuskekaasuvarantoja kartoitetaan jatkuvasti, mutta niiden hyödyntämisessä voi kulua vuosia, koska liuskekaasun tuotantoon liittyy paljon kysymyksiä liittyen tuotannon kustannuksiin, lainsäädäntöön ja ympäristöriskeihin. Varsinkin maan- ja vedenkäyttö sekä pinta- ja pohjavesien pilaantuminen herättää julkista keskustelua. Liuskekaasun tuotanto onkin useissa maissa kielletty. Ympäristökysymysten ohella ongelmaksi on noussut liuskekiven puutteellinen laatu sekä oikeanlaisten taloudellisten ja poliittisten kannustimien löytäminen, niin että tuotanto on kannattavaa. On muistettava myös, että liuskekaasutuotanto tarvitsee uutta infrastruktuuria, tekniikkaa ja koulutettua työvoimaa. Kaikki tämä nostaa tuotantokustannuksia. Yhdysvalloissa yhtiöllä on liuskekaasuvarantojen hyödyntämiseen vaadittava tekniikka ja liuskekiven laatu on riittävän hyvä. Siellä näiden varojen hyödyntäminen onkin erittäin kustannustehokasta. Yhdysvaltalaisyhtiöillä ei ole kuitenkaan vielä halua laajentaa toimintaansa ulkomaille, vaan ne keskittyvät tutkimaan kotimaan varantoja sekä kehittävät edelleen varojen hyödyntämiseen vaadittavaa tekniikkaa. (Förström & Koljonen 2013, 16-17; Karjalainen 2015.)

Euroopan liuskekaasuvarojen hyödyntämistä jarruttavat tällä hetkellä lainsäädännölliset ongelmat. EU-tason sääntelyä ei ole, minkä vuoksi Euroopassa ei liuskekaasuvarantoja pystytä hyödyntämään. (Kähkönen 2015.)

Maakaasun tuotanto tapahtuu poraamalla kaasua maankuoren esiintymistä. Perinteisen vertikaalisen poraamisen rinnalla on tullut uusia tuotantotapoja liuskekaasuesiintymien hyödyntämisen myötä. Näitä ovat niin sanottu horisontaalinen poraaminen ja vesisärötys (fracking). Vesisärötyksessä porausreikään pumpataan kovalla paineella vettä, hiekkaa ja kemikaaleja, jotka synnyttävät halkeamia liuskekiveen. Halkeamista maakaasu purkautuu porausreikään pumpattavaksi. (Forsström & Koljonen 2013, 11-12; Taloussanomat 2014.)

Maakaasuesiintymät jaetaan konventionaalisiin ja epäkonventionaalisiin esiintymiin geologisten olosuhteiden ja hyödyntämiseen käytetyn tekniikan perusteella. Maakaasu on konventionaalisisessa esiintymässä hiekassa sekä karbonaatissa, tällöin maakaasun tuotannossa voidaan käyttää perinteisiä menetelmiä. Epäkonventionaalisisessa esiintymässä kaasua on tiheämmässä maaperässä, jonka läpäisevyys on pieni, minkä vuoksi kaasun tuotannossa joudutaan käyttämään vesisärötystä. Taulukossa 1 kuvataan maailmalla vuonna 2013 tiedossa olevien maakaasuvarantojen määrä jaoteltuna konventionaalisiin ja epäkonventionaalisiin esiintymiin. (Forsström & Koljonen 2013, 11.)

Taulukko 1. Arvio hyödynnettävissä olevista maakaasuvaroista vuonna 2012 (Forsström & Koljonen 2013, 13)

Alue	Konventionaalinen, tcm	Epäkonventionaalinen, tcm	Yhteensä
Itä-Eurooppa ja Euraasia	144	44	187
Lähi-itä	125	12	137
Aasia	43	94	137
OECD- Amerikka	47	67	114
Afrikka	49	40	88
Latinalainen Amerikka	32	48	80
OECD Eu- rooppa	24	22	46
Yhteensä	462	328	790

2.3 Ominaisuudet

Maakaasu on väritön, hajuton, mauton ja myrkytön hiilivety. Sen palamistuotteena syntyy hiilidioksidia, vesihöyryä ja typenoksideja. Tämän lisäksi se ei sisällä juuri ollenkaan rikkiä eikä lainkaan pölyä ja raskasmetalleja. Näiden ominaisuuksien ansiosta se on erinomainen vaihtoehto polttoaineeksi. Jalostamalla maakaasusta saadaan kulkuneuvoihin soveltuvaa polttoainetta, kuten nesteytettyä maakaasua (LNG) ja paineistettua maakaasua (CNG). (Gasum 2015.)

Nesteytetyn maakaasun tilavuus on 1/600 verrattuna kaasumaiseen olomuotoon. Muuttuakseen nestemäiseen muotoon on maakaasu jäähdytettävä alle sen kiehumispisteen, joka on -162 astetta. Maakaasun tiheys nestemäisessä olomuodossa on 0,42, joten sen vie enemmän tilaa kuin öljypohjaiset polttoaineet, joiden suhdeluku on 0,8 - 1,0. Tämä heijastuu laivaolosuhteisiin niin, että polttoainetankkien täytyy olla suuremmat, millä voi olla taas vaikutuksia lastikapasiteettiin. (TTL 2014.)

3 NESTEYTETYN MAAKAASUN KÄYTTÖ LAIVAPOLTTOAINEENA

Nesteytetty maakaasu soveltuu ominaisuuksiensa vuoksi erinomaisesti laivojen polttoaineeksi. Varsinkin uusien tiukempien päästösopimusten vuoksi on erittäin tärkeätä, että rikki- ja typpipäästöt ovat alhaiset. Myös se, että maakaasun palamistuotteena ei tule raskasmetalleja, on suuri etu, koska näin koneisto säilyy paremmassa kunnossa ja huoltoväli voi olla pidempi. Lisäksi on yleisesti tiedossa, että maailman maakaasuvarannot ovat suuremmat kuin öljyn, mikä tekee nesteytetystä maakaasusta entistä houkuttelevamman vaihtoehtona polttoaineeksi.

Maakaasun hyödyntämistä polttoaineena hidastaa vielä puutteellinen jakeluinfrastrukturi, minkä vuoksi sen saatavuus ei ole läheskään samalla tasolla kuin perinteisemmällä laivapolttoaineilla. Tähän on tulossa merkittävää parannusta lähitulevaisuudessa, kun uusia kaasuterminaaleja avautuu.

3.1 Sädökset ja määräykset

Globaalin ympäristötietoisuuden lisääntyminen ja halu rajoittaa kasvihuonepäästöjä viime vuosien aikana on heijastunut vahvasti myös merenkulkuun. Tämä on ajanut myös kansainvälistä merenkulkujärjestöä (IMO) tiukentamaan päästörajoituksia, etenkin herkemmällä merialueilla. Päästörajoitusten tiukentaminen on taas johtanut vaihtoehtoisten polttoaineiden hyödyntämiseen perinteisten öljypohjaisten sijasta. Kaikki tämä on tapahtunut niin lyhyellä aikavälillä, että IMO:n lainsäädäntötyö laahaa pahasti perässä.

3.1.1 IGF-koodi

Johtuen nesteytetyn maakaasun käytön lisääntymistä laivojen polttoaineena IMO:ssa on ollut jonkin aikaa valmisteilla sopimus, joka sääntelisi kaasun käyttöä asettaen vaatimuksia laivojen koneistoille, rakenteille ja turvallisuudelle. Sopimus on asetettu koskemaan aluksia, jotka käyttävät kaasua tai alhaisen leimahduspisteen omaavia polttoaineita. Sen nimi on International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels (IGF code). IMO:n alainen meriturvallisuuskomitea (MSC) sai kesällä 2015 viimein päätettyä IGF-koodin sisällöstä ja voimaantumisen aikataulusta. Sopimus tulee voimaan vuoden 2017 alusta.

IGF-koodin tarkoituksena on luoda yhtenäiset kansainväliset standardit aluksille, jotka käyttävät matalan leimahduspisteen omaavia polttoaineita, mutta eivät kuulu IGC-koodin piiriin. Koodi antaa pakollisia säädöksiä koskien koneiston ja laitteiden järjestelyä, asennusta ja valvontaa. Säädösten tarkoituksena minimoida alukseen, miehistöön ja luontoon kohdistuvat riskit, ottaen huomioon polttoaineen luonteen. (MSC 2015a.)

Koodi on jaettu 19 kappaleeseen. Valtaosa koodista (11 kappaletta) keskittyy erityisvaatimuksiin niille laivoille, jotka käyttävät maakaasua polttoaineena. Nämä kappaleet sisältävät vaatimuksia aluksen rakenteille, laitteistoille, tankkeille, putkistoille ja niiden materiaaleille sekä polttoainetäydennyksille, palontorjuntaan ja aluksen ilmastointiin. Koodi puuttuu myös sähköasennuksiin ja valvonta-, monitorointi- ja turvallisuusjärjestelmiin. (MSC 2015a.)

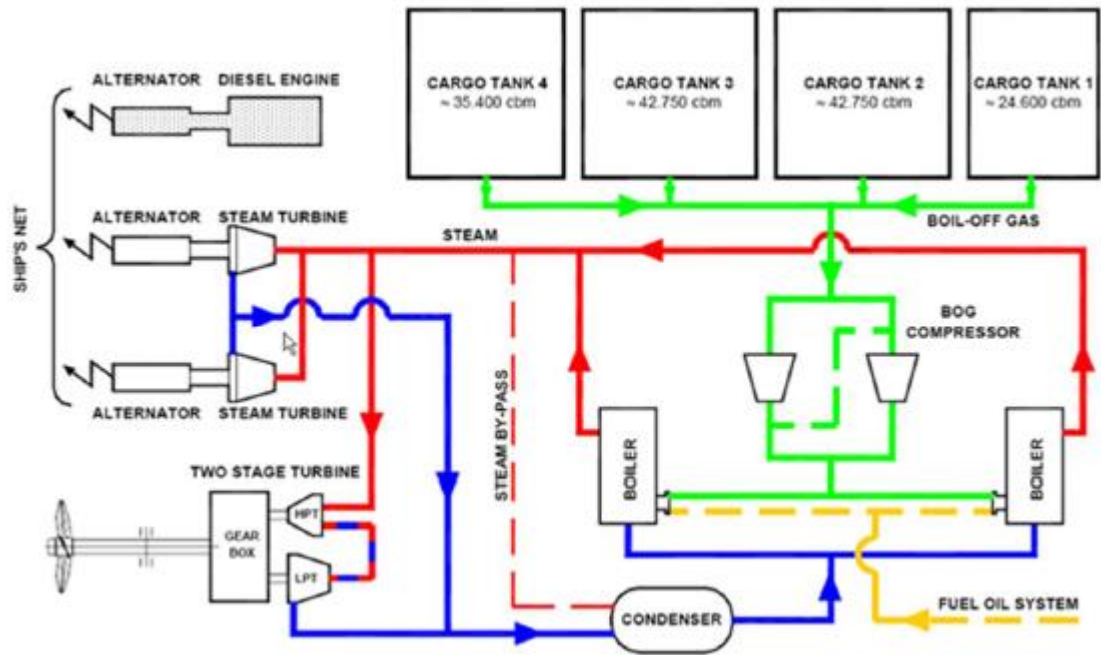
3.2 Koneistovaihtoehdot

Vaikka puhutaan nesteytetystä maakaasusta polttoaineena, sitä kuitenkin vain säilytetään nestemäisessä olomuodossa. Polttoaineena käytettäessä sen tulee olla kaasumaisessa olomuodossa. Olomuodon muutos tehdään joko erillisen höyrytimen avulla tai hyödyntäen tankissa olevan nesteytetyn maakaasun boil-off-kaasua. On myös mahdollista käyttää sekä höyrytintä, että hyödyntää tämän lisäksi polttoainetankin boil-off-kaasu. (Lindholm 2015, 23, 39.)

Vaatimuksena maakaasulla toimiville koneistoille on, että ne ovat yhtä turvallisia, luotettavia ja käyttövarmoja kuin perinteiset öljypohjaisilla polttoaineilla toimivat koneet. Ilmastoinnin ja hälytys- ja turvallisuusjärjestelmien pitää taata, että polttoaineesta johtuvat vaarat pidetään minimissä. Suunnittelufilosofian tulee varmistaa, ettei laitteistosta johtuvaa äkillistä sähkövirran menetystä tapahdu laivalla. Koneistojen, järjestelmien ja osien suunnittelun, rakenteen, asennuksen ja huollon tulee taata turvallinen ja luotettava aluksen operointi. (MSC 2015a.)

3.2.1 Höyryturbiinikoneisto

Perinteisempi tapa hyödyntää nesteytettyä maakaasua laivapolttoaineena on höyryturbiinikoneisto. Tätä systeemiä hyödyntävät yleensä nesteytettyä maakaasua lastina kuljettavat alukset, eli LNG-tankkerit. Nämä alukset hyödyntävät höyrykattiloiden polttoaineena lastina olevaa nesteytettyä maakaasua, joka lämpenee lastitankissa ja näin höyrystyy. Tätä kaasua kutsutaan boil-off-kaasuksi. Kuvassa 2 näkyy kuinka lastitankin boil-off-kaasu johdetaan kattiloille ja sieltä eteenpäin turbiineille ja lopulta propulsiotehoksi. Tässä koneistovaihtoehdossa kaikki laivan tärkeimmät toiminnot, kuten propulsioteho sekä sähkö- ja lämmöntuotto tuotetaan höyryllä. Höyryturbiinikoneiston etuja ovat sen luotettavuus ja vähäinen huoltotarve. Huonoja puolia taas ovat huono kokonaishyötysuhde ja koneiston suuri koko, minkä lisäksi koneisto käyttö vaatii vielä erityisosaamista konemiehistöltä. (Lindholm 2015, 40-41.)

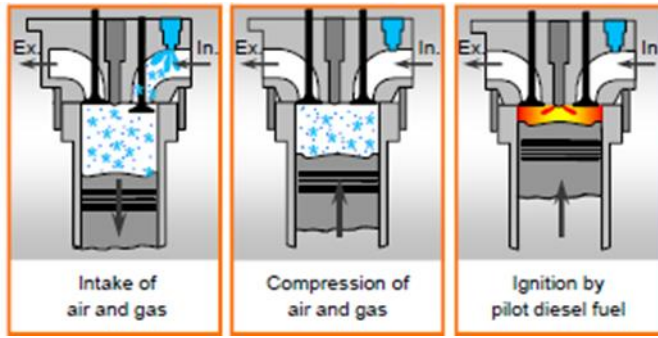


Kuva 2. Höyryturbiinikoneiston toimintaperiaate. (Lindholm 2015, 41)

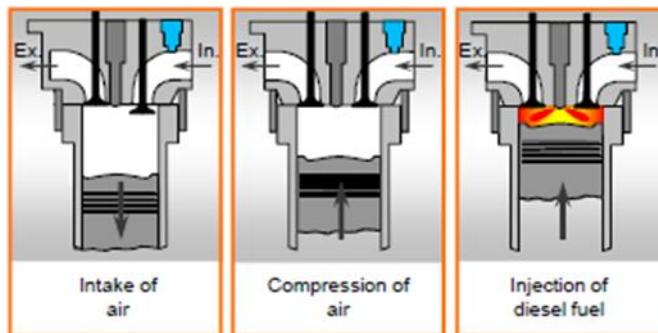
Höyryturbiinikoneistojen pakokaasujärjestelmät tulee olla varustettu paineenalennusjärjestelmällä, mahdollisia kaasuvuotoja ja niitä seuraavaa räjähdysvaaraa varten. Ylimääräiset paineet tulee johtaa turvalliseen tilaan pois miehistön lähetyviltä. Liian korkeasta pakokaasun lämpötilasta aiheutuvia vaaratilanteiden vuoksi, jokaisen turbiinin täytyy olla varustettu automaattisella pysäytysjärjestelmällä. Epäpuhdasta polttoaineen palamista ja palamattoman polttoaineen pääsyä pakokaasujärjestelmään pitää pystyä valvomaan. Kun valvontajärjestelmä havaitsee ongelmia tässä, tulee polttoaineensyötön katketa. (MSC 2015a.)

3.2.2 Dual fuel -moottori

Dual fuel -moottorit toimivat nimensä mukaisesti kahta eri polttoainetta käyttäen. Nämä ovat yleensä jokin öljypohjainen polttoaine ja maakaasu. Kun halutaan ajaa maakaasulla, öljypohjainen polttoaine toimii esipolttoaineena, joka saa maakaasun ja ilman muodostaman seoksen syttymään (Kuva 3). Tämä esipolttoaine voi olla kevyttä tai raskasta polttoöljyä. Dual fuel -tekniikkaa käytävillä moottoreilla voidaan ajaa myös pelkästään öljypohjaisella polttoaineella (Kuva 4). (Potapov 2012, 21.)



Kuva 3. Dual fuel -moottorin polttoaineen syöttö ajattaessa maakaasulla. (Potapov 2012, 21)



Kuva 4. Dual fuel -moottorin polttoaineen syöttö ajattaessa vain öljypohjaisella polttoaineella. (Potapov 2012, 21)

Dual fuel -moottorin etuja on sen korkea mekaaninen hyötysuhde ja mahdollisuus käyttää eri polttoaineita. Koska eri merialueilla on erilaiset päästörajat, ja polttoaineiden hintojen vaihtelu voi välillä olla rajuakin, voidaan dual fuel -moottorin avulla optimoida edullisimman polttoaineen käyttö.

Kaasun käyttö polttoaineena tuo myös uutta sääntelyä dual fuel -moottoreiden toimintaan. Jos kaasun syöttö lakkaa, on dual fuel -moottorin silti pystyttävä katkeamattomaan käyntiin pelkästään öljypohjaista polttoainetta käyttäen. Moottorin toiminnassa ei myöskään koskaan saa tulla tilannetta, jossa kaasunsyöttö katkeaa myöhemmin kuin esipolttoaineen. (MSC 2015a.)

3.2.3 Kaasumoottori

Markkinoille on kehitetty myös puhtaasti maakaasulla toimiva koneistovaihtoehto. Näissä moottoreissa korvataan dual fuel -moottoreissa toimiva öljypohjainen esipolttoaine kipinäsyötöllä (Spark-Ignited Gas). (Wärtsilä 2015.)

Tämän koneistonvaihtoehdon etu on, että voidaan kokonaan luopua öljypohjaisten polttoaineiden käytöstä. Sen seurauksena polttoaineiden varastointi ja hallinnointi helpottuu, kun ei tarvitse säilyttää aluksella useita erilaisia polttoaineita. Toisaalta tietty käyttövarmuus katoaa, kun ei ole vaihtoehtoa ajaa öljypohjaisella polttoaineella. Kaasun jakeluinfraktuurin ollessa vielä vajavainen on polttoainetäydennykset mietittävä huolella.

Samoin kuin dual fuel -moottorissa ei myöskään kaasumoottorin toiminnassa saa koskaan tulla tilannetta, jossa kaasunsyöttö katkeaa myöhemmin kuin sytymislähteen, eli kipinänsyöttö. Ei saa myöskään olla mahdollista sulkea kipinän syöttöä ennen kuin on sulkenut kaasunsyötön. (MSC 2015a.)

3.3 Nesteytetyllä maakaasulla toimivien laivojen osuus maailman aluskannasta

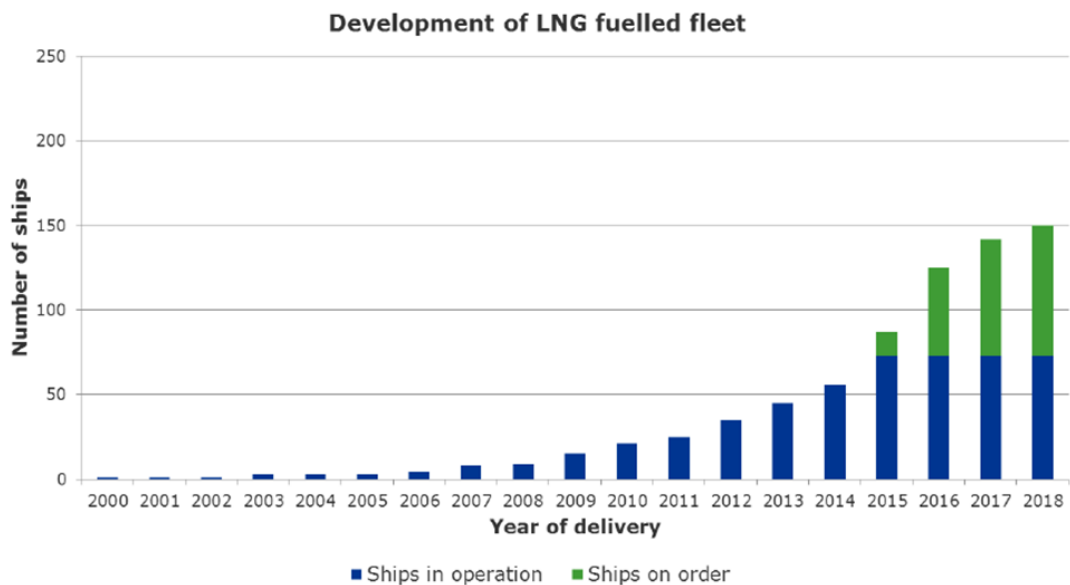
Nesteytetyllä maakaasulla toimivat alukset ovat yhä vain murto-osa koko maailman aluskannasta. Kasvu on kuitenkin merkittävää vuositasolla ja on todennäköistä, että se tulee tulevaisuudessa vielä kiihtymään. Maailmalla liikkuu noin 370 LNG-tankkeria ja niistä 260 käyttää höyryturbiinikoneistoa ja 60 dual fuel -moottoria. Loput aluksista käyttävät muita koneistovaihtoehtoja. Näissä tapauksissa boil-off-kaasu nesteytetään takaisin lastitankkeihin ja moottorin polttoaineena toimii esimerkiksi raskas polttoöljy. (WPCI 2015.)

Höyryturbiinikoneistojen korkea määrä selittyy sillä, että LNG-tankkereiden käyttöikä on pitkä ja dual fuel -moottorit ovat kohtalaisen uusi vaihtoehto laivamoottorimarkkinoilla. Dual fuel -moottoreiden käyttö yleistyi vasta 2000-luvun alkupuolella ja nykyään se on suosituin vaihtoehto LNG-tankkereihin. (Lindholm 2015, 40.)

Jos LNG-tankkerit jätetään pois laskuista, lokakuussa 2015 maailmalla operoi 73 nesteytetyllä maakaasulla toimivaa alusta. Samaan aikaan varmistuneita uudisrakennus- ja muunnosprojekteja oli 80. Loppuvuodesta tämä luku lisääntyi ainakin kahdella, kun ESL Shipping tiedotti marraskuussa tilanneensa kaksi uutta LNG-käyttöistä alusta. Alukset luovutetaan käyttöön vuonna 2018. Suomalaisvarustamot ovat muutenkin viime vuosina valinneet tuleviin uudisrakennuksiin nesteytettyä maakaasua hyödyntäviä moottoriratkaisuja. Vuonna 2013 Viking Line otti käyttöön uuden matkustaja-aluksen Viking Gracen ja 2014 Rajavartiolaitos sai käyttöönsä uuden vartioaluksen Turvan. Molemmat alukset hyödyntävät polttoaineena nesteytettyä maakaasua. Tämän lisäksi Liikennevi-

rasto on tilannut uuden LNG-käyttöisen jäänmurtajan, joka luovutetaan käyttöön vuonna 2016 ja Containerships saa ensimmäisen kuudesta tilamaastaan LNG-käyttöisestä konttialuksesta käyttöön vuonna 2017. (DNV GL 2015; ESL Shipping 2015.)

Taulukossa 2 on kuvattuna kuinka nesteytetyllä maakaasulla kulkevat alukset ovat yleistyneet 2000-luvulla, sekä minkälaiselta kehitys näyttää tulevaisuudessa. Sininen palkki kuvaa käytössä olevia aluksia ja vihreä palkki kyseisenä vuonna käyttöönotettavia uudisrakennuksia. Nämä tilastot eivät sisällä LNG-tankkereita.



Taulukko 2. LNG-käyttöisten alusten määrän kehittyminen 2000-luvulla. (DNV GL 2015)

4 NESTEYTETYN MAAKAASUN ERITYISOMINAISUUDET JA RISKITEKIJÄT

Nesteytetyllä maakaasulla on kolme merkittävää ominaisuutta, jotka tulee ottaa huomioon. Nämä ovat aineen kylmyys, nopea laajentuminen ja sekoittuessaan ilman kanssa se on helposti syttyvää. Nämä ominaisuudet täytyy tiedostaa ja pitää mielessä aina kun ollaan tekemisissä nesteytetyn maakaasun kanssa. Tämä helpottaa vaaratilanteiden ennaltaehkäisemistä ja auttaa toimimaan oikealla tavalla vaaratilanteissa.

IGF-koodi vaatii, että laivoilla on suoritettu riskien arviointi siitä, miten matalan leimahduspisteen omaavien polttoaineiden käyttö vaikuttaa miehistön turvallisuuteen, ympäristöön ja aluksen rakenteisiin. Ennalta tulisi miettiä erilaisia vaaratilanteita, kuten tilannetta, jossa kone lakkaa toimimasta, jokin koneen osa hajoaa, sattuu tulipalo, räjähdys, vuoto tai sähköisku. Tällaisten mahdollisten vaaratilanteiden riskit on minimoitava. (MSC 2015a.)

4.1 Vuototilanteet ja räjähdysvaara

Vuototilanteessa alkaa aineen voimakas kiehuminen ja sitä seuraava höyrystyminen. Aine muuttuu siis olomuotoaan nesteestä kaasuksi lämpimän ympäristönsä vuoksi. Ympäröivän ilman ja maaperän, laivaolosuhteissa laivan rakenteiden, lämpötila vaikuttaa siihen, kuinka voimakasta kiehuminen ja höyrystyminen ovat. (SFS 2013, 15.)

Aluksi höyrystymisestä syntynyt kaasu on suunnilleen yhtä kylmää kuin neste ja tiheämpää kuin ilma. Tästä johtuen se virtaa kerroksiksi lattiatasolle. Kaasun lämmitettyä noin -80 asteeseen sen tiheys on kevyempää kuin ilma. Kaasu on kuitenkin sekoittuneena ilmaan muodostaen Ilmakaasu-seoksen. Tämä seos lähtee kulkeutumaan ylöspäin vasta, kun sen lämpötila on kohonnut niin paljon, että se on vähemmän tiheää kuin ympäröivä ilma. (SFS 2013, 16.)

Vuotanut kaasu ja ilmassa olevan vesihöyryn tiivistyminen muodostavat ”sumupilviä”. Näistä pilvistä on hyvä ennakoida vuodon liikkeitä. Ne antavat myös heikkoa vihiä siitä, missä voisi olla syttyvää ilmakaasu-seosta. Vuodon ollessa putkistossa, nesteytetty maakaasu suihkuu ulos samaan aikaan laajentuen ja höyrystyen. Samalla tapahtuu voimakas ja nopea sekoittuminen ilman kanssa. (SFS 2013, 16.)

Kaasuilma-seos voi syttyä, kun kaasu osuus on 5 - 15 prosenttia seoksen tilavuudesta. Alue, jossa ilmakaasu-seos voi syttyä, on suhteellisen kapea ja siksi vaikeasti paikallistettavissa. Seos on liian rikas kohdassa, jossa vuoto on ja toisaalta taas liian laiha reuna-alueilla. Näiden kohtien väliin johonkin jää sytymiskelpoinen seos. (SFS 1999, 98.)

4.2 Laajentuminen

Voimakas lämpölaajentuminen on luonnollisesti ominaista nesteytetylle maakaasulle, koska kiehumispiste on niin matala. Tämän vuoksi on tärkeää, etteivät nesteytettyä maakaasua sisältävät tankit ja putket pääse altistumaan ulkoisille lämmön lähteille. Laitteisto, putket ja tankit tulee varustaa asianmukaisilla ilmanpoistoaukoilla ja/tai paineenalennusventtiilillä sekä ne tulee suojata tulipalojen varalta. IGF-koodi vaatii, että kaikki polttoainetankit tulee varustaa paineenalennusventtiilillä. Putkistojen ja polttoainetankkien tulee kestää äärimmäisistä lämpötilavaihtelusta johtuvaa lämpölaajenemista tai -supistumista. Putket ja tankit täytyy myös suojata liialta rungon liikkeiden aiheuttamalta rasitukselta. Lisäksi laivan rungon lähetyvillä kulkevat putket tulee olla lämpöeristettyjä, niin ettei rungon lämpötila putoa alle rungon materiaalin suunnitellun lämpötilan. (SFS 2013, 16, 18; MSC 2015a.)

4.3 Lastin sekoittuminen eli rollover

Joissain tilanteissa polttoainetankissa voi olla kahta erilaista laatua olevaa nestemäistä maakaasua. Tällöin vaaran aiheuttaa näiden aineiden sekoittuminen keskenään. Laatueroista johtuen aineiden koostumukset ovat erilaiset, mikä vuoksi niiden tiheys on eri. Erilaisten aineen tiheyksiensä vuoksi nämä eri laatuiset polttoaineet kerrostuvat toistensa päälle. Tiheämpi aine asettuu luonnollisesti tankin pohjalle ja kevyempi aine tämän päälle. Tällaisen lastin äkillinen lämpeneminen aiheuttaa sen, että tiheydet pyrkivät tasoittumaan. Lämpö purkautuu ylhäältä höyryksi, eli ylempi neste jäähtyy. Alempi neste taas lämpenee voimakkaasti ja sen tiheys pienenee. Kun tiheydet ovat yhtä suuret, eri kerrokset sekoittuvat nopeasti keskenään ja alempi erittäin lämmin neste nousee tankin yläosaan, jossa se höyrystyy voimakkaasti. Tätä spontaania ja nopeaa eri kerrosten sekoittumista keskenään kutsutaan englannin kielen termillä rollover. Tämä voimakas höyrystyminen ei ole enää niin sanottua hallittua boil-off-kaasua ja se saattaa aiheuttaa vaurioita lastitankkiin. (SFS 2013, 17.)

Lastin sekoittumista voi ennaltaehkäistä hyvällä varastojen hallinnalla ja sillä, että polttoainetäydennyksien kanssa tekemisissä olevat henkilöt tuntevat tankkihistorian. Tähän kuuluu kirjanpito siitä, minkälaista tavaraa tankeissa on ollut ja mitä tavaraa niihin on mahdollisesti tulossa. Jos aineiden laatu ja koostumukset poikkeavat paljon toisistaan, on ne ehdottomasti pidettävä eri tan-

keissa. Boil-off-kaasun määrien tarkkailu on ensiarvoisen tärkeää ennakoimassa mahdollista lastin sekoittumiseen liittyvää riskiä. Huomiota tulee kiinnittää siihen, ettei tankissa oleva neste varastoi lämpöä. Jos näyttää, että boil-off-kaasua syntyy merkittävästi normaalia vähemmän, vaaran merkit ovat ilmassa. Nämä arvot ovat luettavissa mittareista. (SFS 2013, 17.)

4.4 Nopea faasimuutos eli rapid phase transition (RPT)

Nopea faasimuutos on mahdollinen, kun kaksi merkittävästi eri lämpötilan omaavaa nestettä kohtaa. Tämä on esimerkiksi mahdollista, jos nesteytettyä maakaasua vuotaa mereen. Tässä reaktiossa on kaikki räjähdysen piirteet paitsi palaminen. Syntyy voimakas veden kiehumisen jonka seurauksen erittäin nopea höyrystyminen. Kylmä höyry voi vahingoittaa aluksen rakenteita ja aiheuttaa vaaraa ympärillä oleville ihmisille. (SFS 2013, 18; Karvonen 23.)

4.5 BLEVE-räjähdys

Äkillisestä paineen alenemista johtuva nesteen kiehumisen ja höyrystyminen ja sitä seuraava paineen purkautuminen ovat vaaratekijöitä, jos nestekaasua säilytetään paineistetussa tankissa. Paineen purkautumista kutsutaan BLEVE-räjähdykseksi, joka tulee englannin kielen sanoista Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion. Vuototilanteessa säiliön paine laskee ja neste rupeaa kiehumään sekä höyrystymään nopeasti ja voimakkaasti. Tämän seurauksena aine laajenee erittäin nopeasti ja aiheuttaa lopulta tankin räjähtämisen, minkä voimasta laiva voi liikkua jopa useita satoja metrejä. (SFS 2013, 18.)

5 TURVALLISUUSTEKIJÄT MIEHISTÖN KANNALTA

Kun ollaan tekemisissä nesteytetyn maakaasun kanssa, on otettava huomioon lukuisia eri tekijöitä, jotka asettavat haasteita miehistön turvallisuudelle ja terveydelle. Vuototilanteet voivat aiheuttaa räjähdys- ja tukehtumisvaaran lisäksi aineen kylmyydestä johtuen myös paleltumia. Lisäksi miehistön turvallisuutta ajatellaan on otettava huomioon laivaolosuhteet, jotka asettavat omat haasteensa.

5.1 Tukehtuminen

Maakaasu ei ole myrkyllistä ja pieninä pitoisuuksina hengitettynä se ei aiheuta oireita. Uneliaisuutta, päänsärkyä, pahoinvointia tai huimausta voi esiintyä, kun ilmassa on 10 tilavuusprosentin verran maakaasua. Vaarallinen hapenpuute seuraa, jos tilavuusprosentti ilmassa kasvaa 20 – 30 prosenttiin, tämä johtaa pidemmän aikaa jatkuessaan tukehtumiseen. (SFS 1999, 89.)

Hapenpuutteesta kärsivä ihminen tulee siirtää raittiiseen ilmaan. Potilaan kärsiessä hengitysvaikeuksia tulee antaa teko hengitystä, joka onnistuu tehokkaimmin palkeilla. Samalla olisi hyvä antaa happea, jos mahdollista. Vielä tässä vaiheessa ei siis aloiteta painelu-puhalluselytystä. Vasta jos potilaan sydän on pysähtynyt, on syytä aloittaa painelu-puhalluselytys ja toimittaa potilas lääkärin. Hapenpuutteesta johtuvia vaaratilanteita tulee ennaltaehkäistä kaasuilmaisimilla ja riittävällä ilmastoinnilla. (TTL 2014.)

Jos on epäily, että tilan happipitoisuus voi olla alhainen, tilaan ei tule mennä ennen kuin happipitoisuus on mitattu. Olisi hyvä, että nämä mittauspisteet sijaitsisivat eri korkeuksilla ja mahdollisimman laajalla alueelta. Jos mittauksia ei jostain syystä voi suorittaa ja tilaan on mentävä, tulee käyttää hengityslaitteita. (McGuire & White 1986, 120.)

5.2 Häkämyrkytys

Jos kaasu ei saa palaakseen riittävästi palamisilmaa, syntyy hiilimonoksidia eli häkää. Tällöin kyseessä on epätäydellinen palaminen. Häkä estää elimistön hapen siirtokyvyn ja on näin pieniäkin pitoisuuksina myrkyllinen. Sen HTP-arvo on 30 ppm / 8 tuntia ja 75 ppm / 15 minuuttia, eli jo pieninä pitoisuuksina ja lyhyellä vaikutusajalla häkä on ihmiselle erittäin haitallista. (SFS 1999, 89.)

Häkämyrkytys on kuitenkin epätodennäköistä laivaolosuhteissa. Tehokas savukaasujen poisto ja suljettu järjestelmä pyrkivät takaamaan sen, että häkää ei pääse leviämään tiloihin missä miehistöä mahdollisesti on. Mahdollinen vaaratilanne voisi syntyä jos putkistossa, jota pitkin savukaasujen poisto tapahtuu, olisi vuoto. Vuodon lisäksi myös moottorin palamisilman saannin kanssa tulisi olla samanaikaisesti ongelmia. On kuitenkin epätodennäköistä, että laivassa olisi samaa aikaan ongelmia sekä palamisilman saannin (häkää syntyy) että savukaasujen poiston (häkää pääsee tiloihin missä miehistöä on) kanssa.

Häkämyrkytyksen sattuessa on potilas mahdollisimman nopeasti saatava raittiiseen ilmaan. Hengityksen ollessa pysähtyneenä aloitetaan tekohengitys ja annetaan 100-prosenttista happea heti kun sitä on saatavilla. Sydämen pysähtyessä aloitetaan painelu-puhalluselytys ja potilas on välittömästi toimitettava lääkäriin. (TTL 2014.)

Täydellinen palaminen pyritään varmistamaan syöttämällä koneeseen enemmän palamisilmaa kuin teoreettinen tarve on (SFS 1997, 9). Muita ennaltaehkäiseviä toimenpiteitä ovat kaasuilmaisimien käyttö ja savukaasujen poistohormien tarkistaminen säännöllisin väliajoin. Savukaasujen poistossa tarvittavien laitteiden sekä ilmastoinnin huolto ja kunnossapito ovat todella tärkeässä asemassa, kun halutaan ehkäistä häkävuotoja sekä hään muodostumista.

5.3 Kylmälle aineelle altistuminen

Koska nesteytetty maakaasu on erittäin kylmää, aiheuttaa se vuototilanteissa vakavan vaaran miehistön terveydelle. Myös vuototilanteissa alkava voimakas höyrystyminen aiheuttaa vaaraa, koska tämä höyry on myös erittäin kylmää. Kylmä neste tai höyry aiheuttaa paleltumia suojaamattomiin ruumiinosiin. Herkät kudokset kuten silmät vaurioituvat helpommin kuin esimerkiksi naama ja kädet. Näin ollen on mahdollista, että silmät ovat jo kärsineet vakavia vaurioita ennen kuin kylmä kerkeää vaikuttamaan naamaan ja käsiin. Suojaamattomilla ruumiinosilla ei tule koskea eristämättömiin putkiin, tai muihin vastaaviin laivan rakenteisiin. Vaarana on, että ruumiinosa jää erittäin kylmään metalliin kiinni ja irrotettaessa siitä irtoaa ihoa. Pitkäaikainen hengittäminen erittäin kylmissä olosuhteissa taas voi vahingoittaa keuhkoja. Vuotava maakaasun jäähdyttäessä ympärillä olevaa tilaa on hypotermia mahdollisuus myös olemassa. (SFS 2013, 21.)

Mahdollisessa polttoaineen näytteenotossa on aina olemassa potentiaalinen vaara kylmälle aineelle altistumiseen. Nesteytetyn maakaasun näytteenotossa on aina minimoitava mahdolliset roiskeet. Näytettä otettaessa täytyy käyttää siihen tarkoitettuja ja soveltuvia näytteenottovälineitä sekä henkilökohtaisia suojavarusteita.

Ihoa joka on paleltunut nesteytetyn maakaasun vaikutuksesta, tulee huuhdella runsaalla haalealla vedellä. Ihon kiinni jäätyneitä vaatteita ei saa poistaa, eikä paleltumia hieroa. Ennen kuin jäätyneet vaatteet haluaa poistaa, on ne sulattettava. Roiskeet jotka ovat menneet silmiin, on huuhdeltava runsaalla vedellä tai fysiologisella suolaliuoksella usean minuutin ajan. Hypotermiatilanteessa potilasta täytyy toimittaa lämpimään ja estää lisäjäähtyminen, välttämällä kuitenkin turhaa liikuttelua. Häntä tulee lämmittää pikku hiljaa, esimerkiksi huopiin käärimällä. Painelu-puhalluselvytys aloitetaan, jos potilas ei hengitä. Kaikissa tilanteissa täytyy harkinta tapauskohtaisesti, onko ensiaputoimien jälkeen tarvetta toimittaa potilas lääkäriin. (Saarelma 2015, TTL 2014.)

Riippuen siitä minkälaisessa tekemisessä on nesteytetyn maakaasun kanssa, suojaruustuksen taso vaihtelee. On pelkästään roiskeilta suojaavia asuja sekä täysin kaasutiiviitä pukuja, joissa on itsessään kiinni maski, hanskat ja kengät. Kaasutiiviitä pukuja käytetään jos on tarvetta mennä lastitankkiin, eli LNG-tankkereissa. (McGuire & White 1986, 120.)

Oltaessa tekemisissä nesteytetyn maakaasun kanssa, täytyy pukeutua kasvosuojukseen tai suojalaseihin, käsineisiin ja haalariin. Haalarin olisi hyvä olla tulenkestävä ja antistaattinen, materiaaleina toimivat esimerkiksi Tychem® Responder® (AGA 2014). Käsineiden tulisi olla nahkaa, kun ollaan kontaktissa jonkin kanssa johon kylmä neste tai kaasu pääsee vaikuttamaan. Toivottavaa olisi, että käsineet olisivat tarpeeksi löysät, niin että ne ovat nopeasti riittävissä jos niiden päälle pääsee läikkymään kylmää nestettä. Suojavaatteiden käytössä tulisi muistaa, että jos niiden päälle on päässyt nestettä tai höyryä, ne tulee tuulettaa ennen menoa sellaiseen tilaan, jossa on jokin syttymislähde. On myös muistettava, että suojaruusteet antavat suojaa vain osittain, eli kaikkea kontaktia nesteytetyn maakaasun kanssa tulisi välttää. (SFS 2013, 22.)

5.4 Kaasuvuotojen ja -palojen hallinta

Havaittaessa kaasuvuoto täytyy kaasuvuotoon johtavan putken venttiili sulkea välittömästi. Tämän jälkeen on hyvä tarkistaa, ettei ihmisiä ole vaara-alueella. Aineen syttyminen vaatii jonkin ulkopuolisen syttymislähteen, joten tilanteessa tulee välttää kipinän muodostamista ja kaikenlaisia toimenpiteitä joiden seurauksena kaasuilma-seos voisi syttyä. Kaasuvuodosta täytyy myös ilmoittaa

muulle aluksen miehistölle ja sen jälkeen on ryhdyttävä aluksen palopäällikön ohjeiden mukaisiin toimiin tilanteen normalisoimiseksi. (SFS 1999, 89.)

Kaasupalot ovat harvinaisia, mutta niillä voi olla kohtalokkaita seurauksia. Näiden palojen sammuttamisessa on käytettävä palon luoteen mukaisia sammutusvälineitä. Tulipalotilanteissa veden käytön kanssa täytyy olla tarkkana. Veden ruiskuttamista suoraan palokohteeseen tulee välttää, koska se aiheuttaa voimakasta höyrystymistä, joka taas vaikeuttaa palon hallintaa. Vettä voi hyödyntää aluksen rakenteiden, laitteiden ja polttoainetankkien jäähdytyksessä. (SFS 2013, 69-71.)

Suosittelava sammutusväline LNG-tulipaloihin on jauhesammutin. Jauheen tulee soveltua kaasupaloihin, noudattaen EN 12065 -standardia. Jauheen koostumuksen tulisi olla natriumkarbonaattia tai kaliumkarbonaattia. Parhaimman sammutustuloksen saavuttamiseksi koko paloalue on saatava välittömästi jauheen peittoon, muuten on vaarana, että jäljelle jääneet liekit sytyttävät kaasun uudestaan. Tämän vuoksi on suositeltavaa, että sammuttimet ovat sen verran isoja, että niitä on mahdollista käyttää vielä toisen kerran. Jauhe ei jäähdytä palotiloja, joten sen käytön ohessa olisi hyvä jäähdyttää vedellä aluksen rakenteita. (SFS 2013, 72.)

Jotta vuotoihin ja tulipaloihin pystytään reagoimamaan ja toimimaan oikein sammutustilanteessa, tulee miehistön säännöllisesti harjoitella näitä tilanteita varten. Oikea asenne ja suhtautuminen turvallisuustekijöihin ovat tärkeässä asemassa vuotoja ja paloja torjuttaessa. Sammutusvälineiden ja palonilmaisjärjestelmien säännöllinen huolto ja kunnossapito on myös hyvä muistaa paloja ennalta ehkäisevänä toimenpiteenä. Lisäksi miehistön täytyy osata käyttää ja olla sinut näiden välineiden ja järjestelmien kanssa.

5.4.1 Ilmastointi

Laivan vaaralliseksi luokiteltujen alueiden ja tilojen, eli missä kaasua kulkee ja käytetään, ilmastointi on erittäin tärkeätä räjähdysriskin ilmakaasu-seoksen muodostumisen ehkäisemiseksi. Ilmastoinnilla taataan riittävä happipitoisuus alueille ja tiloihin joissa miehistö työskentelee. Ilmastointikapasiteetin tulee olla riittävää ja tehokasta.

Vaaralliseksi luokitelluilla alueilla sijaitsevat ilmastointijärjestelmät ja putkistot on pidettävä täysin erillään niistä ilmastointijärjestelmistä, joita käytetään muualla laivassa. Koneistotilojen, joissa on kaasukäyttöisiä laitteita, ilmastoinnin on myös oltava itsenäinen. ESD-suojatuissa konetiloissa ilmanvaihtokapasiteetin on oltava vähintään 30 kertaa tilan tilavuus tunnissa. Ilmastoinnin on toimittava kaikissa aluksen operoinnin vaatimissa ympäristöolosuhteissa ja lämpötiloissa. (MSC 2015a.)

5.4.2 Räjähämisaaran ennaltaehkäisy

Räjähämisaaran ennaltaehkäisyn lähtökohta on minimoida syttymislähteiden sekä syttyvän seoksen määrä. IGF-koodi säätelee minkälaisia koneistotiloja laivassa voi olla. Vaihtoehtoina on kaasuturvallinen konetila tai ESD-suojattu konetila. Ensimmäisessä vaihtoehdossa konetilojen tulee olla turvallisia kaasusta kaikissa tilanteissa. Yksittäinen vika ei saa johtaa polttoaineena toimivan kaasun vuotamiseen konetiloihin. Jälkimmäisessä vaihtoehdossa konetilojen tulee olla kaasusta turvallisia normaaleissa olosuhteissa, mutta potentiaalisen vaaranpaikan tuovat poikkeustilanteet. Näissä tilanteissa syttymislähteen, eli jokin koneen tai laitteen, tulee sammua automaattisesti. Viat jotka voivat johtaa vakaviin kaasuvuotoihin, kuten putken repeytyminen tai tiivisteen rikkoutuminen, ovat turvattu paineenalennuslaitteilla ja ESD-järjestelmillä. (MSC 2015a.)

5.4.3 Syttymislähteiden kontrollointi

Metaanin itsesyttymislämpötila 595 celsiusastetta on korkea (TTL 2014). Tämän vuoksi nesteytetty maakaasu tai siitä muodostuvat kaasut vaativat syttyäkseen ulkoisen syttymislähteen. Yleinen syttymislähde on tupakointi. Tupakointia tulisi rajoittaa vain ennalta määrätyille alueille ja olla ehdottomasti kiellettyä kaikilla vaaralliseksi luokitetuilla alueilla. Polttoaineentäydennysoperaation ajan laivalla tupakointiin tulisi kiinnittää erityistä huomiota.

Tulityöt ovat myös vaarallinen syttymislähde. Ennen tulitöihin ryhtymistä tulee lähimmältä esimieheltä varmistaa tulityölupa ja käyttää asianmukaisia tarkastuslitoja. Myös jatkuva ympäristönvalvonta tulitöiden aikana on tärkeää ja tässä apuna on hyvä käyttää kaasunhaistajia, jotka kertovat jos ilmassa on palavia kaasuja. (McGuire & White 1986, 33.)

Staattinen sähkö, sähkölaitteet ja sähkökipinät voivat olla myös potentiaalisia syttymislähteitä. Staattista sähköä saattaa syntyä kun nesteitä pumpataan kovalla nopeudella. Myös emulsiot, hiilidioksidi ja höyryt ovat yleisiä staattisen sähkön lähteitä. Kuivan ilmanalan vallitessa voi vaatteiden riisuminen aiheuttaa staattista sähköä. Laivaolosuhteissa on myös otettava huomioon mahdollinen helikopterin muodostama staattinen sähkö, joka tulee eliminoida maadoituskaapelin avulla. Sähkökipinöitä voi syntyä irrotettaessa tai kiinnittäessä polttoaineentäydennysletkua. Tämän saa aikaan terminaalin ja laivan rakenteen välinen potentiaaliero sekä niitä ympäröivä merivesi. Tällaisen potentiaalierosta johtuvan sähkökipinän synnyn voi ehkäistä eristetyllä kiinnityskohdan laipalla. (McGuire & White 1986, 33.)

5.5 Huolto-, tarkastus- ja korjaustoimenpiteet

Kun suoritetaan erilaisia huolto-, tarkastus- ja korjaustoimenpiteitä on turvalliset toimintatavat pidettävä mielessä. Huoltotöissä on huomioitava polttoainetankkien sijainti ja näiden läheisyydessä olevat tilat. Polttoainejärjestelmien ja -tankkien määräaikaistarkastuksissa, huolloissa ja testauksissa on käytettävä viranomaisen hyväksymää tarkastussuunnitelmaa ja toimittava alalla vallitsevien ja hyväksytyjen standardien mukaan. (MSC 2015a.)

5.6 Polttoainetäydennys

Nesteytetyn maakaasun polttoainetäydennys, eli tankkausoperaatio, eroaa perinteisempien öljypohjaisten polttoaineiden tankkausoperaatioista joiltakin osin aineen luonteen vuoksi. Merkittävä ero on siinä, että nesteytetty maakaasu kuljetetaan niin äärimmäisen kylmänä, että ympäröivä ilman lämpötila ja paine vaikuttavat merkittävästi aineen olomuotoon. Kylmyytensä vuoksi se aiheuttaa jatkuvan vaaran ihmisille ja asettaa kovia vaatimuksia laivan ja putkiston rakenteille. Pienikin roiske saattaa aiheuttaa vakavia paleltumia, tai tehdä käsittelemättömästä teräksestä hauraan aiheuttaen halkeamia siihen. Perinteisempiä polttoaineita tankattaessa laivan polttoaineasemaa ei pidetä vaara-alueena, koska aineen leimahduspiste on yli 60 celsiusastetta. Nesteytettyä maakaasua tankatessa se taas on sellainen, koska aineen leimahduspiste on niin alhainen (-188 celsiusastetta). (ABS 2015, 3.)

Laivalta tulee löytyä yksityiskohtainen manuaali koskien polttoaineen turvallista käsittelyä (fuel handling manual). Sen sisällön tulee olla niin kattava, että manuaalin avulla asianmukaisen koulutuksen omaava miehistön jäsen pystyy suorittamaan turvallisen polttoaineentäydennyksen, -varastoinnin ja -siirtelyn. Tämän manuaalin tulee sisältää seuraavat osiot:

- Polttoaineen lämpötilan ja paineen säätö ja valvonta
- Järjestelmien rajoitteet mm. minkälaista painetta ja lämpötilaa polttoainejärjestelmä, putkisto ja tankit kestävät tankkausoperaation aikana
- Suojakaasun käyttö
- Tulipalo- ja ensiaputoimenpiteet
- Ohjeistus turvavarusteiden käytöstä
- Kannettavien kaasumittareiden käyttö ja huolto
- Hätätysäytyksen ja hätälaukaisimen sijainti
- Kirjalliset ohjeet kuinka tulee toimia hätätilanteissa (vuoto, tulipalo, roll-over)

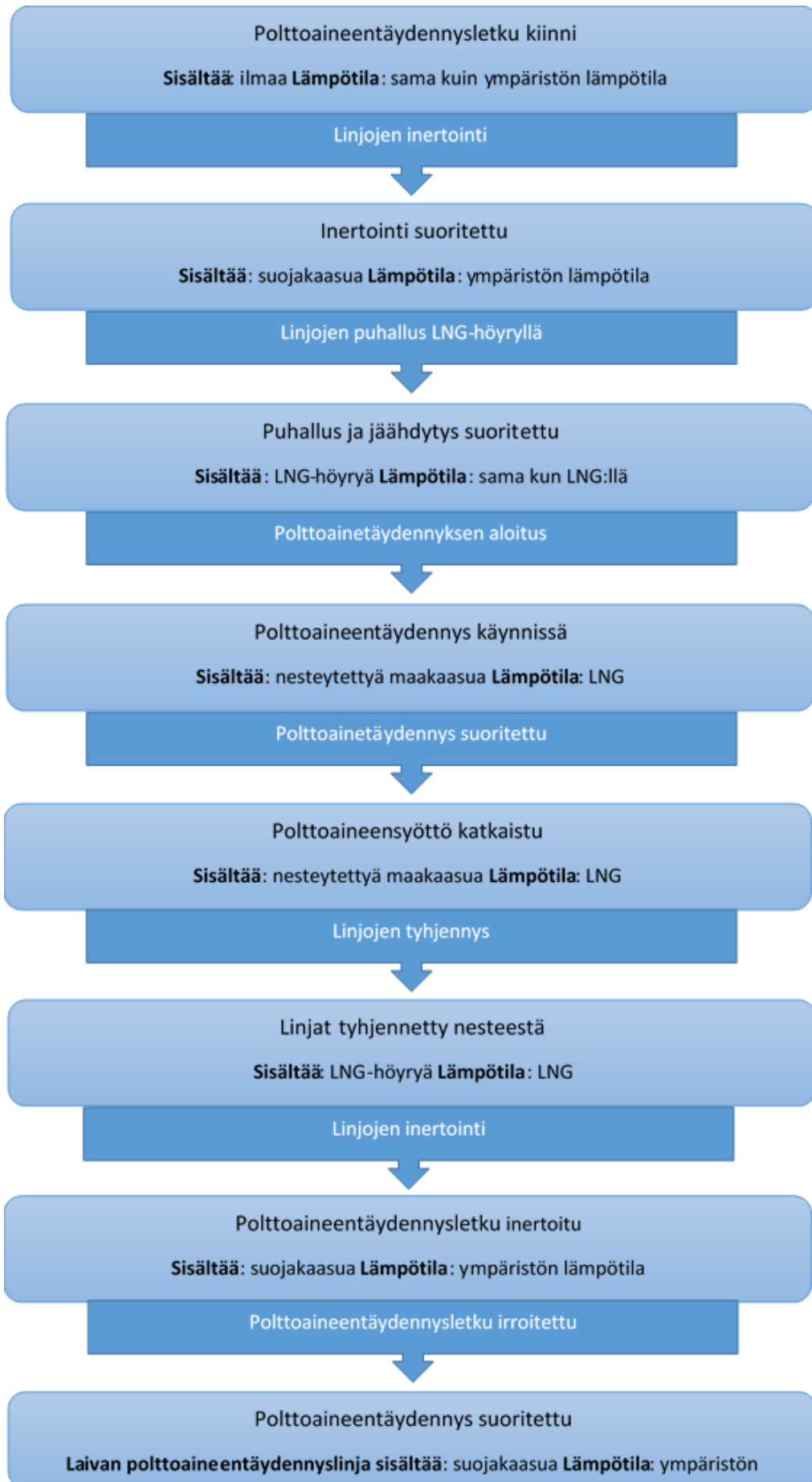
(MSC 2015a.)

Ennen tankkausoperaation aloittamista laivan päällikkö, tai häntä edustava miehistön jäsen, ja tankkauksesta vastaava operaattori sopivat kirjallisesti tankkausoperaatioon liittyvistä yksityiskohdista. Näitä yksityiskohtia ovat jäädytys ja mahdollinen kaasutus, maksimi siirtonopeus ja määrä paljonko polttoainetta tankataan sekä hätätilanne- ja ensiaputoimenpiteet. Lopuksi laivan edustaja ja tankkauksesta vastaava operaattori käyvät kohta kohdalta tankkausoperaation turvallisuuteen liittyvän tarkastuslistan (bunker safety checklist) lävitse. Siinä sovitaan muun muassa viestintäyhteydestä laivan ja operaattorin välille, kiinteiden ja kannettavien kaasu- ja paloilmalaitteiden käytöstä, venttiileiden kaukokäytöstä sekä letkujen ja liitosten tarkistamisesta. (MSC 2015a.)

Laivan polttoaineaseman tulee sijaita ulkokannella niin, että siellä on riittävä luonnollinen ilmanvaihto. Liitosten ja putkistojen tulee olla niin sijoiteltuja, ettei niiden vahingoittuminen aiheuta hallitsematonta kaasuvuotoa aluksen polttoaineensäilytysjärjestelmässä. Polttoaineensiirtoputkisto on oltava niin suunniteltu, ettei mahdollinen vuototilanne aiheuta vaaraa miehistölle, aluksella tai ympäristölle. Ennen tankkausoperaatiota täytyy varmistaa, ettei laivan polttoaineaseman läheisyydessä ole huoltotöitä käynnissä ja luukut sekä ovet ovat kiinni. Polttoaineasema on vaara-alueita ja kulkua siellä rajoitetaan tankkausoperaation aikana. Vain miehistö, joka on saanut asianmukaisen koulutuksen, saa oleskella ja operoida alueella. (Karvonen 2013, 40-41; MSC 2015a.)

Turvallisen tankkausoperaation saavuttamiseksi on erittäin tärkeitä eliminoida palamisen edellytykset putkistosta ja tankista. Tässä tärkeä tekijä on putkiston ja mahdollisesti myös tankin saattaminen epäreaktiiviseen tilaan, eli inertointi. Tankkausoperaation aluksi polttoaineentäydennyslinja inertoidaan, yleensä typpellä. Sen jälkeen linja puhalletaan LNG-höyryllä jonka seurauksena tankki ja putkistot saadaan yhtä kylmäksi kuin tankattava LNG. Tällä operaatiolla ehkäistään lastin sekoittumisesta aiheutuva vaara. Tämän jälkeen alkaa vasta varsinaisen nesteytetyn maakaasun tankkaaminen. Tankkausoperaation päätteeksi vielä polttoaineentäydennyslinja inertoidaan, ettei sinne jää nesteytettyä maakaasua. Tämän mahdollinen jäämä voi aiheuttaa vakavia ongelmia lämmetessään ja höyrystyessään. Tällöin on vaarana, että paine putkistossa nousee ja aiheuttaa putkiston rikkoutumisen. (ABS 2015, 10-11.)

Kuvassa 6 on kuvattuna mitä ainetta ja missä muodossa polttoaineentäydennyslinjasto sisältää tankkausoperaation eri vaiheissa. Tämä tieto on erittäin olennaista tankkausoperaatioon osallistuvan miehistön turvallisuuden kannalta. Heidän on joka hetki oltava kartalla, mitä ainetta linjastossa kulkee ja min-kälaisessä tilassa linja on. Onnistuneen ja turvallisen tankkausoperaation edellytyksenä on myös riittävä ja selkeä kommunikointi polttoaineentäydennystä suorittavan operaattorin kanssa.



KUVA 5. Polttoaineentäydennyslinjaston inertointi ja puhallus. (ABS 2015, 11)

6 MIEHISTÖN KOULUTUS JA HARJOITTELU

Nesteytetyn maakaasun tuodessa uusia erilaisia turvallisuushaasteita aluksille, täytyy miehistön omata asianmukainen koulutus, jotta he pystyvät varautumaan näihin haasteisiin. Merenkulussa STCW-koodi asettaa vaatimuksia miehistön koulutuksesta, pätevyyksistä ja vahdinpidosta. Tämän koodi asettaa määräyksiä myös nesteytettyä maakaasua polttoaineena käyttävien alusten miehistön koulutukselle.

6.1 STCW-vaatimukset

IGF-koodin alaisten alusten miehistön koulutus on jaettu kolmeen eri tasoon. Kunkin miehistön jäsenen koulutus riippuu hänen tehtävistään ja asemastaan laivalla. Kaikkien IGF-koodin alaisissa aluksissa työskentelevien henkilöiden täytyy saada asianmukainen laivakohtainen perehdytys. Henkilöiden joilla on turvatoimitehtäviä aluksella, tai vastuu polttoaineeseen liittyvässä hätätilanteessa, täytyy olla STCW-koodin mukainen peruskoulutussertifikaatti (a certificate in basic training for service on ships subject to the IGF Code). Päälliköiden, konemestareiden ja kaikkien ketkä ovat välittömässä vastuussa polttoaineesta ja sen käytöstä sekä polttoainejärjestelmästä laivalla tulee olla STCW-koodin mukainen jatkokoulutussertifikaatti (a certificate in advanced training for service on ships subject to the IGF Code). (MSC 2015b.)

Viranomainen voi tehdä poikkeuksen koulutusvaatimukseen aluksen ollessa bruttovetoisuudeltaan alle 500, paitsi jos kyseessä on matkustaja-alus, ja jos aluksen liikennöintiolosuhteet ovat sellaiset, että sille aiheutuu kohtuutonta haittaa vaatimuksista. Näissä tapauksissa täytyy muistaa kuitenkin huomioida aluksen vaatimukset, miehistön turvallisuus ja meriympäristön suojeleminen. (MSC 2015c.)

6.1.1 Peruskoulutus

Taulukko 3. Peruskoulutuspätevyyden minimivaatimukset. (MSC 2015c)

PÄTEVYYSVAATIMUKSET	ASiantuntemus ja vaatimustaso
<p>Edistää aluksen turvallista operointia</p>	<p>Tuntee aluksen rakenteelliset ja käyttöominaisuudet sekä omaa perustietämyksen aluksen polttoainejärjestelmästä ja polttoaineen varastoinnista.</p> <p>Omaa perustiedot polttoaineiden fyysisistä ominaisuuksista.</p> <p>Tietää ja ymmärtää turvallisuusvaatimukset aluksella.</p>
<p>Kykenee ottamaan osaa vaaratilanteiden ennaltaehkäisyyn</p>	<p>Tuntee eri vaaratekijät ja niiden ennaltaehkäisevät toimenpiteet.</p> <p>Pystyy tulkitsemaan ja ymmärtämään käyttöturvallisuustiedotteesta löytyviä tietoja polttoaineen ominaisuuksista.</p>
<p>Pystyy soveltamaan ennaltaehkäiseviä työterveys- ja turvallisuustoimenpiteitä</p>	<p>Osoaa käyttää kaasupitoisuuksien mittauksiin käytettäviä laitteita.</p> <p>Tietää turvalaitteiden ja suojavaarusteiden tarpeellisuuden sekä osaa käyttää niitä asianmukaisesti ja vaadittavissa tilanteissa.</p> <p>Omaa perustason tietämyksen työturvallisuuskäytännöistä ja niiden sääntelystä.</p> <p>Omaa käyttöturvallisuustiedotteessa mainitut ensiaputaidot.</p>

<p>Kykenee suorittamaan palonsammutusoperaation aluksella</p>	<p>Tuntee laivan palo-organisaation ja tietää toimenpiteet tulipalon sattuesssa.</p> <p>Ymmärtää polttoaineeseen ja polttoaineen käsittelyyn liittyvät vaaratekijät paloturvallisuuden kannalta.</p> <p>Tuntee palonhallinta ja sammutusjärjestelmät.</p>
<p>Pystyy reagoimaan hätätilanteisiin</p>	<p>Omaa perustiedot eri menettelyistä hätätilanteissa sekä hätäpysäytyksessä.</p>
<p>Hallitsee ennaltaehkäisevät ympäristönsuojelulliset toimenpiteet polttoainevuotojen varalta</p>	<p>Omaa perustiedot miten tulee toimia vuototilanteissa tai jos ainetta roiskuu ympäristöön.</p>

6.1.2 Jatkokoulutus

Taulukko 4. Jatkokoulutus pätevyyden minimivaatimukset. (MSC 2015c)

PÄTEVYYSVAATIMUKSET	ASiantuntemus ja vaatimustaso
<p>Perehtynyt laivassa olevien polttoaineiden fyysisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin</p>	<p>Omaa perustason tietämyksen ja ymmärryksen polttoaineen kemiasta ja fyysisistä ominaisuuksista sekä näiden ominaisuuksien tiedostaminen polttoainetäydennyksissä ja käytettäessä polttoainetta.</p> <p>Pystyy tulkitsemaan käyttöturvallisuustiedoista saatavaa informaatiota.</p>
<p>Hallitsee polttoaineeseen liittyvien järjestelmien toimintaperiaatteet, kuten tekniset järjestelmät sekä propulsio- ja turvajärjestelmät</p>	<p>Tuntee laivakoneiden toimintaperiaatteet mukaan lukien apukoneisto.</p> <p>Tuntee laivakonetekniikan sanaston.</p>

<p>Kyky suoriutua turvallisesti polttoaineeseen liittyvistä toimenpiteistä sekä pystyy valvomaan kaikkea operointia liittyen laivan polttoaineeseen</p>	<p>Tuntee laivan rakenteen, järjestelmät, putkistot ja laitteet.</p> <p>Tuntee polttoainejärjestelmän teorian ja ominaisuudet mukaan lukien pumput ja niiden turvallinen käyttö.</p> <p>Tuntee turvatoimet ja tarkistuslistojen käytön tankatessa polttoainetta tai pumpatessa sitä ulos mukaan lukien:</p> <ul style="list-style-type: none"> - inertointi - jäähdytys - paineentarkkailu - järjestelmien tyhjennys
<p>Pystyy suunnittelemaan ja valvomaan turvallisen polttoaineentäydennyksen ja varastoinnin</p>	<p>Kykenee käyttämään hyväksi kaikkea tietoa, liittyen polttoainetäydennykseen, varastointiin ja operoinnin turvallisuuden varmistamiseen, mitä laivalta löytyy.</p> <p>Pystyy luomaan ja ylläpitämään selkeää ja tiivistä viestintäyhteyttä laivan ja polttoainetäydennystä suorittavan tahon välillä.</p> <p>Tietää turvallisuuteen ja hätätilanteisiin liittyvät toimenpiteet koneistoja käytettäessä sekä tuntee niiden valvontajärjestelmät.</p> <p>Omaa riittävän asiantuntemuksen polttoainetäydennykseen liittyvistä järjestelyistä:</p> <ul style="list-style-type: none"> - polttoaineentäydennysprosessi - hätätilannetoimenpiteet - yhteistyön maa-aseman (ship-shore) tai laivan kanssa (ship-ship) - lastin sekoittumisen ehkäiseminen (rollover)

	<p>Kykenee suorittamaan vaadittavat lastilaskut.</p> <p>Kykenee varmistamaan ja suorittamaan turvallisen polttoaineentäydennysoperaation samanaikaisesti muiden laivalla tapahtuvien toimenpiteiden kanssa</p>
<p>Hallitsee ennaltaehkäisevät ympäristönsuojelulliset toimenpiteet polttoainevuotojen varalta</p>	<p>Tuntee polttoaineen saastuttavan vaikutuksen luontoon ja ihmiseen.</p> <p>Tietää ja osaa toimenpiteet polttoaineen vuototilanteissa.</p>
<p>Pysyy ajan tasalla vaatimuksista lainsäädännössä</p>	<p>Tuntee ja ymmärtää oleellisilta osin MARPOL-säädökset, muut asianmukaiset IMO-asiakirjat, teollisuuden alan suositukset ja satamien ohjesäännöt.</p> <p>Osaa käyttää IGF-koodia ja siihen liittyviä dokumentteja.</p>
<p>Kykenee varotoimiin estääkseen vaaratilanteita syntymästä</p>	<p>Tietää ja ymmärtää polttoainejärjestelmän vaarat ja toimenpiteet riskien hallitsemiseksi mukaan lukien:</p> <ul style="list-style-type: none"> - syttymisherkyys - räjähdys - myrkyllisyys - reaktiivisuus - syövyttävyyys - vaarat terveydelle - inerttikaasun muodostuminen - paineistetut kaasut - alhainen lämpötila <p>Osaa kalibroida ja käyttää valvonta- ja ilmaisinjärjestelmiä sekä tuntee näihin liittyvät laitteet ja tarvikkeet.</p>

	<p>Tiedostaa vaarat ja riskit, jos jätetään noudattamatta sääntöjä ja määräyksiä.</p> <p>Osa hyödyntää, kehittää ja valmistella riskianalyysijä ja eri riskienhallintamenetelmiä.</p> <p>Kykenee valmistelevaan ja kehittämään turvallisuussuunnitelmia ja -ohjeita.</p> <p>Tuntee tulitöihin, suljettuihin tiloihin ja tankkeihin menemiseen liittyvät turvallisuus- ja lupakäytännöt.</p>
<p>Tuntee työterveys- ja turvallisuustoimenpiteet aluksella ja pystyy soveltamaan niitä käytännössä</p>	<p>Osa käyttää turvavarusteita ja suojalaitteita oikein ja asianmukaisesti.</p> <ul style="list-style-type: none"> - hengityslaitteet ja evakuointivarusteet - suojavaatetus ja -varusteet - elvytyslaitteet - pelastautumisvälineet <p>Tuntee turvalliset työskentelytavat sekä niihin liittyvät säädökset ja ohjeistukset.</p> <p>Omaa käyttöturvallisuustiedotteessa mainitut ensiaputaidot.</p>
<p>Osa palontorjunnan ennaltaehkäisevät toimenpiteet sekä tuntee palontorjunta- ja sammutusjärjestelmät</p>	<p>Tuntee ja osaa käyttää palonsammutuskalustoa sekä ilmaisín- ja valvontajärjestelmiä polttoainepalon sattuessa.</p>

Taulukossa 4 esitettyjen pätevyysvaatimuksien lisäksi pätevyyskirja saaminen edellyttää myös vähintään yhden kuukauden verran työskentelyä IGF-koodin alaisessa laivassa. Lisäksi pitää olla mukana kolmesti polttoaineentäydennyksessä. Kaksi näistä kolmesta kerrasta voidaan suorittaa simulaattoriharjoituksena. (MSC 2015c.)

6.2 Hätätilanneharjoittelu

IGF-koodi määrää, että kaasuun liittyviä harjoituksia on pidettävä säännöllisin väliajoin. Kaasuun liittyvät harjoitukset voidaan pitää muiden SOLAS-sopimuksessa vaadittujen harjoitusten yhteydessä. Turvallisuus- ja valvontajärjestelmiä täytyy myös tarkistaa ja testata säännöllisesti. Harjoitusten sisältö voisi olla esimerkiksi:

- Keskustelua ja eri skenaarioiden läpikäymistä miehistön kesken ja ennalta-arvaamattomiin tapahtumiin reagoiminen
- Polttoainetäydennysprosessin läpikäyminen manuaalin mukaan
- Laite- ja järjestelmätestit
- LNG-palon sammutus
(MSC 2015a.)

7 VAATIMUKSET ALUKSEN RAKENTEILLE JA JÄRJESTELMILLE

Öljypohjaisista polttoainesta poikkeavien kemiallisten ja fyysisten ominaisuuksiensa vuoksi nesteytetty maakaasu asettaa uusia vaatimuksia aluksen rakenteille ja järjestelmille. Polttoaineen kylmä lämpötila aiheuttaa tiukkoja vaatimuksia muun muassa aluksen tankeille, putkistolle ja venttiileille.

7.1 Polttoaineen varastointi

Polttoaineen erittäin kylmän lämpötilan ja mahdollisen paineen johdosta vaatimukset sen varastoinnille ovat tiukat. Polttoainetankin rakenteiden ja siihen liittyvän järjestelmän pitää kestää suuria lämpötilan vaihteluita. Tankkimateriaalina käytetään nikkelseosteista terästä, ruostumatonta terästä tai alumiinia. Nesteytetyn maakaasun varastointiin soveltuvat tankit voidaan jakaa itsenäisiin tankkeihin ja laivanrunkoon rakennettuihin tankkeihin, eli membraanitankkeihin. (McGuire & White 1986, 36-39.)

Polttoainetankki koostuu primäärisestä pinnasta, joka on tankin sisäpinta, eli kosketuksissa suoraan polttoaineen kanssa sekä mahdollisesta sekundäärisestä ulommasta pinnasta, joka estää primäärikerroksen vuodon. Sekundäärinen pinta löytyy membraanitankeista. Polttoainetankkiin kuuluvat myös lämpöeriste, tankin tukirakenteet sekä eristeen ja tankin välitila. Välitilan atmosfääriä valvomalla pystytään tarkkailemaan mahdollisia tankin vuotoja. (Lindholm 2015, 25; McGuire & White 1986, 36-37.)

IMO on jaotellut IGC-koodissa itsenäiset tankit kolmeen eri kategoriaan A, B ja C. Näistä C-tyypin tankki on kaikkein yleisin vaihtoehto, jos tarkoituksena on varastoida vain polttoaineita. Muut tankkityypit soveltuvat paremmin nesteytetyn maakaasun kuljettamiseen lastina.

C-tyypin tankit ovat tyypillisesti sylinterimäisiä ja ne voidaan asettaa joko vaakatai pystytasoon. Toisin kuin a- ja b-tyypin tankit, c-tyypin tankit ovat painestioita. Säilytettäessä nesteytettyä maakaasua niissä, paine on 5-7 baaria. Kyseessä on kaksoissäiliö, eli tankki tankin sisällä. Kaksoissäiliön välitilaan jäävä eriste voi olla joko ihan pelkkä tyhjiö tai se voidaan täyttää inertiakaasulla. Lisäksi voidaan käyttää perliittiä lisäeristykseksi. Hyvän eristyksen vuoksi tankkia ei tarvitse erikseen jäähdyttää ja sen boil-off-kaasun muodostuminen on maltillista. (Lindholm 2015, 38-39; McGuire & White 1986, 37.)

7.2 Putkisto

Putkiston jossa nesteytettyä maakaasua kulkee, täytyy kestää suurista lämpötilan vaihtelusta johtuvaa lämpökutistumista ja -laajentumista ilman merkittävää rasi- tusta. Putkisto tulee eristää aluksen rungosta niin, että rungon lämpötila ei laske alle materiaalin suunnitellun lämpötilan. (MSC 2015a.)

Todennäköisimpiä vuotoaikoja ovat putkistojen liitoskohtien laipat, hitsaus- saumat ja kohdat missä putket läpäisevät seinän. Vuotojen ehkäisemiseksi tu- leekin putkiston olla yhtenäinen rakennelma, jossa olisi mahdollisimman vä- hän liitoskohtia. Kylmä neste voi aiheuttaa putkien taipumista. Kun neste saa- vuttaa ensin alaosan ja jäähdyttää sitä se supistuu enemmän verrattuna yl- hällä olevaan putken osaa. Tämä taipuminen voi aiheuttaa putkiston liika- rasi- tusta, jos sitä ei ole otettu suunnittelussa huomioon. Kunnollisen putkiston suunnittelun lisäksi, laivalla täytyy olla tarkkaan määritetyt toimintaohjeet kyl- män nesteen siirtelyyn putkistossa. (ICChemE 2007, 39, 41.)

7.3 Venttiilit

Myös venttiilien tulee olla suunniteltu kestäväksi erittäin kylmiä lämpötiloja. Lämpökutistumisesta johtuva metalliosien merkittävä supistuminen on mah- dollinen vuotojen aiheuttaja venttiilien tiivisteissä. Vuodon voi havaita venttiilin kanteen muodostuvasta huurteesta. Huurteen muodostumisen voimakkuus indikoi vuodon suuruudesta. Tiivisteiden kiristämällä voidaan ehkäistä vuoto- ja. (ICChemE 2007, 40.)

Paineenalennusventtiili on suunniteltu suojaamaan aluksen rakenteita, putkistoa ja tankkeja yli sallittujen rajojen nousevalta paineelta. Paine joka purkautuu paineenalennusventtiilistä, tulee suunnata niin että se aiheuttaa mahdollisimman vähän vaaraa miehistölle. Jos purkaus sisältää kylmää kaasua, on huomioitava, että kaasu on painavampaa kuin ilma. Paineenalennusventtiilin purkaukset muodostava usein ”sumupilviä” ilmaan. (ICChemE 2007, 41.)

7.4 Höyrystin

Alueella jossa sijaitsee LNG-polttoainejärjestelmään kuuluva höyrystin, tulee noudattaa erityistä varovaisuutta. Tämä siksi, että aineiden virtausnopeudet ja -paineet ovat korkeita. Johtuen aineen olomuodon muuttumisesta nesteestä kaasuksi alueella on myös kahdenlaisia eri rakenne- ja putkistomateriaaleja. Putkia jotka ovat suunniteltu kestävämmän erityistä kylmyyttä ja putkia joiden materiaalia soveltuu ympäröivän ilman lämpötilaan. Tämä asia tulee huomioida kun alueella liikutaan. Vaara voi muodostua, jos höyrystimeen tulee toimintahäiriö ja laitteenkäyttäjä ei osaa reagoida hälytykseen oikeilla toimenpiteillä tai tarpeeksi ajoissa. Näin kylmää nestettä pääsee putkistoon, jota ei ole suunniteltu kestävämmän kylmää ainetta aiheuttaen putkien haurastumista ja vioittumista. Tällaisen tilanteen ennaltaehkäisemiseksi on höyrystinlaitteessa automaattinen rajakatkaisin. Kylmää nestettä voi kuitenkin päästä katkaisimen läpi vaurioittamaan putkistoa. (ICChemE 2007, 41.)

7.5 Laitteistojen tukkeutuminen

Linjoihin ja laitteisiin jäävä jää, hydraatit tai kiinteä hiilidioksidi voivat aiheuttaa tukoksia. Jos linjoista ei ole poistettu vettä ja hiilidioksidia kunnolla ja ne jäädytetään, jäätyvät kyseiset aineet. Tuokos voi olla osittainen niin että ainetta silti pääsee kulkemaan, mutta pahimmassa tapauksessa tuokos voi olla totaalinen aiheuttaen erittäin suurta haittaa. (ICChemE 2007, 41.)

7.6 Jäänmuodostuminen

Talvimerenkulusta tuttu jäämuodostuminen on myös mahdollista, kun ollaan tekemisissä nesteytetyn maakaasun kanssa. Laitteiden, putkistojen ja tankkien eristykseen voi muodostua jäätä puutteellisen kosteuseristyksen vuoksi, kun vettä pääsee muodostumaan eristystilaan ja se muuttuu siellä jääksi. Tämä johtaa lämmöneristyksen heikentymiseen, minkä voi aiheuttaa rakenteellisia vahinkoja putkistoille ja laitteille. Eristämättömien pintojen jäähtyminen voi estää myös tukirakenteiden ja putkistojen vaadittavan liikkeen, eli ne eivät enää "elä" toivotulla tavalla. (ICHEM 2007, 41.)

7.7 Nesteytetyn maakaasun loukkuun jääminen

Jos nesteytetty maakaasu jää loukkuun, eli se ei pääse purkautumaan mihinkään, se ryhtyy lämpenemään. Seurauksena on paineen nousu, joka voi aiheuttaa laitteistojen ja putkistojen rikkoutumista. Sen takia nesteytettyä maakaasua ei tule jättää esimerkiksi putkeen kahden suljetun venttiilin väliin. (ICHEM 2007, 42.)

8 YHTEENVETO

On hyvä tehdä selvä ero maakaasun ja öljyn käytölle polttoaineena, kun miettii miehistön turvallisuutta ja koulutusta. Molemmissa polttoaineissa on toki yhtäläisiä piirteitä, kun ajatellaan niiden käyttöturvallisuutta, mutta myös kovin paljon erilaisuuksia. Merkittävin ero on, että maakaasua voi esiintyä laivalla eri olomuodoissa, kun taas öljy on lähes poikkeuksetta nestemäisessä olomuodossa.

Erittäin kylmänä säilytettävä ja liikuteltava nestemäinen maakaasu on vuototilanteissa aina suuri vaara miehistölle, minkä vuoksi kaikkea kontaktia aineen kanssa tulisi välttää. Alhainen leimahduspiste tuo paloturvallisuuteen uusia haasteita. Vuotojen valvontaan sekä ennaltaehkäisyyn tulee kiinnittää erityistä huomiota. Syttymislähteiden ja syttymiskelpoisen aineen eliminointi vaara-alueilta ovat lähtökohtana tulipalojen torjumiseksi. Näissä asioissa tärkeässä roolissa ovat eri hälytysjärjestelmät, jotka mittaavat eri tilojen kaasupitoisuuksia sekä tankkien lämpötiloja ja höyrymuodostumista. Miehistön täytyy ymmärtää myös, että vuototilanteissa tulipaloriskin lisäksi maakaasulla on happea syrjäyttävä vaikutus.

Nesteytetyn maakaasun polttoainetäydennykset tuovat myös uutta ajateltavaa miehistön turvallisuutta koskien. Ne eroavat periteisempiä polttoaineiden täydennyksistä muun muassa jäähdytyksen ja suojakaasujen käytön vuoksi. Polttoainetäydennyksissä miehistön tulee tehdä saumatonta yhteistyötä täydennystä suorittavan operaattorin kanssa. Tarkastuslistojen käyttö ja kommunikointi ovat pääosassa turvallisessa tankkausoperaatiossa. Erittäin oleellista on, että täydennystä suorittavat miehistön jäsenet tietävät koko tankkausoperaation ajan mitä ainetta ja missä muodossa aine on polttoaineentäydennyslinjastossa. Suojakaasujen käytön merkitys turvallisen tankkausoperaation suorittamiseksi on tiedostettava.

Onnettomuuksien varalta miehistön täytyy osata antaa ensihoitoa ja olla kykenevä palonsammutukseen tulipalotilanteissa. Hoito- ja sammutustoimenpiteet tulee olla kirjattuna laivan turvallisuusjohtamis- ja harjoitusmanuaaliin. Näistä manuaaleista miehistön jäsen voi kerratta toimintatapoja ja laivakohtaisia ohjeistuksia hätätilanteiden varalle.

Aluksen rakenteiden täytyy kestää erittäin suurien lämpötilavaihteluiden aiheuttama lämpökutistuminen ja -laajentuminen. Nesteytetyn maakaasun synnyttämä jäänmuodostuminen voi aiheuttaa tukoksia laitteisiin ja putkistoihin. Aluksen rakenteiden kestävyys kannalta on myös varmistettava, ettei nesteytettyä maakaasua jää putkistoihin loukkuun, sillä sen seurauksena se voi lämmetä ja tehdä vahinkoa putkistolle sekä laitteille.

Aluksen turvallinen operointi ja miehistön turvallisuus jokaisessa tilanteessa voidaan taata vain, jos miehistö on saanut asianmukaisen koulutuksen ja ylläpitää opittuja taitoja säännöllisellä harjoittelulla. Tämä takaa laitteiden oikeanoppisen käytön ja niiden toimintakunnon sekä vaadittavan ammattitaidon reagoida poikkeustilanteisiin. Nämä asiat ennaltaehkäisevät vaaratilanteiden ja onnettomuuksien syntyä.

LÄHTEET

- ABS. 2015. LNG Bunkering: Technical and Operational Advisory. Verkkajulkaisu. American Bureau of Shipping. Saatavissa: http://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/publications/2015/LNG_Bunkering%20Advisory.pdf [viitattu 16.10.2015]
- AGA. 2014. Käyttöturvallisuustiedote – LNG Nesteytetty maakaasu. AGA:n julkaisuja. AGA:n internetsivut. Saatavissa: http://www.aga.fi/internet.lg.lg.fin/fi/images/LNG_Nesteytetty_maakaasu634_124701.pdf [viitattu 19.10.2015]
- BP. 2014. Statistical Review of World Energy. 63. painos. Lontoo: British Petroleum.
- DNV GL. 2015. LNG fuelled vessels. Luentomateriaali. DNV GL:n internetsivut. Saatavissa: https://www.dnvgl.com/Images/World%20LNG%20fuelled%20fleet_Oct_2015_tcm8-5550.pdf [viitattu 15.12.2015]
- EIA. 2014. Natural Gas Explained. U.S. Energy Information Administrationin internetsivut. Päivitetty 11.4.2014. Saatavissa: http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=natural_gas_home [viitattu 9.3.2015].
- Energiateollisuus. 2015. Maakaasu. Energiateollisuuden internetsivut. Saatavissa: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/maakaasu> [viitattu 10.3.2015]
- ESL Shipping. 2015. ESL Shipping has signed a long-term agreement for raw material sea transport with SSAB and orders the world's first large LNG-fueled bulk carriers. Verkkouutinen. ESL Shippingin internetsivut. Saatavissa: <http://www.eslshipping.com/en/news/news/-/news/974/ESL+Shipping+has+signed+a+long-term+agreement+for+raw+material+sea+transport++with+SSAB+and+orders+the+world%E2%80%99s+first+large+LNG-fueled+bulk+carriers+> [viitattu 15.12.2015]
- Forsström, J & Koljonen, K. 2013. Arvioita liuskekaasun kehitysnäkymistä ja vaikutuksista Euroopassa. Verkkajulkaisu. Espoo: Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Saatavissa: http://energia.fi/sites/default/files/t104_shale_gas_raportti_final_20130522.pdf [viitattu 9.3.2015].
- Gasum. 2015. Nesteytetty maakaasu LNG. Gasumin julkaisuja. Gasumin internetsivut. Saatavissa: <http://www.gasum.fi/Kaasutietoutta/Nesteytetty-maakaasu-LNG/>
- Gasum. 2015. Maakaasu – puhtaasti palava luonnonkaasu. Gasumin julkaisuja. Gasumin internetsivut. Saatavissa: <http://www.gasum.fi/Kaasutietoutta/Maakaasu/> [viitattu 11.3.2015].
- ICChemE. 2007. LNG fire protection and emergency response: a collection of booklets describing hazards and how to manage them. 2. painos. Rugby: Institution of Chemical Engineers.

Karjalainen, N. 2015. Liuskekaasutuotannon tulevaisuus Yhdysvalloissa ja maailmalla. Verkkouutinen. Suomen Washingtonin suurlähetystön verkkosivut. Saatavissa:

<http://www.finland.org/public/default.aspx?contentid=328911&culture=fi-FI> [viitattu 30.9.2015]

Karvonen, P. 2013. Nesteytettyä maakaasua polttoaineena käyttävän aluksen polttoainetäydennykset. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.

Kähkönen, V. 2015. EU tahtoo irti venäläisestä energiasta. Helsingin Sanomat 9.3.2015, s. A 20 – A 21. Saatavissa:

<http://www.hs.fi/paivanlehti/09032015/ulkomaat/EU+tahtoo+irti+ven%C3%A4l%C3%A4isest%C3%A4+energiasta/a1425797995784> [viitattu 10.3.2015].

Lindholm, M. 2015. LNG-kuljetukset. Luentomateriaali. Kaasualan neuvottelupäivät 20. - 21.5.2015. Helsinki-Tallinna: m/s Viking XPRS ja Tallinna Nordic Hotel Forum. Saatavissa:

http://www.maakaasu.fi/sites/default/files/pdf/esitykset/20150521_neuvottelupäivät/Lindholm.pdf [viitattu 11.12.2015].

McGuire, G & White, B. 1986. Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals. 3. painos. Lontoo: Witherby.

MSC. 2015. Resolution MSC.391(95): Adoption of the international code of safety for ships using gases or other low-flashpoint fuels (IGF code). Meriturvallisuuskomitean päätös MSC.391(95).

MSC. 2015. Resolution MSC.396(95): Amendments to the international convention on standards of training, certification and watchkeeping for seafarers (STCW), 1978. Meriturvallisuuskomitean päätös MSC.396(95).

MSC. 2015. Resolution MSC.397(95): Amendments to Part A of the Seafarers' Training, Certification and Watchkeeping (STCW) code. Meriturvallisuuskomitean päätös MSC.397(95).

Potapov, V. 2012. Dual fuel intergrated propulsion systems and LNG pack – Technical developments, benefits and operational experience. Luentomateriaali. Kevät 2012. Pietari: Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

Saarelma, O. 2015. Hypotermia (ruumiinlämmön lasku). Verkkojulkaisu. Terveyskirjaston verkkosivut. Saatavissa:

http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00223 [viitattu: 7.10.2015]

SFS. 1997. SFS-käsikirja 95 Maakaasun yleiset turvaohjeet ja hätätilanteiden toimintaohjeet. 3. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS. 1999. SFS-käsikirja 58-1 Nestekaasu ja maakaasu: Säädökset ja viranomaisohjeet. 3. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS. 2013. SFS-käsikirja 58-2 Palavat kaasut: Säädökset ja standardit osa2: Nesteytetty maakaasu (LNG). 1. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Suomen kaasuyhdistys. 2014. Maakaasukäsikirja. Verkkojulkaisu. Saatavissa: http://www.maakaasu.fi/sites/default/files/pdf/kasikirja/kasikirja_20110307.pdf [viitattu 9.3.2015].

Taloussanomat. 2014. Voitto teollisuudelle – EU:n liuskekaasusäännöt vain ohjeita. Taloussanomien verkkosivut. Saatavissa: <http://www.taloussanomat.fi/energia/2014/01/14/voitto-teollisuudelle-eun-liuskekaasusaannot-vain-ohjeita/2014561/12> [viitattu 30.9.2015].

TTL. 2014. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet – metaani. Työterveyslaitoksen julkaisuja. Työterveyslaitoksen internetsivut. Päivitetty 15.8.2014. Saatavissa: <http://www.ttl.fi/ova/metaani.html>

WPCI. 2015. Existing fleet and orderbooks. WPCI:n verkkojulkaisu. World Ports Climate Initiative. Saatavissa: <http://www.lngbunkering.org/lng/vessels/existing-fleet-orderbooks> [viitattu 20.10.2015]

Wärtsilä. 2015. Wärtsilä launches the new Wärtsilä 31 engine: a breakthrough in efficiency. Wärtsilän lehdistötiedote. Wärtsilän verkkosivut. Saatavissa: <http://www.wartsila.com/media/news/02-06-2015-wartsila-launches-the-new-wartsila-31-engine-a-breakthrough-in-efficiency> [viitattu 5.10.2015].