

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma

Peter Karvonen

NESTEYTETTYÄ MAAKAASUA POLTTOAINEENA KÄYTTÄVÄN ALUKSEN
POLTTOAINETÄYDENNYKSET

Opinnäytetyö 2013

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma

KARVONEN, PETER

Nesteytettyä maakaasua polttoaineena käyttävän aluksen
polttoainetäydennykset

Opinnäytetyö

57 sivua + 8 liitesivua

Työn ohjaaja

Lehtori Ari Helle

Toimeksiantaja

Rajavartiolaitos

Toukokuu 2013

Avainsanat

maakaasu, nesteytetty maakaasu, polttoaineet, polttoaine-
täydennys, LNG, meriliikenne

Opinnäytetyössä tarkastellaan nesteytetyn maakaasun (LNG) polttoainetäydennykseen, eli bunkraukseen liittyviä toimenpiteitä. Työ painottuu LNG-bunkraukseen autosta. Tämän hetkisistä täydennysmuodoista se on ainoa, kunnes LNG-proomu tai -terminaali valmistuu Suomeen.

Tavoitteena on saada aikaan kattava opetusmateriaali nesteytetyn maakaasun turvallisuudesta ja kontrolloidusta polttoainetäydennyksestä meriliikenteessä sekä nykyaikaisista polttoainetäydennysjärjestelmistä. Työssä käsitellään metaanikaasun osalta välttämättömyyttä teoriaa, käytön kehittymistä ja nykytilaa sekä LNG:n käytön kehittymistä ja kehitykseen vaikuttaneita tekijöitä. Näiden asioiden lisäksi perehdytään laivalla tehtäviin toimenpiteisiin ennen polttoainetäydennystä, sen aikana ja sen jälkeen.

Aihe on Suomessa uusi, eikä täällä ole ollut aikaisemmin nesteytetyllä maakaasulla toimivia aluksia. Tätä työtä tehtäessä yksi alus, Viking Grace, on valmistunut ja toinen on rakenteilla. Rakenteilla oleva alus on Rajavartiolaitoksen uusi vartiolaiva.

Onnettomuuksien ennaltaehkäisyn kannalta on tärkeää, että jokainen operaatioon osallistuva tunnistaa LNG:n ominaisuudet ja sen käyttäytymisen eri muodoissa. On myös huomioitava, että vain koulutuksen saanut henkilökunta voi työskennellä LNG:n kanssa. Tulevaisuudessa LNG:llä toimivat alukset lisääntyvät ja terminaaleja rakennetaan, jotta tarjolla olisi nykyistä ympäristöystävällisempää polttoainetta.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Maritime Technology

KARVONEN, PETER

Bachelor's Thesis

Supervisor

Commissioned by

March 2013

Keywords

Refueling Ships Powered by Liquefied Natural Gas

57 pages + 8 pages of appendices

Ari Helle, Senior Lecturer

The Finnish Border Guard

LNG (liquefied natural gas), bunkering, LNG bunkering

This bachelor's thesis explores the LNG (liquefied natural gas) bunkering procedures and methods. The main emphasis is on LNG bunkering from a truck because it is the main procedure until an LNG terminal or LNG-bunker vessel with re-load possibility is built in Finland.

The objective of the thesis was to make a study material on how to accomplish a safe and controlled bunkering procedure for a LNG fuelled ship. The thesis includes necessary theory of methane and LNG, how it influences the environment and which the major hazards are and how to avoid them. The bunkering process is the most risky part of sailing on LNG. This thesis was made by collecting material from books, magazines, internet and interviews and by participating in a technical seminar.

During the time this thesis was written, the first LNG powered ship in Finland, m/s Viking Grace, was built, and the second vessel was under construction.

To prevent accidents during bunkering, everyone involved needs to be aware of the characteristics and behavior of LNG in different forms. Moreover, everyone must be trained and licensed to work with LNG.

It is justified to say that the compiled material includes the most vital information needed for refueling ships powered by Liquefied Natural Gas.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄYTETYT LYHENTEET

1	JOHDANTO	8
2	NESTEYTETYN MAAKAASUN HISTORIA JA KÄYTÖN KEHITTYMINEN	9
3	KAASUVARAT	10
	3.1 Maakaasu	10
	3.2 Biokaasu	11
	3.3 Liuskekaasu	13
	3.4 Metaanihydraatti	13
	3.5 Paineistettu maakaasu	14
4	NESTEYTETYN MAAKAASUN OMINAISUUDET	15
	4.1 Kemiallinen koostumus	15
	4.2 Kiehumispiste	17
	4.3 Tiheys/ominaispaino	17
	4.4 Syttyvyys	18
	4.5 Syttymis- ja leimahduslämpötila	20
	4.6 Maakaasun palaminen	20
5	NESTEYTETYN MAAKAASUN KÄYTÖN RISKIT JA VAARAT	21
	5.1 Vaaratekijät	21
	5.2 Koulutus ja henkilökohtaiset suojavarusteet	24
6	LNG:N SAATAVUUS SUOMESSA	25
	6.1 LNG-terminaalit Itämerellä	27
	6.2 LNG Euroopasta	28
7	PÄÄSTÖT	29
8	LNG-TANKIT	30

8.1 A-tyypin tankit	31
8.2 B-tyypin tankit	32
8.3 C-tyypin tankit	32
9 NESTEYTETYN MAAKAASUN MÄÄRÄN MITTAAMINEN JA LAADUN TARKASTAMINEN	35
9.1 LNG-tankkerin lastin mittaus	36
9.2 LNG:tä käyttävän aluksen LNG-mittaus	36
9.3 LNG-näytteen ottaminen	36
10 LNG-JÄRJESTELMÄN KUVAUS	37
11 POLTTOAINETÄYDENNYKSET	39
11.1 Vastuu	39
11.2 Kaasuasema	40
11.3 Tankkausputkisto	41
11.4 Häätäpysäytys	42
11.5 Inertointi	42
11.6 Toimenpidekortit	42
11.7 Toimenpiteet ennen bunkrausta	43
11.8 Toimenpiteet bunkrauksen aikana	45
11.9 Toimenpiteet bunkrauksen jälkeen	45
11.10 Tankin esijähdytys	46
12 BUNKRAUSMUODOT	46
12.1 Autosta bunkraaminen	46
12.1.1 Satama ja laituripaikka	46
12.1.2 LNG-kuljetukset autolla	47
12.2 Bunkraus terminaalista tai kiinteästä välisäiliöstä	50
12.3 Ship to ship -bunkraus	50
12.3.1 Letkujen tarkastus	51
12.3.2 Viestintä	52
12.3.3 Ankkurointisuunnitelma	52
12.4 Konttibunkraus	52

13 YHTEENVETO 53

LÄHTEET 54

LIITTEET

Liite 1. Bunkrauksen tarkastuslista 1

Liite 2. Bunkrauksen tarkastuslista 2

Liite 3. ANNEX 11 luku 8

Liite 4. Rikkidirektivi

Liite 5. MARPOL-sopimuksen liitteen VI muutokset

KÄYTETYT LYHENTEET

ADR	European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road, sopimus vaarallisten aineiden kansainvälisistä kuljetuksista
CNG	Compressed Natural Gas, ajoneuvokäyttöön tarkoitettu paineistettu kaasu
ESD	Emergency Shut Down, hätäpysäytys-järjestelmä
GTL	Gas To Liquids, kaasu nesteeksi
IMO	International Maritime Organization, kansainvälinen merenkulkujärjestö
LBG	Liquefied Biogas, nesteytetty biokaasu
LCNG	Liquefied Compressed Natural Gas
LNG	Liquefied Natural Gas, nesteytetty maakaasu
LPG	Liquefied Petroleum Gas, nestekaasu – propaania tai butaania tai näiden seos
MDO	Marine Diesel Oil, dieselöljy joka sisältää pienen määrän raskasta öljyä
MJ	megajoule, energian yksikkö
MWh	megawattituntia, energian yksikkö
NG	Natural Gas, maakaasu
NO _x	typenoksidit
NTP	Normal Temperature and Pressure, normaali lämpötila ja paine 0 °C ja 1 bar tai 100 000 pascalia
tn	tonni, massan yksikkö
TraFi	Liikenteen turvallisuusvirasto
Tukes	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto
VAK	vaarallisten aineiden kuljetus, sopimus vaarallisten aineiden kuljetuksista Suomessa

1 JOHDANTO

Pystyäkseen turvalliseen työskentelyyn nesteytetyn maakaasun (LNG engl. *liquefied natural gas*) parissa on tärkeää ymmärtää sen kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet. Lisäksi on syytä perehtyä niihin LNG:n ominaisuuksiin, jotka tekevät siitä hyvän energialähteen mutta voivat tehdä siitä myös osaltaan vaarallisen aineen. Nämä ominaisuudet määräävät, kuinka LNG käyttäytyy, mitä vaikutuksia sillä on työturvallisuuteen sekä miten näitä turvallisuusriskejä voidaan arvioida ja hallita. Tärkeää olisi pystyä ennustamaan LNG:n käyttäytymistä ja vaikuttamaan siihen. Lisäksi täytyy erottaa selvästi sen eri ominaisuudet: käyttäytyminen nesteenä, höyrynä ja kaasun muodossa. Merkittävää on myös ymmärtää, miten LNG käyttäytyy, jos sitä vapautuu vahingossa tai tarkoituksellisesti esim. onnettomuuden, laiterikon, letkurikon tai terroristi-iskun seurauksena.

Nesteytetystä maakaasusta puhuttaessa ei ole harvinaista, että se aiheuttaa hämmennystä, epäilyjä tai väärinkäsityksiä. Tämä johtuu usein LNG:tä koskevista puutteellisista tai virheellisistä tiedoista ja ominaisuuksista. Yleisimpiä virheitä kaasuista puhuttaessa on verrata niitä keskenään tai yleistää niiden ominaisuuksia, kuten syttymisherkkyyttä ja käyttäytymistä, jotka todellisuudessa eroavat paljon eri kaasujen ja nesteiden välillä. Esimerkiksi propaani, kaikkien tuntema kaasugrillien polttoaine, nestekaasu, on ilmaa raskaampaa ja näin ollen vuodon sattuessa se ”valuu” alaspäin. Metaani puolestaan on ilmaa noin puolet kevyempää ja pyrkii ylöspäin.

Tavoitteena on saada aikaan kattava opetusmateriaali nesteytetyn maakaasun turvallisesta ja kontrolloidusta polttoainetäydennyksestä meriliikenteessä sekä nykyaikaisista polttoainetäydennysjärjestelmistä. Työssä käsitellään metaanikaasun osalta välttämätöntä teoriaa, käytön kehittymistä ja nykytilaa sekä LNG:n käytön kehittymistä ja kehitykseen vaikuttaneita tekijöitä. Näiden asioiden lisäksi perehdytään laivalla tehtäviin toimenpiteisiin ennen polttoainetäydennystä, sen aikana ja sen jälkeen.

2 NESTEYTETYN MAAKAASUN HISTORIA JA KÄYTÖN KEHITTYMINEN

Maakaasua ensimmäisenä siirtäneet ja teollisesti käyttäneet olivat kiinalaiset n. 2500 vuotta sitten. He rakensivat alkeellisen siirtolinjan bambukepeistä ja siirsivät näin maakaasua merenrantaan, jossa he kaasuliekillä keittivät merivedestä juomakelpoista vettä. Katujen valaistukseen kaasua käytettiin ensimmäisenä Baltimoressa, USA:ssa. Iso-Britannia kaupallisti ensimmäisenä maakaasun käytön, jolloin kaasua tuotettiin hiilestä ja käytettiin valaistukseen taloissa ja katuvaloissa noin 1785./1/

Nesteytetyn maakaasun historia ulottuu 1900-luvulle, jolloin brittiläinen fyysikko Michael Faraday teki kokeita nesteyttämällä erilaisia kaasuja, mukaan lukien maakaasu. Saksalainen insinööri Karl Von Linde rakensi ensimmäisen kompressoritoimisen jäädytinkoneen Münchenissä 1873. Ensimmäinen LNG-laitos rakennettiin Länsi-Virginiaan 1912 ja se aloitti tuotannon 1917, kun taas ensimmäinen LNG-tankkeri The Methan Pioneer rakennettiin 1959. Vielä 1980 maailmalla liikkui alle 20 miljoona tonnia LNG:tä. Nykyään määrä on noin 250 miljoonaa tonnia ja LNG-tankkereita on 360 kappaletta. LNG kauppaa kaksinkertaistui vuosina 2006–2010 ja on kiihtynyt huimaa vauhtia uusien esiintymien sekä tiukempien päästödirektiivien seurauksena./1/

Tätä kirjoitettaessa maailmalla on noin 90 nesteytysasemaa, joista viisi sijaitsee Norjassa. Rakenteilla on yhdeksän uutta nesteytyslaitosta sekä lisäksi 22 laitosta on suunnitteilla. Norja on johtavassa asemassa LNG-meriliikenteessä. Ensimmäinen norjalainen LNG-alus valmistui vuonna 2000, ja tällä hetkellä käytössä on 29 ja rakenteilla 11 laivaa. Norjalaiset ovat tutkineet maakaasun käyttöä moottoreissa jo vuodesta 1980 lähtien.

Suomen Rajavartiolaitos rakennuttaa parhaillaan uutta vartiolaivaa. Nesteytettyä maakaasua ja dieselöljyä polttoaineinaan käyttävällä koneistolla varustettu 96 metriä pitkä ja 17 metriä leveä monitoimialus valmistuu marraskuussa 2013.

Maakaasua on ryhdytty hyödyntämään laajasti varsin myöhäisessä vaiheessa. Käytännössä toiseen maailmansotaan asti öljyntuotannon yhteydessä on maakaasua poltettu pois eli soihdutettu. Sotien jälkeen saatiin rakennettua maakaasun siirtoon tarvittava korkeapaineputkisto ja siihen soveltuvat kompressorit ja tämän jälkeen maakaasua on ollut mahdollis-

ta siirtää pitkiäkin matkoja putkistoja pitkin sekä nesteyttää maakaasu ja kuljettaa sitä nesteytettynä. Maakaasua käytetään maailmalla suurelta osin sähköntuotantoon ja lämmitykseen./1/

Suomessa maakaasua käytetään sähkön, lämmön sekä sähkön ja lämmön yhteistuotantoon. Vuonna 2012 Suomen sähköstä 12 % tuotettiin maakaasulla. Maakaasua käytetään lisäksi kotitalouksissa, ravintoloissa, kasvihuoneissa sekä teollisuudessa. Maakaasu on myös kemianteollisuudelle arvokas raaka-aine. Tärkeimpiä maakaasupohjaisia tuotteita ovat erilaiset muovituotteet, metanoli ja sen johdannaiset sekä ammoniakki, jota käytetään keinolannoitteiden valmistukseen./2/

Suomessa LNG:n pienimuotoinen tuotanto käynnistettiin vuonna 1996. Sen ensimmäinen asiakas oli Wärtsilä Oyj:n Vaasan tehdas. Wärtsilä tarvitsi tuolloin maakaasua koeajolaitokseen, jossa se kehittäi ja kehittää edelleen Dual Fuel -moottoreitaan. Maakaasua on tullut Suomeen putkea pitkin jo vuodesta 1974 sen aikaisesta Neuvostoliitosta.

3 KAASUVARAT

3.1 Maakaasu

Maakaasu on syntynyt lähes samalla tavalla kuin raskasöljy eli ajan saatossa maan uumenissa biomassan hajotessa ja anaerobisen bakteeritoiminnan sekä maaperän lämmön vaikutuksesta. Puhdistamaton maakaasu sisältää metaanin lisäksi pieniä määriä muita kaasuja, kuten butaania, pentaania, etaania ja propaania sekä muita raskaita hiilivetyjä. Koostumus ja niin sanottu maakaasun sisältö eroaa esiintymisalueittain. Hallitun nesteytysprosessin jälkeen maakaasu on puhdasta. Muut kaasut on hallitussa prosessissa helppo erottaa, koska ne nesteytyvät ennen tai jälkeen metaanin. Lisäksi metaania vapautuu fossiilisten polttoaineiden hankinnan ja jalostuksen yhteydessä. Maakaasu on yleensä lähes kokonaan metaanista koostuva kaasu (CH₄). Metaani on merkittävä fossiilinen polttoaine sähköntuotannossa sekä lämmityskäytössä ja yhä useammin myös polttomoottorin voimanlähteenä./3/

Vielä jokunen vuosi sitten maakaasun arvioitiin riittävän vielä ainakin sadaksi vuodeksi. Nykyään maakaasun arvellaan riittävän ainakin 250 vuodeksi, mukaan luettuna kulutuksen kasvu. Arvio perustuu Pohjois-Amerikan, Puolan ja Saksan suuriin liuskekaasuesiintymiin sekä uuteen poraustekniikkaan. Maakaasun rinnalla voidaan käyttää uusiutuvaa biokaasua. Sen sijaan öljyvarojen uskotaan riittävän enää muutamaksi kymmeneksi vuodeksi. Arviot öljyn kulutuksesta vaihtelevat 40 - 60 vuoden välillä. Suomella ei ole omia maakaasuvaroja. Suurimmat kaasuesiintymät ovat Venäjällä, Pohjois-Amerikassa, Norjassa ja Lähi-idässä. Venäjä on ylivoimaisesti suurin yksittäinen kaasun tuottajamaa. Sen todetut maakaasuvarat ovat yli 48 000 miljardia kuutiometriä. Norjan todetut maakaasuvarat ovat 3 000 miljardia kuutiometriä. Euroopan unionin osuus maailman kaasuvaroista on 2,2 prosenttia./4/

3.2 Biokaasu

Polttomoottorin polttoaineeksi sopivia polttoaineita voidaan jalostaa eri menetelmillä uusiutuvista luonnon raaka-aineista/luonnonvaroista. Näitä tuotteita kutsutaan yleisnimityksellä bioöljyt. Biokaasuksi kutsutaan biomassasta tuotettuja kaasumaisia liikennepolttoaineita. Biodiesel on yleisnimitys biopohjaiselle dieselpolttoaineelle, joka on tuotettu eloperäisistä kasvi- tai eläinöljyistä ja rasvoista. Olennainen käytännön kriteeri biodieseliä määriteltäessä on, että käytettävää öljyä voidaan ilman suurempia muutostöitä käyttää dieselmoottorissa. Bioetanoliksi kutsutaan etanolia, joka on valmistettu biomassasta ja/tai eloperäisestä jätteestä ja jota käytetään biopolttoaineena. Bioöljyä ei siis tule sekoittaa biokaasuun, vaikka kyseessä voi olla samat raaka-aineet./5/

Biokaasua eli metaania syntyy eloperäisen aineksen mädäntyessä hapettomissa oloissa esimerkiksi eläinten ruoansulatuskanavissa, soilla ja kaatopaikoilla. Metaania kerätään talteen polttoaineeksi, jolloin sitä kutsutaan biokaasuksi. Kaasu sisältää 60 - 65 % metaania (CH₄) ja 30 - 35 % hiilidioksidia. Biokaasun tuotantoon soveltuu lähes kaikki biohajoava materiaali, ei kuitenkaan sellun valmistukseen soveltuva ns. ligniinipitoinen puu. Myös selluloosateollisuuden sivutuotteena syntyvää mäntyöljyä tutkitaan bioöljyn raakaaineena. Lisäksi erilaiset energiakasvit, kuten rypsi, rapsi, sinappi, soija ja öljypalmun hedelmät soveltuvat biokaasun tuotantoon. Merileivistä voi niin ikään kehittyä merkittävä biokaasun raaka-aine tulevaisuudessa. Biokaasun raaka-aineeksi kelpaa myös maatiloilta

saatu lanta sekä eläin- ja kasvijätteet. Raaka-ainetta kerätään jo nykyisin kotitalouksista biojätteen muodossa. Myös puhdistamolietteistä ja saostuskaivolietteistä sekä teollisuusyrityksistä saatavista biohajoavista aineista tehdään biokaasua. Teknisesti maakaasu vastaa lähestulkoon biokaasua, ja nesteytysprosessin jälkeen voidaan puhua puhtaasta metaanista, jota kutsutaan nimellä Liquefied Biogas, nesteytetty biokaasu (LBG)./5/

Suomessa on useita biokaasuhankkeita ja toimijoita on monia. Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY on yksi Suomessa toimiva biokaasun tuottaja. Se tuotti biokaasua vuonna 2011 Ämmässuon kaatopaikalta Espoossa 56,6 miljoonaa m³ (49 % CH₄), Viikinmäen jätevedenpuhdistamolta 12,2 miljoonaa m³ (62 % CH₄) sekä Suomenojan jätevedenpuhdistamolta 3,5 miljoonaa m³ (63 % CH₄). Lisäksi yrityksellä on suunnitteilla rakentaa biojätteen mädätyslaitos, jonka tuotannosta ei ole tietoa. Biokaasua hyödynnetään kaasumootoreissa yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa. Puhdistamoiden biokaasun tuotto menee puhdistamoiden omaan sähköntarpeen kattamiseen. Kaatopaikalta saatu biokaasu myydään, ja sen Gasum Oy jalostaa biopolttoaineeksi. LNG:tä käytetään biovoimalaitoksissa tasaamaan kaasun kulutuksen huippuja. EU:n tavoitteiden mukaan biopolttoaineiden osuuden liikenteen polttoaineista tulisi olla vähintään 5,75 % vuonna 2010, 10 % vuonna 2020 ja jopa 25 % vuonna 2030./5/

Valtaosa nykyteknologialla valmistettavista bioöljyistä saadaan myös ihmisravinnoksi kelpaavista kasveista, joten bioöljyjen tuotantoa on kritisoitu ja sen on arveltu lisäävän elintarvikepulaa kehittymättömissä maissa. Myös tropiikissa laajenevia palmuöljyviljelmiä on arvosteltu, koska ne yksipuolistavat maataloutta, köyhdyttävät alueen biodiversiteettiä ja vähentävät viljan viljelyä. Tulevaisuuden bioöljytuotanto pohjautuneekin ravinnoksi kelpaamattomien kasvien, kuten jathropan, hyödyntämiseen tai erilaisiin puusta saataviin öljyihin./5/

Taulukko 1. Biokaasun sisältö (HSY)

Ainesosa	Raakabiokaasu (mädätys)	Jalostettu biokaasu	Maakaasu
Metaani	45 -75 %	95 -98 %	98,1 %
Hiilidioksidi	25 – 50 %	0 – 3 %	0,04 %
Typpi	0 – 20 %	0 – 2 %	0,8 %
Happi	0 – 10 %	0 – 1 %	0,01 %
Rikkivety	0 -1000 mg/m ³	Jälkiä	-
Siloksaanit	0 -50 mg/m ³	Jälkiä	-
Kosteus	On	Jälkiä	-
Halogenoidut hiilivedyt	0 – 1600 mg/m ³	Jälkiä	-
Raskaammat hiilivedyt	-	-	1 %

3.3 Liuskekaasu

Liuskekaasu on tavallista maakaasua, joka on varastoitunut kivien rakoihin ja huokosiin. Sen olemassaolo on tiedetty jo kauan, mutta sitä ei ole osattu hyödyntää. Vasta vähän aikaa sitten Yhdysvalloissa kehitettiin käyttökelpoinen menetelmä liuskekaasun keräämiseen.

Vaikka liuskekaasun hyödyntäminen on alkanut täydellä teholla vasta Yhdysvalloissa, merkittäviä liuskekaasuvarantoja on muuallakin. Nykytiedon mukaan suurimmat varannot ovat Kiinassa. Myös Australiassa ja Euroopassa on suuret liuskekaasuvarannot. Euroopassa liuskekaasua on löydetty mm. Puolasta, Romaniasta, Liettuaista ja Saksasta. Monet alueet ovat vielä kokonaan tutkimatta, joten liuskekaasua voi löytyä muualtakin./6/

3.4 Metaanihydraatti

Metaanihydraatti tai metaaniklatraatti, on jääsohjon kaltaista ainetta, joka muodostuu vesimolekyylien sitomasta metaanikaasusta. Sitä kutsutaan myös ”palavaksi jääksi” Sen energiasisältö on 164-kertainen vastaavaan maakaasumäärään verrattuna. Tutkijoiden mukaan maailman metaaniklatraattien energiamäärä voi olla valtava. Metaaniklatraatteja

arvioidaan olevan hiileksi mitattuna kaksi kertaa niin paljon kuin maailman tunnetut hiiliöljy- ja maakaasuesiintymät yhteensä./7/

Metaaniklatraatit ovat syntyneet tuhansien vuosien aikana orgaanisesta materiaalista, joka on vajonnut meren pohjaan. Mikrobit ovat tuottaneet orgaanisesta planktonista metaania. Korkeassa paineessa osasta metaania on muodostunut metaaniklatraattia. Metaaniklatraatteja syntyy, kun on paljon metaania, korkea paine ja kylmää./7/

Turvallista ja taloudellista metaanihydraatin käyttökäyttötekniikkaa ei tunneta. Japani on tehnyt onnistuneen kokeen metaanihydraatin poraamiseksi. Tutkijat hajottivat rakenteen kaasuksi ja vedeksi pumpaamalla merivettä pois 300 metriä syvästä porausreiästä merenpohjassa alentaakseen painetta. Kaasu nousi sen jälkeen putkea pitkin porausalukseen. Kokeen onnistuminen valaa uskoa metaanihydraatin kaupallisen käytön aloittamiseen vuonna 2018. Hankkeeseen liittyy kuitenkin ympäristöriskejä. Metaanihydraatin pumpaus merenpohjasta voi aiheuttaa maanvyörymiä. Kaasuvuoto taas voi happamoittaa meriveden ja vaurioittaa merieläimiä ja kasveja./8/

Japanin etelärannikolla sijaitsevan hydraattiesiintymän arvioidaan riittävän maan energiatarpeisiin vuosisadaksi. Myös USA:lla ja Venäjällä on aluevesillään tai ikiroudan alla metaanihydraattiesiintymiä. Nekin tutkivat mahdollisuuksia hyödyntää näitä metaanihydraattiesiintymiä./8/

3.5 Paineistettu maakaasu

Paineistettu maakaasu on liikennekaasua, jota käytetään kaasuautojen polttoaineena (CNG, compressed natural gas). Kaasun painetta nostetaan hyvin korkeaksi (200 bar), ja näin kaasu saadaan pienempään tilaan. Dieselöljyyn verrattuna CNG-järjestelmä vaatii noin 6,3 kertaa suuremmat polttoainetankit. Paineistettua kaasua sisältäviä tankkeja ei saa luokituslaitosten sääntöjen mukaan sijoittaa laivan pääkannen alle, vaan tankit on asennettava siten, että niistä on vapaa yhteys ulkoilmaan./4/

Enemmän tilaa vievänä ratkaisuna ja tankin sijoittamiseen liittyvän ongelman takia ei tätä järjestelmää yleisesti käytetä meriliikenteessä eikä sitä myöskään tässä työssä sen enempää esitellä.

4 NESTEYTETYN MAAKAASUN OMINAISUUDET

Nesteytetyn maakaasun ominaisuudet on tiedostettava. Nämä ominaisuudet määräävät kuinka LNG käyttäytyy, miten ominaisuudet vaikuttavat työturvallisuuteen sekä miten näitä turvallisuusriskejä voidaan arvioida ja hallita. Tärkeää olisi pystyä ennustamaan LNG:n käyttäytymistä ja vaikuttamaan siihen. Lisäksi täytyy erottaa selvästi ominaisuudet ja käyttäytyminen nesteenä, höyrynä tai kaasun muodossa. Tärkeimmät ominaisuudet ovat:

- kemiallinen koostumus
- kiehumispiste
- tiheys ja ominaispaino
- syttyvyys
- syttymis- ja leimahduslämpötila
- maakaasun palaminen

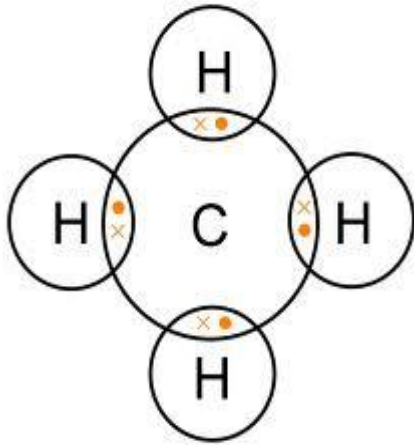
4.1 Kemiallinen koostumus

Nesteytetty maakaasu (LNG, engl. *liquefied natural gas*) on nestemuodossa olevaa maakaasua. Normaalisissa ilmanpaineissa (NTP) maakaasu pysyy nesteenä, jos sen lämpötila on alle -162 °C . Kun maakaasu nesteytetään, tiivistyy se 1/600 osaan kaasusta (NTP). LNG:n tiheys on vain 0,45, mistä johtuen se tarvitsee saman energiamäärän savuttamiseksi huomattavasti suuremmat varastotilat eli tankit, kuin mitä raskasöljy tai MDO. Dieselöljyn tiheys on noin 0,8. Nestemuodossa maakaasua on helpompi kuljettaa sekä varastoida. Lisäksi se vie näin huomattavasti pienemmän tilan kuin kaasuna./9/

LNG:tä saadaan jäädyttämällä maakaasu -162 °C :n lämpötilaan, jolloin se muuttuu nestemäiseksi eli nesteytetyksi maakaasuksi. LNG:n erittäin alhainen lämpötila tekee siitä kryogeenisen nesteen. Kaikki nesteet, joiden kiehumispiste on alle -100 °C , luokitellaan kryogeenisiksi nesteiksi. Yksi tonni LNG:tä vastaa 1370 m^3 maakaasua./9/

LNG on metaania, jonka oktaaniluku on 130 ja lämpöarvo 13,7 MWh/tn (vrt. raskas polttoöljy 11,4 MWh/tn). Maakaasun lämpöarvo on 36 MJ/m³, eli yksi kuutiometri vastaa noin yhtä litraa kevyttä polttoöljyä. Maakaasun sisältämä energiamäärä voidaan ilmoittaa myös muodossa 49,2 MJ/kg, jolloin sen energiasisältö on helpommin verrattavissa vaihtoehtoisiin polttoaineisiin./9/

Metaani (CH₄) on yksinkertaisin hiilivety. Maakaasu sisältää vain yhden hiiliatomin neljää vetyatomia kohti, eli sillä on fossiilista polttoaineista paras energiasisältö hiiliyksikköä kohti. Se on hajuton, mauton, myrkytön ja ilmaa kevyempi kaasu. Se ei aiheuta korroosiota eikä ole syövyttävää. Hajuttomuuden vuoksi, esimerkiksi kotitalouksiin myytävään maakaasuun on lisätty haju vuodon havaitsemiseksi./9/



Kuva 1. Metaanin kemiallinen rakenne

4.2 Kiehumispiste

Kiehumispiste on yksi tärkeimmistä ominaisuuksista, koska se määrittelee pisteen, milloin nesteestä tulee kaasua. Puhtaan veden kiehumispiste on 100 °C (NTP). LNG:n kiehumispiste vaihtelee hieman sen koostumuksesta riippuen, mutta yleisesti ottaen se on -162 °C (NTP). Kun kylmä LNG kohtaa lämpimämmän ympäristön (veden/ilman), se alkaa kiehua ympäröivän lämmön vaikutuksesta./9/



Fahrenheit (degrees F)	Celsius (degrees C)	Occurrence
212	100	Water Boils
31	-0.5	Butane Boils
-27	-33	Ammonia Boils
-44	-42	Propane Boils
-259	-162	LNG Boils
-298	-183	Oxygen Boils
-319	-195	Nitrogen Boils
-422	-252	Hydrogen Boils
-454	-270	Helium Boils
-460	-273	Absolute Zero

Kuva 2. LNG:n “kiehuminen” ja vertailutaulukko (OSAKA Gas Co. Ltd.)

4.3 Tiheys/ominaispaino

Tiheys on suure/määre, joka ilmaisee kappaleen massan suhteessa sen tilavuuteen. Tietyn lämpötilan ja paineen vallitessa tiheys on kullekin aineelle ominainen vakio. Koska LNG ei ole täysin puhdasta koostumukseltaan, sen tiheys vaihtelee 430 – 470 kg/m³. LNG:n ominaispaino on noin puolet vedestä, ja tästä syystä vuodon sattuessa se kelluu vedessä. Ominaispainolla käsitetään aineen suhteellista määrää. Mikä tahansa kaasu/neste, jonka ominaispaino on alle yksi, on kelluva (vedessä). Kun ominaispaino tai suhteellinen tiheys on huomattavasti pienempi kuin ilma, leviää kaasu helposti avoimissa tai hyvin ilmastoiduissa tiloissa ja pyrkii nousemaan ylöspäin. Käänteisesti, jos kaasun ominaispaino on yli yhden, eli kaasu on raskaampaa kuin ilma, ei kaasu pyri ylös, vaan valuu alas, kuten propaani. Metaanin ominaispaino on 0,554 (NTP) ja siksi se on kevyempää kuin ilma./9/

Kun LNG höyrystyy vapaasti, kylmät höyryt tiivistävät ilman kosteuden muodostaen usein valkoisen höyrypilven, kunnes kaasu on lämmennyt, laimentunut ja haihtunut. Ilmankosteuden ollessa suurempi kuin 55 % on syttymiskykyinen seos yleensä näkyvä valkoinen pilvi. Jos taas ilman suhteellinen kosteus on alle 55 %, syttymisherkkä pilvi tai alue voi olla kokonaan tai osittain näkyvän valkoisen pilven ulkopuolella. Tämä tarkoittaa, että syttymiskelpoista aluetta ei voi visuaalisesti havaita. Näkyvän pilven ulkopuolisen syttymiskelpoinen alue ja sen sijainti riippuvat tuulen suunnasta, nopeudesta ja muista sääolosuhteista. Tämä voidaan kokemuksen perusteella laskea ja ennustaa. Koko höyrypilvi nousee ilmaan heti lämmentyään, mikä tapahtuu suhteellisen nopeasti./9/

LNG-höyryn ominaispaine kiehumispisteessä (-162 °C) on noin 1,8. Höyry on ilmaa raskaampaa ja valuu alaspäin. Kuitenkin ympäristön lämmön ansiosta höyryt lämpenevät hyvin nopeasti ja saavutettuaan -110 °C:n lämpötilan, höyryn ominaispaine on laskenut alle 1.0:n, eli ilmaa kevyemmäksi, jolloin voidaan sanoa että höyrystä tulee kelluvaa. Koska metaanin ominaispaine (NTP) on 0,554 ja se on ilmaa noin puolta kevyempää, nousee se nopeasti ilmakehään. Koska kylmä LNG on ilmaa raskaampaa ja höyrystyy lämmitessään, syrjäyttää se hapen suljetuissa ja huonosti tuulettuvissa tiloissa. Happivaje muodostaa hengenvaarallisen alueen./9/

LNG kaasuuntuu jopa viisi kertaa nopeammin vedessä kuin maalla. Tästä johtuen yksi keino onnettomuustilanteissa on lämmittää kylmää LNG:tä vedellä, jotta se lämpenee ja siten höyrystyy nopeammin pois mahdollisista syttymislähteistä./9/

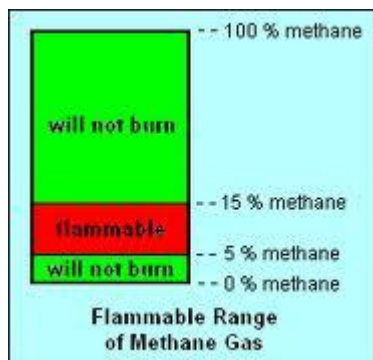
4.4 Syttyvyys

Syttyvyys on välttämätön ominaisuus, joka tekee maakaasusta toimivan ja käyttökelpoisen energialähteen. Lisäksi LNG ei sisällä happea, ja sen merkittävin huomioitava ominaisuus onkin, ettei se ole syttyvää kuten maakaasu. Koska LNG alkaa höyrystyä heti vapautumisensa jälkeen, on ensiarvoisen tärkeätä tietää, milloin höyryt ovat syttyviä. Metaanin alempi syttymisraja on 5 % ja ylempi syttymisraja on 15 %. Tämän alueen ulkopuolella oleva ilman ja metaanin seos ei ole syttymiskelpoista. Tästä syystä maakaasun syttymisalue on varsin kapea. Materiaalit, joilla on suurempi syttymisalue, ovat vaikeammin hallittavissa. /9/

Taulukko 2. Polttoaineiden syttymisrajat (McGuire and White)

Hiilivety polttoaineiden syttymisrajat		
Polttoaine	LFL- alempi syttymis- raja	UFL- ylempi syttymis- raja
Metaani	5,0	15,0
Butaani	1,88	7,6
Kerosiini	0,7	5,0
Propani	2,1	10,1
Hydrogeeni	4,0	75,0
Asetyleeni	2,5	>82,0
Bensiini	1,4	7,6
Diesel	1,0	6,0

Laivan suljetussa LNG-varastotankissa seossuhde on lähes 100 %. Suurin osa on neste-mäisessä muodossa ja osa höyrymuodossa. Mahdollinen pieni vuoto tankissa tai putkis-tossa hyvin tuuletetulla alueella aiheuttaisi todennäköisesti nopean höyrystymisen ja se-koittumisen ilman kanssa, eikä todennäköisesti muodostaisi yli 5-prosenttista seosta. No-pean höyrystymisen ansiosta vain pieni alue vuodon läheisyydessä muodostaisi syttymis-kelpoisen seoksen. Kaikki putkilinjat, kaasuasema ja muut tilat, joihin voidaan olettaa joutuvan kaasua, tulee varustaa kaasuhälyttimillä./9/



Kuva 3. Metaanin syttymisrajat (GIIGNL)

4.5 Syttymis- ja leimahduslämpötila

Itsesyttymislämpötila on se alin lämpötila, johon kuumennuttuaan aine syttyy itsestään palamaan. Tässä lämpötilassa palaminen jatkuu myös syttymisen jälkeen ilman ulkopuolista lämmönlähdettä kuten liekkiä tai kipinää.

Leimahduspiste on se alin lämpötila, jossa nesteestä normaalipaineessa haihtuu niin paljon höyryjä, että ne muodostavat nestepinnan päällä olevan ilman kanssa syttymiskelpoisen seoksen.

LNG:n itsesyttymispiste on riippuvainen vallitsevasta ilmanpaineesta sekä ilman ja metaanin seoksesta, mutta yleisesti ottaen noin 10-prosenttinen seos syttyy noin 540 °C:ssa. Palotilanteessa metaani palaa kuumemmalla liekillä kuin bensiini tai dieselöljy, eli se myös palaa nopeammin ja tuottaa enemmän lämpöä. Palotapahtuma tuottaa lähinnä hiilidioksidia ja vesihöyryä. LNG-onnettomuustilanteessa yleensä suurimpana huolenaiheena pidetään tulipalon yhteydessä syntyvää suurta säteilylämpöä./9/

Taulukko 3. Itsesyttymislämpötilan vertailutaulukko

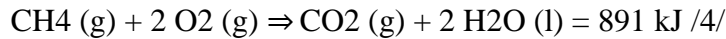
Maakaasu	Dieselöljy	Bensiini
599 °C	260 - 371 °C	226 - 471 °C

4.6 Maakaasun palaminen

Maakaasu syttyy ainoastaan seossuhteessa 5 - 15 % kaasua ilmassa, joten sen niin sanottu syttymisikkuna on varsin kapea verrattuna muihin kaasuihin tai tulipalon yhteydessä syntyviin palokaasuihin. Maakaasun ideaalinen palamisseossuhde on 9,5 % kaasua ilmassa (NTP). Sen liekkirintaman eteneminen on vain 40 cm/s (NTP), eli liekkirintama etenee varsin hitaasti. Esimerkiksi normaali ihminen kävelee nopeammin; yli metrin/s. Ideaalisseossuhteessakaan (NTP) maakaasun syttyminen ei ole räjähdys, vaan lähinnä nopea palaminen. Tämän vuoksi moottorin ohjausjärjestelmän tekeminen ja tasaisen palotapahtuman saavuttaminen moottorissa on varsin haasteellista, ja siitä syystä maakaasumoottorei-

ta ohjataan sylinterikohtaisella moottorin ohjausjärjestelmällä. Palaminen aiheuttaa bensiinin tavoin palokaasujen lämpötilan nousua, eli palotilan kaasut laajentuvat./3/

Yksinkertaisin hiilivety, palamisprosessi:



Palaessaan maakaasu tuottaa lämpöenergiaa, hiilidioksidia ja vesihöyryä.

5 NESTEYTETYN MAAKAASUN KÄYTÖN RISKIT JA VAARAT

Kuten kaikilla polttoaineilla, myös nesteytetyllä maakaasulla on vaaratekijänsä. Kaikkien eri polttoaineiden kanssa työskentelevien on tiedostettava niiden vaaratekijät ja osattava työskennellä niiden kanssa. Maakaasu palaa vain maakaasun ja ilman sekoituksessa. Koska säiliöt tai tankit eivät sisällä ilmaa (happia), mahdollinen tuli ei leviä niissä./9/

5.1 Vaaratekijät

LNG:n suurimmat vaaratekijät liittyvät sen kylmyyteen eli kryogeenisuuteen ja metaanin vaaroihin. Vaaratekijät voidaan jakaa seuraavanlaisesti:/4/

- kryogeeniset nesteet
- höyry tai kaasupilveen
- räjähdys
- nopea faasimuutos
- lastin-sekoittuminen / roll over.

Kryogeeniset nesteet

Kaikkien kryogeenisten nesteiden läikkyminen tai vuoto voi aiheuttaa rakenteellisia vaurioita, esim. aluksen rungolle, kannelle tai muille metallirakenteille laivassa tai laivan lähetyvillä. Mahdollinen läikkyminen teräskannelle voi aiheuttaa metallille niin sanottua kylmäaurautta ja se voi ulottua useaan kerrokseen. Kylmäaurauden vaurioittamasta metallista tulee ruskeata, kahvinpuruja muistuttavaa rakeista jauhoa. Tätä vastaan voidaan

suojautua valuma-altailla, jotka on valmistettu austeniittisestä eli ruostumattomasta teräksestä tai alumiinista, jotka molemmat säilyttävät sitkeytensä vielä hyvin kylmissä lämpötiloissa. Vakavia loukkaantumisia voi ilmetä, mikäli LNG joutuu kosketuksiin ihmiskansan kanssa. Nämä paleltumisvammat muistuttavat palovammoja. Toinen vaara piilee venttiilien jäätymisessä. Jos venttiilissä on kosteutta tai vettä, voi kylmä LNG jäädyttää venttiilin. Tämä voi lähinnä ilmetä korkeapaineen release-venttiileissä.

Höyry / kaasupilvi

Suuri metaanivuoto sisätilassa, missä ilmanvaihto on huono, voi nostaa kaasupitoisuuden ilmassa yli ylemmän syttymisrajan (15 %). Tällöin ilman happipitoisuus on alentunut, mistä saattaa aiheutua hapenpuutetta, joka ilmenee huimauksena, hengitysvaikeuksina, levottomuutena, pahoinvointina ja päänsärkynä. Pahimmillaan hapenpuute voi johtaa tajuttomuuteen tai kuolemaan, jos happipitoisuus laskee liian alhaiseksi. Tämän takia on tärkeää, että kaikissa tiloissa, joissa kaasua voi esiintyä, on oltava kaasunilmaisimet sekä tuuletusmahdollisuus./10/

Nestemäisen metaanin kylmien höyryjen hengittäminen voi aiheuttaa paleltumia hengitysteissä. Suora kosketus nestemäiseen metaaniin tai altistuminen kylmälle metaanihöyrylle aiheuttaa paleltumavamman iholla ja silmissä. Silmien paleltumavamma voi johtaa pysyvään vaurioon tai sokeutumiseen. Paljas iho voi jäädä kiinni nestemäisen metaanin jäädyttämään metalliin ja repeytyä irrotettaessa. Humahtaen palava kaasupilvi aiheuttaa pilven sisään jääneille vaikeita palovammoja./10/

Räjähdykset

Metaani on pelkistävä aine, joka aiheuttaa räjähdysvaaran reagoidessaan voimakkaiden hapettimien kuten kloorin ja nestemäisen hapen kanssa. Metaani reagoi kiivaasti myös typpien oksidien, klooridioksidin ja typpitriofluoridin kanssa. Räjähdysvaaraa saattaa ilmetä, kun tietyt edellytykset ovat olemassa. Jotta syntyy räjähdysvaaran, on oltava vuoto. LNG:n on höyrystyttävä ja laimennuttava välille 5 -15 %. Tämän lisäksi ilman ja maakaasun sekoituksen on oltava suljetussa tilassa. Kun nämä edellytykset on luotu, vain pieni kipinä riittää aikaansaamaan räjähdysvaaran. Metaanivuoto voi aiheuttaa ulkona syttymis-

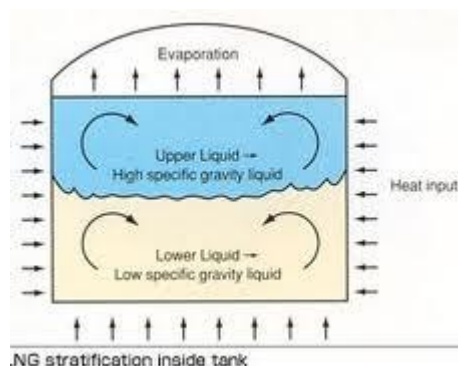
vaaran ja sisällä lisäksi räjähdysvaaran. Metaanin ja ilman syttyväseos voi syttyä, mistä tahansa syttymislähteestä. Seos palaa humahtuen. Jos vuoto jatkuu vielä syttymishetkellä, liekki vetäytyy vuotokohdalle. Suljettuun tilaan, kuten huoneeseen tai viemäriverkostoon, muodostuneen seoksen syttyminen aiheuttaa sisätilaräjähdyksen./10/

Nopea faasimuutos

Jos suuri määrä LNG:tä vuotaa vedenpinnalle, voi tapahtua nopea faasimuutos. Se muodostuu, kun erittäin kylmä LNG kohtaa lämpimän veden. Lämmin vesi aiheuttaa voimakkaan kiehumisen ja höyrystymisen, mikä voi muistuttaa räjähdystä. Kyseessä ei ole räjähdys, vaan todella nopea höyrystyminen. Nopea ympäristön jäähtyminen ja energian vapautuminen voi vaurioittaa alusta ja ympärillä olevia rakenteita. /9/

Lastin sekoittuminen/ roll over

Roll over saattaa ilmetä lastitankissa, jossa on jo lämmennyttä nesteytettyä maakaasua, kun kylmempää sekä eri tiheyden omaavaa LNG:tä lisätään tankkiin. Silloin aineet/kaasut eivät välttämättä sekoitu heti, vaan muodostavat erilliset kerrokset. Kun säiliöön johdetaan normaalisti lämpöä, lämpenee vain alempi kerros. Tämän alemman kerrostuman tiheyden muutos aiheuttaa sen, että se pyrkii ylös ja kylmempi kerros tulee alas, eli ne vaihtavat keskenään paikkaa. Tällöin on mahdollista, että lastitankissa tapahtuu niin paljon höyrystymistä, että tankin sisäinen paine nousee. Jos ylipaineventtiili ei pysty purkamaan painetta tarpeeksi nopeasti, voi lastitankkiin syntynyt kova paine aiheuttaa tankissa pysyviä muodonmuutoksia tai jopa repeämän./9/



Kuva 4. Lastin roll over (GIIGNL)

5.2 Koulutus ja henkilökohtaiset suojavarusteet

Kaasu polttoaineena ja kaasumoottorin toiminta poikkeaa perinteisestä polttoöljyratkaisuista niin paljon, että työturvallisuuslain vaatimusten täyttäminen edellyttää aluksen miehistöltä lisäkoulutusta. Koulutuksen sisällöstä päättää Suomessa viime kädessä aluksen turvallisesta miehityksestä säätelevä viranomainen, joka on Liikenteen turvallisuusvirasto, TraFi. Merenkulkuun liittyviä kysymyksiä käsittelee TraFin meriosasto. LNG:tä polttoaineenaan käyttäville aluksille ei ole vielä olemassa varsinaista koulutusta. Asia on agendalla IMO:ssa nyt seuraavassa kokouksessa 28.4. - 3.5.2013. Jukka Tuomaala TraFiltä on sitä mieltä, että STCW-yleissopimukseen voi jatkossa tulla kyseeseen pakollinen LNG koulutus./11/

Tähän asti on ollut olemassa vain IMO:n päätöslauselma, joka on teknispainotteinen ja ottaa kantaa koulutukseen aika yleisellä tasolla. STCW:ssä on kuitenkin yleiset perehdyttämiskaavat, joiden puitteissa vaaditaan perehdytys alukseen, ja se kattaa kyllä tämänkin asian jollain tavalla. Perehdyttämiskaavasta on tulossa TraFin ohjeistus lähiaikoina.

Trafin luonnostekstissä lukee: Jos aluksen polttoaineena käytetään nestemäistä kaasua (LNG), perehdyttämisessä tulisi ottaa muiden perehdyttämiskaavojen lisäksi huomioon polttoaineen ominaisuuksiin ja käyttöön liittyvät sellaiset asiat, jotka poikkeavat muunlaista polttoainetta käyttävistä aluksista./11/

Koulutus

LNG-polttoainetäydennyksen parissa työskentelevillä on oltava riittävä koulutus työskentelemään nesteytettyjen kaasujen kanssa. Kouluttamaton ja harjoittelematon henkilökunta ei saa oleskella tai liikkua polttoainetankkausalueella tankkauksen aikana. Koulutukset jaetaan kolmeen kategoriaan, A-, B- ja C-luokkaan. C-luokan koulutus on laajin ja se annetaan konehenkilökunnalle ja osalle päällystöstä, B- ja A-luokan koulutus on C-luokkaa suppeampi ja annetaan laivalla henkilökunnalle työtehtävien mukaan./12/

Koulutuksen seuranta ja pätevyystodistukset on säilytettävä laivalla ja ne on esitettävä

polttoainetoimittajan tai sataman niitä pyytäessä. Turvallisuusmääräykset, kuten avotulen teko, tupakointi ja viestiyhteyden katkeaminen polttoainetoimittajan kanssa, on dokumentoitava ja tehtävä kuten ISM (International Safety Management)-koodi 2002 IMO määrä. /12/

Maakaasuosaamista Suomessa ylläpitää, kehittää ja kouluttaa Suomen Kaasuyhdistys ry. Kaasun käytönvalvokursseja pidetään Suomessa noin kolme kertaa vuodessa ja kurssi kestää tyypillisesti kaksi päivää. Tämä kurssi vaaditaan kaikilta kaasun parissa työskenteleviltä. /2/

Henkilökohtaiset suojavarusteet

Nesteytettyä maakaasua käsiteltäessä tulee käyttää henkilöstön suojavarusteina tulenkestävää ja antistaattista suojapukua, suojalaseja, suojakäsineitä sekä suurissa pitoisuuksissa hengityssuojainta. Materiaaleista metaanille sopivaksi on todettu Tychem® Responder®. Kaikkien, jotka työskentelevät polttoainetäydennyksen kanssa on tiedettävä, missä suojavarusteet sijaitsevat ja miten niitä tulee käyttää. Aluksella on myös oltava riittävä ensiapuvalmius ja tieto, miten käsitellään kryogeenisistä aineista johtuvia paleltumisvammoja. /2/

6 LNG:N SAATAVUUS SUOMESSA

LNG:n tuotantolaitos Suomessa sijaitsee Porvoon Kilpilahden teollisuusalueella. Laitoksen tuotantokapasiteetti 20 000 tonnia/vuosi ja sen yhteydessä on LNG-varasto, jonka tilavuus on 700 tonnia. Maakaasu tulee putkea pitkin laitokselle, jossa se nesteytetään. Nesteytykseen tarvitaan energiaa 300 - 500 kWh/1 tn LNG:tä, eli karkeasti se maksaa noin 15 - 25 €/tn raakasähkön hinnalla laskien, joten suuressa mittakaavassa nesteyttäminen tuontikaasusta ei ole järkevää. Tällä hetkellä nesteytetty maakaasu maksaa Suomessa melkein saman kuin MDO. Maakaasu on järkevintä nesteyttää siellä, missä sitä esiintyy, jolloin nesteytykseen tarvittava energia tuotettaisiin jo maakaasulla. Ei kuitenkaan ole kannattavaa rakentaa kallista putkisiirtoverkkoa suoraan maakaasulähteeltä. Yksinkertaisinta on nesteyttää kaasu paikanpäällä ja laivata se isolla LNG-tankkerilla terminaaliin

ja siitä kuluttajalle joko kaasumaisena putkea pitkin tai nestemuodossa pienemmillä proomuilla, laivoilla tai rekalla kulutuskohteeseen./4/



Kuva 5. Kilpilahden LNG-laitos (Gasum)

Viking Linen Gracen kaltaisille aluksille nesteytetyn kaasun LNG-terminaalit ovat välttämättömiä. Maakaasukäyttöisiä aluksia kaivataan Itämerelle lisää, koska 2015 voimaan tuleva rikkidirektiivi lisää kustannuksia tuntuvasti. Suomalais-venäläis-saksalainen Gasum haluaisi rakentaa merenkulun tarpeita palvelevan tuontiterminaalin Turun Pansioon. Kaavamuutokset ovat jo tekeillä ja terminaalin on määrä valmistua 2015. Isomman, joskus ehkä Baltiankin tarpeita tyydyttävän Finngulf LNG-terminaalin paikaksi yhtiö on harkinnut Inkoota tai Porvoota. EU:n viime vuonna teettämä selvitys suositteli nesteytyslaitoksen tekoa Suomen etelärannikolle, mistä voitaisiin vetää myöhemmin meren alainen putki Viroon. Iso terminaali maksaisi koosta riippuen arviolta 200 - 400 miljoonaa euroa./13/

Tuontiterminaalien kautta Suomeen voidaan tuoda nesteytettyä maakaasua (LNG), joka hankitaan maailmanmarkkinoilta ja tuodaan Suomen terminaaliin erikoisvalmisteisilla laivoilla. Tuontiterminaali monipuolistaisi ja toisi joustavuutta maakaasun hankintaan ja mahdollistaisi kaasun tuonnin muualta kuin Venäjältä sekä mahdollistaisi käytön uusissa kohteissa kaasuverkoston ulkopuolella./4/



Kuva 6. Suunnitteilla oleva tuontiterminaali Pansioon (Gasum)

6.1 LNG-terminaalit Itämerellä

Ruotsin Nynäshamniin valmistui Itämeren ensimmäinen LNG-terminaali, jonka varastokapasiteetti on 20 000 m³. Tätä terminaalialia syötetään Norjan kaasukentiltä. Sitten LNG siirretään terminaalista rekalla pieneen bunkkeriproomuun, joka hoitaa uuden Viking Gracen polttoainetäydennykset. Täydennyksiä operoi AGA. Terminaalista menee LNG:tä muillekin kuluttajille kuin Viking Linelle. Ruotsissa ei ole samantapaista kaasuverkkoa kuin Suomessa, vaan siellä kuljetukset hoidetaan yleensä rekka-autoilla./14/



Kuva 7. Havainnepiirros AGA:n bunkkeriproomusta (AGA)

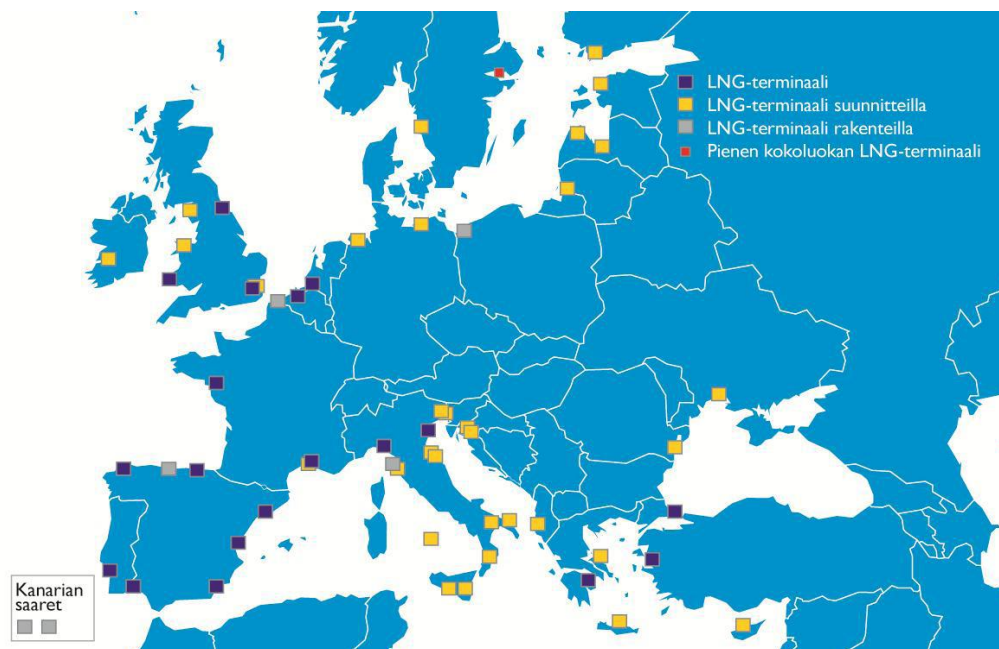
Puolaan on rakenteilla suuri LNG-terminaali kapasiteetilla 2 x 150 000 m³, ja sen pitäisi valmistua 2014. Terminaaliin ei ole toistaiseksi tulossa re-load-mahdollisuutta, vaan ter-

minaali ruokkii Saksan, Puolan sekä Hollannin energiatarpeita. Porvoon telakan toimitusjohtaja Jukka Jaatisen mukaan on olemassa suunnitelmia Pietariin tai/sekä Primorskiin rakennettavasta LNG-terminaalista. Aikataulusta tai toteutuksesta ei ole vielä tietoa, mutta venäläiset pystyvät tarvittaessa rakentamaan terminaalin nopeallakin aikataululla.

Myös Viro on kiinnostunut rakentamaan oman terminaalinsa Tallinnan Muugaan. Edellisten lisäksi laivojen tankkausasemia suunnitellaan ainakin Helsinkiin, Tukholmaan, Helsingborgiin, Riikaan, Aarhusiin sekä Malmö-Kööpenhamina-akselille./15/

6.2 LNG Euroopasta

Euroopassa on useita LNG -terminaaleja. Läheskään jokaisessa niistä ei ole niin kutsuttua re-load-mahdollisuutta, vaan useimmat niistä ovat isoja LNG-tuontiterminaaleja. LNG:tä käyttävää laivaa ei siis voi tankata jokaisesta LNG-terminaalista. Teknisesti toimenpide olisi kyllä täysin mahdollinen ja todennäköistä tulevaisuudessa. Tämän hetkisen kysynnän vuoksi tilanne on kuitenkin vielä auki. Re-load -järjestelmä vaatii rahallisen sijoituksen satamatoimijoilta. Polttoainetäydennykset tehdään siis vielä toistaiseksi useimmissa satamissa rekka-autolla./16/



Kuva 8. LNG-terminaalit Euroopassa (Gasum)

7 PÄÄSTÖT

Meriliikenteen päästörajat

Meriliikenteen päästöjen rajoittamiseen on perinteisesti kiinnitetty vähemmän huomiota kuin maalla olevien teollisuus- ja energiantuotantolaitosten ja tieliikenteen päästöjen rajoittamiseen. Tällä hetkellä tieliikenteessä käytetään käytännössä rikkittömiä polttoaineita. Meriliikenteen päästöt ovat kasvaneet merkittäviksi, ja ilman lisätoimia meriliikenteen rikkidioksidi- ja typenoksidipäästöt olisivat vuonna 2020 suuremmat kuin maalta peräisin olevien lähteiden päästöt./17/

Itämeri on yksi maailman tiheimmin liikennöidyistä merialueista; siellä arvioidaan joka hetki olevan liikenteessä noin 2000 alusta. Aluksien tiukentuvat määräykset asettavat entistä suuremmat vaatimukset Itämeren alueella liikkuvien aluksien polttoaineille. Polttoaineen suurin sallittu rikkipitoisuus Itämerellä on vuoden 2015 alusta 0,1 prosenttia. LNG täyttää sellaisenaan rikkidirektiivin asettamat vaatimukset, koska LNG ei sisällä lainkaan rikkiä. HELCOM on esittänyt, että Itämeren alue julistettaisiin myös NECA - erityisalueeksi, jota koskisivat tiukemmat päästömääräykset typen oksidien osalta./17/



Kuva 9. Päästörajoitetut alueet (Wärtsilä Oyj)

Maakaasun päästöt

Maakaasu on uusiutumattomista energiamuodoista puhtain. Se ei sisällä rikkiä, raskasmetalleja eikä pienhiukkasia. Maakaasun poltto vapauttaa hiilidioksidia CO_2 , mutta päästöt ovat noin 20 - 25 % pienemmät verrattuna raskaaseen polttoöljyyn tai dieseliin. Tämä johtuu hiilen ja vedyn suhteesta metaanissa, joka on 1:4, kun se taas dieselöljyssä on 1:2 ja kivihielessä 2:1. Typen oksidit eli (NO_x) päästöt ovat 85 - 90 % pienemmät kuin raskasöljyllä tai dieselöljyllä. Tämä johtuu siitä, että kaasumoottori toimii OTTO -prosessin mukaan, eli tyypeä hapettava kuuma aika sylinterissä on lyhyt. Kaikkiaan maakaasua voidaan tällä hetkellä pitää fossiilisista polttoaineista puhtaimpana ja ympäristöystävällisimpänä. Ympäristöön joutuessaan metaani päätyy ilmakehään. Metaani on luokiteltu hiilidioksidin ohella merkittäväksi kasvihuonekaasuksi, niin kutsutuiksi ODB-kaasuiksi (ilmakehää lämmittäviä) sanottuja kasvihuonekaasuja. Ilmaan joutuessaan metaani hajoaa hitaasti hydroksyyli-radikaalien vaikutuksesta. Puoliintumisajaksi on arvioitu kuusi vuotta./2/

Metaanin ilmakehää lämmittävä vaikutus on 25 kertaa suurempi kuin hiilidioksidilla ja sillä on otsonia heikentävä vaikutus. Tämän takia ei metaani päästöjä tule sallia. Jos bunkrauksen yhteydessä, tai LNG laivan käytössä syntyy metaanipäästöjä, romuttaa se koko LNG:n ympäristöystävällisyyden.

Joutuessaan maaperään metaani vapautuu hyvin nopeasti ilmaan sekä kuivasta että kosteasta maaperästä. Maaperässä metaanin on arvioitu olevan erittäin kulkeutuvaa. Joutuessaan veteen metaani haihtuu nopeasti pintavedestä. Laskentamallien avulla on arvioitu, että metaanin määrä puoliintuu matalasta joesta ja järvestä noin kahdessa tunnissa. Rakenteeltaan samankaltaisen aineen perusteella on arvioitu metaanin olevan nopeasti biologisesti hajoavaa eikä sitä ole todettu kertyvän ravintoverkkoon. Voimassa olevien kriteerien perusteella metaania ei luokitella ympäristölle vaaralliseksi./2/

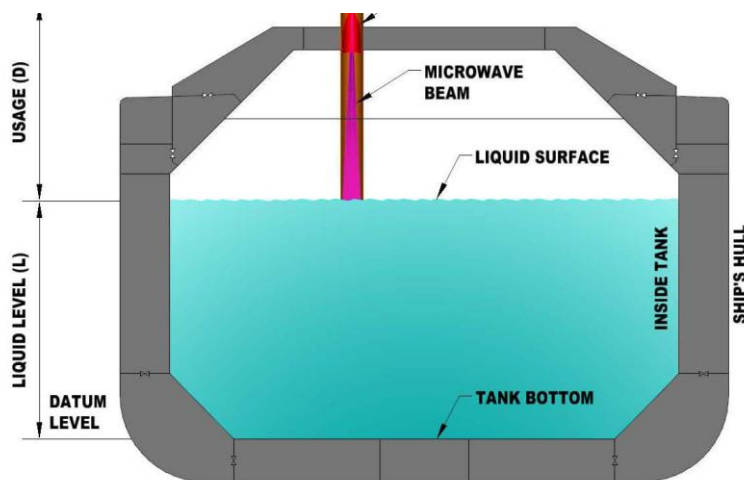
8 LNG-TANKIT

Maakaasu pysyy varastotankissa nestemäisessä muodossa normaalissa ilmanpaineessa, jos sen lämpötila pysyy alle -163 °C :ssa. Laivoissa käytetään yleensä tyhjiöeristettyjä,

kaksoisseinäisiä tankkeja. Tankit rakennetaan austeniittisestä teräksestä, joka säilyttää lujuutensa vielä erittäin alhaisissa lämpötiloissa. Tankkien hyvä eristyskyky perustuu ilman liikkumattomuuteen sisä- ja ulkokuoren välissä, joka saadaan aikaan alipaineella. Mekaanisesti lujan ulkokuoren ja kylmälujan sisäkuoren välissä on noin 200 – 300 mm tila, josta on otettu ilma pois eli muodostettu tyhjiö. Tankin välitilassa on myös usein täytteenä perliittijauhetta, jonka avulla pyritään eliminoimaan kiinnikkeiden aiheuttamaa kylmäsiltaa. Perliittijauhe toimii myös eristeenä, jos tankin välitilasta jostain syystä katoaisi eristeenä toimiva alipaine. Laivasovellukseen olevia LNG-varastotankkeja on erilaisia. Ne jaetaan eri luokkiin rakenteen ja ominaisuuksiensa mukaan. IMO:n luokituksen mukaan varastotankit jaetaan A-, B- ja C-luokkiin./18/

8.1 A-tyypin tankit

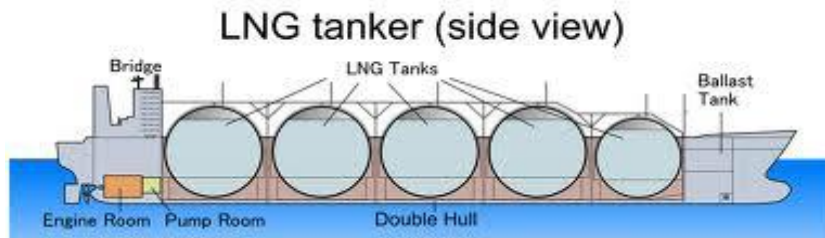
A-tyypin tankit voidaan rakentaa aluksen muotoja mukailleen. Näille tyypillisintä on erittäin alhainen käyttö-/varastopaine, noin 0,25 - 0,7 baaria yli vallitsevan ilmanpaineen, tankit on varustettu boil-offin keruulla ja vaativat joko boil-offin käytön tai kaasun nesteytysjärjestelmän, joka jäähdyyttää höyryn takaisin nesteeksi. Boil-off on nesteestä höyrystyvää höyryä, joka muodostuu kun ympäröivä lämpö lämmittää nestettä. Tankit vaativat kaksinkertaisen varmennuksen eli käytännössä kaksi austeniittista kerrosta suojaamaan laivan runkoa. A-tyyppiä käytetään lähinnä vain tankkereissa./18/



Kuva 10. LNG:n A-tyypin tankki

8.2 B-tyypin tankit

B-tyypin tankit ovat yleensä pallon muotoisia (moss -tyyppisiä) varastotankkeja ja vaativat joko boil offin käytön tai kaasun nesteytysjärjestelmän. Ne eivät vaadi täydellistä kaksinkertaista suojaa rakenteensa takia. B-tyyppi on yleisin tankkereissa./18/

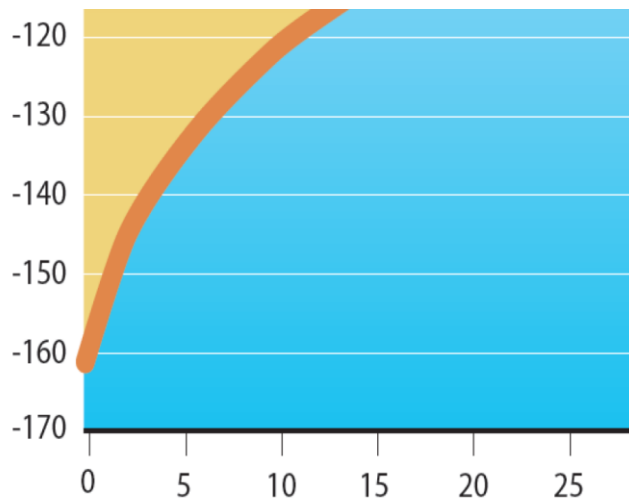


Kuva 11. LNG:n B-tyypin tankki (bubblews)

8.3 C-tyypin tankit

C-tyypin tankit voivat olla pallonmuotoisia tai sylinterin muotoisia, päistä pyöristettyjä, ja niitä voidaan rakentaa erikokoisiksi ja asentaa joko pystyyn tai vaakaan. C-tyypin tankki kestää huomattavasti korkeampia kaasunpaineita kun A- ja B-tyyppi. Normaali käyttöpainne C-tyypissä on 5-9 bar, mutta tankki voidaan rakentaa kestävämmän jopa yli 17 baaria. Kaasulakien mukaan paine on suoraan verrannollinen lämpötilaan; tällöin paineen noustessa muuttuu myös LNG:n kiehumispiste. LNG:n kiehumispiste 15 baarissa on noin -112 °C. Tämän ominaisuuden vuoksi LNG pysyy nestemäisessä muodossa, vaikka ympäröivä lämpö lämmittäisi nesteen lämpimämmäksi kuin -162 °C./18/

Kuvasta 11 voidaan havaita että C-tyypin tankin normaalissa käyttöpainneessa (5-9 baaria) kiehumispiste vaihtelee 138:n ja 120 °C:n välillä.



Kuva 12. Paineen vaikutus kiehumispisteeseen

Säiliön kyky pitää LNG riittävän kylmänä perustuu ainoastaan hyvään eristykseen, mitään aktiivista jäähdytysjärjestelmää ei yleensä laivojen varastosäiliössä ole. C-tyypin tyhjiöeristettyjen tankkien erityskyky on niin hyvä, että ilman lisäjäähdytystä ja boil offin kulutusta LNG säilyy tankissa useita viikkoja eikä paineen pitäisi nousta yli varoventtiilin asetetun rajan. Eri tankkivalmistajien tiedot poikkeavat hieman toisistaan, mutta puhutaan useista viikoista, jopa yli viisikymmentä vuorokautta kestävästä seisokeista, niin ettei ole tarvetta päästää boil-offia tankista pois. Tämä kuitenkin on teoreettinen laskelma maasäiliöille. Wärtsilän Mathias Janssonin mukaan laivoilla käytettävien tankkien kiinnikkeet ja kannakkeet ovat paljon vahvemmat ja teräsmassaltaan suuremmat kuin maasäiliöt. Tämän takia laivan LNG tankissa on suuremmat kylmäsillat ja tankit lämpenevät huomattavasti maasäiliöitä nopeammin. Hänen mukaansa laivan säiliöt eivät kykene pitämään painetasoan käytännössä pidempään kuin noin viisitoista vuorokautta, jos niistä ei ole kaasun kulutusta ja tankit on onnistuneesti tankattu lähelle tavoitetäyttöastetta 95% tilavuudesta./19/

Säiliöitä on saatavissa useita eri vakiokokoja. Suuremmat tankit valmistetaan asiakaskohteisesti tilauksen mukaan. Tankkivalmistajia maailmalla on useita.

Polttoainetäydennysmenetelmät eroavat hieman toisistaan käytetyn tankkimallin mukaan. Jotkut tankit eivät kestä paineen nousua, joten niistä on oltava boil-offin keruuletku joko takaisin autoon, proomuun tai terminaaliin, missä se käsitellään joko kaasumaisena tai se

nesteytetään uudelleen. Nesteytys voidaan asentaa myös laivaan. Nesteytysjärjestelmää ei kannata asentaa uusiin suhteellisiin pieniin aluksiin. Tilaa vievinä ja kalliina ratkaisuina pienissä laivoissa se olisi turha kulu. Näin ollen nykyään yleistynyt C-luokan tankki on kokonaisvaltaisesti edullisin ja tilaa säästävin ratkaisu.

Korkeapainetankista ei kerätä boil offia talteen, vaan sitä hillitään ennen tankkausta siten, että tankin pohjalta johdetaan kylmää nestettä tankin yläpintaan, höyrystynyttä nestettä viilennetään, jotta se palautuisi takaisin nesteeksi.

LNG -tankkeja ei tankata koskaan aivan täyteen, vaan niihin on jätettävä pieni tila höyrystymistä varten. Täyttöaste tankista riippuen on yleisesti 75 - 95 % tankin tilavuudesta. Koska tankki tarvitsee toimiakseen minimissään 0,8 baarin ylipaineen, on tankkiin jätettävä pieni tila kaasulle, jotta sillä saadaan tarvittava ylipaine. Jos tankki tankattaisiin täyteen kylmää nestettä (-162 °C), ei sinne jäisi tilaa nesteen laajenemiseen lämpötilan kohotessa eikä tilaa nesteen höyrystymiselle./19/

Taulukko 4. LNG-tankkien vertailu (McGuire and White)

Tyyppi	Kuvaus	Paine	Edut	Vaatimukset
A	Prismaattinen tankinmuoto, voidaan muotoilla laivan rungon mukaan, kaksoisvarmennettu rakenne.	< 0,7 bar	Tilaa säästävä	Vaatii jäähdytysjärjestelmän tai Boil-offin takaisin saaton.
B	Prismapattinen tankinmuoto, voidaan muotoilla laivan rungon mukaan, osittain kaksoisvarmennettu rakenne	< 0,7 bar	Tilaa säästävä	Vaatii jäähdytysjärjestelmän tai Boil-offin takaisin saaton.
B	Pallonmuotoinen, (moss type) kaksoisvarmennettu rakenne.	< 0,7 bar	Luotettava / hyväksi havaittu	Vaatii jäähdytysjärjestelmän tai Boil-offin takaisin saaton.
C	Sylinterinmuotoinen paineastia, kaksoisvarmennusta ei vaadita	< 10 bar	Sallii paineen nousun, yksinkertainen bunkrausjärjestelmä.	

9 NESTEYTETYN MAAKAASUN MÄÄRÄN MITTAAMINEN JA LAADUN TARKASTAMINEN

Reilun ja rehellisen kaupankäynnin edellytys on, että myyjä tietää mitä myy ja ostaja tietää mitä ja miten paljon hän ostaa. Maailmalla esiintyvän metaanin koostumukset eroavat toisistaan ja näin ollen myös niiden tiheys ja energiasisältö. Polttoainekaupassa puhutaan energiamäärästä tai energiasisällöstä. Myös LNG:n kaupankäynnin edellytys on, että sen koostumus ja määrä on mitattavissa. LNG voidaan luokitella ottaen huomioon useita eri kriteereitä, kuten tiheys, lämpöarvo, indeksi, metaanin määrä tai typen määrä. Tavallisesti yleisin parametri määrittämiseen on LNG:n tiheys.

Raskas- ja MDO-öljyn markkinoilla liikkuu epäkelvooa polttoainetta, joka saattaa aiheuttaa vakaviakin vaurioita alusten koneistoihin ja yhtäläinen riski piilee myös nesteytetyn maakaasun markkinoilla. Riskinä on, että nesteytysprosessi on voinut olla vaillinainen, jolloin on tahallisesti tuotettu huonoa laatua tai nesteytetyn kaasun tiheys tai koostumus on koneistolle sopimatonta. Tämä on kuitenkin epätodennäköistä ja harvinaista. Suurempi riski on, että lastitankeista tai putkistoista irtoaa epäpuhtauksia.

LNG on yleensä varastoituna kaksiseinäisiin tyhjiöeristettyihin tankkeihin noin -160 °C:ssa ja hieman yli vallitsevan ilmanpaineen. Kaikissa LNG-varastosäiliöissä, joko maasäiliössä, autossa, proomussa tai laivan säiliössä, ympäröivä lämpö hitaasti lämmittää tankkia ja näin muodostaa höyryä (boil offia). LNG:n sisältämällä eri aineilla on myös eri kiehumispisteet. nämä myös höyrystyvät ensimmäisenä ja näin ollen muuttavat alkuperäisen LNG:n koostumusta ja ominaisuuksia. Tämä on ilmiö, joka tunnetaan ikääntymisenä. Ikääntymisen myötä raskaammat yhdisteet lisääntyvät tankissa, jolloin kevyemmät yhdisteet kuten etaani, propaani ja muut korkeamman kiehumispisteen omaavat hiilivedyt höyrystyvät aikaisemmin. Tämän vuoksi LNG:n laatu ja koostumus muuttuvat jatkuvasti.

9.1 LNG-tankkerin lastin mittaus

Kun LNG-terminaalissa puretaan lastia tankkerista maasäiliöihin, yksi isoimmista haasteista on selvittää lastin mahdollisimman tarkka laatu ja koostumus, koska sen mukaan määräytyy lastin arvo. Energiämäärää ei ole mahdollista mitata virtausmittarilla tai ultraäänimittarilla. Määrän mittaamiseen tarvitaan tiheys, lämpöarvo, koostumus, joista lasetaan energiämäärä. Tämä tehdään joka kerta, kun tankkeri purkaa lastin terminaaliin./20/

9.2 LNG:tä käyttävän aluksen LNG-mittaus

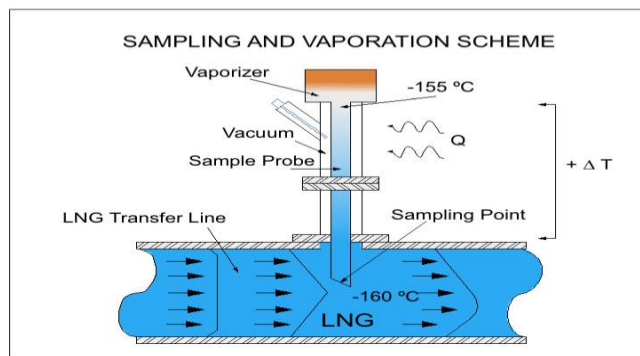
Mittauksia ei tarvita, jos polttoaine tulee aina samalta luotettavalta toimittajalta ja LNG:n koostumus sekä tasalaatuisuus tiedetään varmasti. Näin polttoaine-erä on aina jäljitettävissä, jos se aiheuttaa ongelmia. Käytännössä polttoainetäydennyksen yhteydessä mitataan määrä massavirtausmittarilla ja nesteen lämpötila. Mittari sijaitsee autossa, proomussa tai terminaalissa ja lämpötilan mittaus tapahtuu tankin sisällä, jossa on myös paineen ja pinnankorkeuden mittaus.

Veli-Heikki Niiranen Gasumilta kertoi, miten Gasumilla tarkastetaan laatua. Gasum toimittaa LNG:tä Kilpilahdesta. Jokaisesta autolastauksesta LNG-laitoksella dokumentoituu lastausraportti, johon tulee lastatun kaasun analyysi, energia-arvot ja -määrät. Toisaalta autossa on myös mittaus, josta nähdään, paljonko autosta otettiin ja paljonko autoon jäi tuotetta. Kuorman tiedot kirjautuvat rahtikirjoihin toimituspäässä. Kun auto menee Kilpilahteen noutamaan uutta kuormaa, arvioi kuljettaja autossa olevan LNG:n määrän ja ”tilaa” lastausautomaatiosta autoon sopivan määrän uutta LNG:tä, joka tulee massavirtausmittarin mittaamana noin +/- 40 kg:n tarkkuudella (40 kg/19 500 kg), ellei kuljettaja keskeytä lastausta manuaalisesti esim. ylitäytöstä johtuvasta syystä./16/

9.3 LNG-näytteen ottaminen

Mittauksia on tarkoituksenmukaista tehdä, jos polttoainetoimittaja vaihtuu usein, eli jos alus ei liikennöi tietyllä reitillä. Polttoaineen koostumus on mahdollista määrittää laivalla. Siihen tarvitaan kaasuanalysointilaitteita, joko kiinteästi laivaan asennettuna tai kannettavina laitteina.

LNG:tä purettaessa tankkiin mittauksen ensimmäinen vaihe on suorittaa näytteenotto, minkä jälkeen näyte höyrytetään. Tämä on mittauksen kriittisin vaihe. LNG:n, joka menee höyrystimelle, on ehdottomasti oltava nestemäisessä muodossa ja yhtä kylmää kuin putkistossa virtaava. Tällä varmistetaan se, että saadaan saman tiheyden omaavaa kaasua näytteeksi kuin mitä tankataan. Putkistoon asennetaan kiinteät massavirtamittarit ja näytteenottolaite. Laite asennetaan yleensä kiinteäksi. Näyte otetaan nesteestä tankkauksen aikana, sitten se höyrytetään ja lopuksi se siirtyy näytteenottoputkea pitkin kaasukromatografille, joka määrittelee kaasun ominaisuudet. Näytteenottoyksiköstä voidaan myös ottaa säännöllisin väliajoin näyte sylinterinmuotoiseen kaasunäyteastiaan, jossa se voidaan lähettää laboratorioihin tutkittavaksi. Näyte tulee ottaa bunkrauksen aikana, kun virtaus putkistossa on vakaa ja pumppausnopeus vakio. Jos esimerkiksi näytteenoton aikana joudutaan keskeyttämään pumppaus, tulee näytteenotto myös keskeyttää./20/



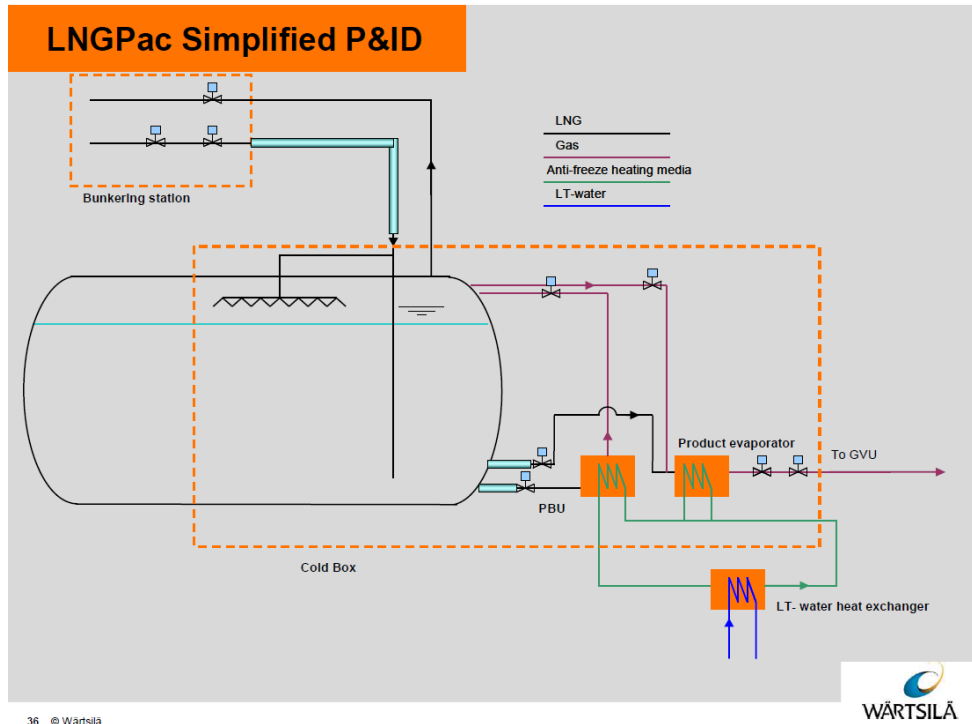
Kuva 13. Näytteenottolaite (ISO 10715 Natural gas – Sampling guidelines)

10 LNG-JÄRJESTELMÄN KUVAUS

LNG-polttoainejärjestelmä sisältää:

- yhden tai useamman LNG tankin
- kaasuaseman, polttoainetäydennykseen sekä höyryn palautukseen
- höyrystinyksikön LNG:stä maakaasuksi, cold box
- paineenkehitysyksikön, säiliöpaineen säätelyyn
- tankkausputkiston ja kaasunjakeluputkiston moottoreille
- kaasumaston; jokainen kaasujärjestelmä on oltava yhdistetty varoventtiilin kautta kaasumastoon

- kaasunsyöttöyksikkön, gas valve unit (GVU); jokaiselle moottorille oma yksikkö
- tankin pohjatankkausputken
- tankin spraylinjan (paineen pudottamiseen).



Kuva 14. Järjestelmäkuvaus (Wärtsilä Oyj)

Ennen moottorille syöttämistä neste höyrystetään kaasuksi ja sen paine on laskettava moottorille sopivaksi. Höyrystäminen tapahtuu varastosäiliöön liitettyssä cold box -yksikössä, jossa LNG lämmitetään eli höyrystetään. Höyrystynyt kaasu johdetaan kaksoiseinämäistä putkea pitkin kaasunsyöttöyksikköön, gas valve unit (GVU). Cold box sijaitsee tankin yhteydessä ja GVU yleensä konehuoneessa, joko rakennettuna kaasutiiviksi omaksi yksiköksi tai omaan muusta konehuoneesta erilliseen ja tuuletettuun tilaan. Syöttöyksikössä voidaan kaasun määrää ja painetta mitata. Yksikössä sijaitsevat myös suodattimet ja 2 kpl pikasulkuventtiilejä, joilla kaasunsyöttö voidaan katkaista hätätilanteissa./19/

Cold boxissa on toinenkin höyrystin. Tämän erillisen kierron avulla tankin nestettä höyrystetään kaasuksi. Kierron tarkoituksena on ylläpitää varastosäiliössä riittävän korkea paine, 5 - 9 bar. Höyrystimeen vaadittava lämpö voidaan ottaa moottorin jäähdytysvedes-

tä. Syöttöyksiköltä kaasu virtaa kaksoisseinämäputkea pitkin moottorille, jossa se annostellaan common rail -periaatteen mukaan sylintereille./19/

Kun moottori pysäytetään, GVU:n pikasulkuventtiilit sulkeutuvat ja moottorissa olevan kaasuvaraajan eli putken, josta kaasu syötetään sylintereille, päässä oleva venttiili avautuu. Venttiili pysyy auki, kunnes koneelle annetaan käynnistyskäsky. Näin voidaan varmistaa, ettei pääse mahdollisessa vuototilanteessa syntymään räjähdyskelpoista kaasuilmasesta, vaan vuotava kaasu tuulettuu ulos./19/

11 POLTTOAINETÄYDENNYKSET

Tankkausoperaatio perustuu yleiseen öljytuotteiden ohjeistukseen sekä nesteytetyn kaasun kuljetusohjeistukseen. Niitä tarkennetaan LNG-turvallisuusmääräyksillä, IMO-, IGC-ohjeilla sekä teknisillä ratkaisuilla turvalliseen polttoainetäydennykseen. Yksityiskohtainen suunnitelma polttoainetäydennysketjusta on etukäteen hyväksyttävä Turvallisuus- ja kemikaalivirastolla (Tukes) ja Liikenteen turvallisuusvirastolla (TraFi).

11.1 Vastuu

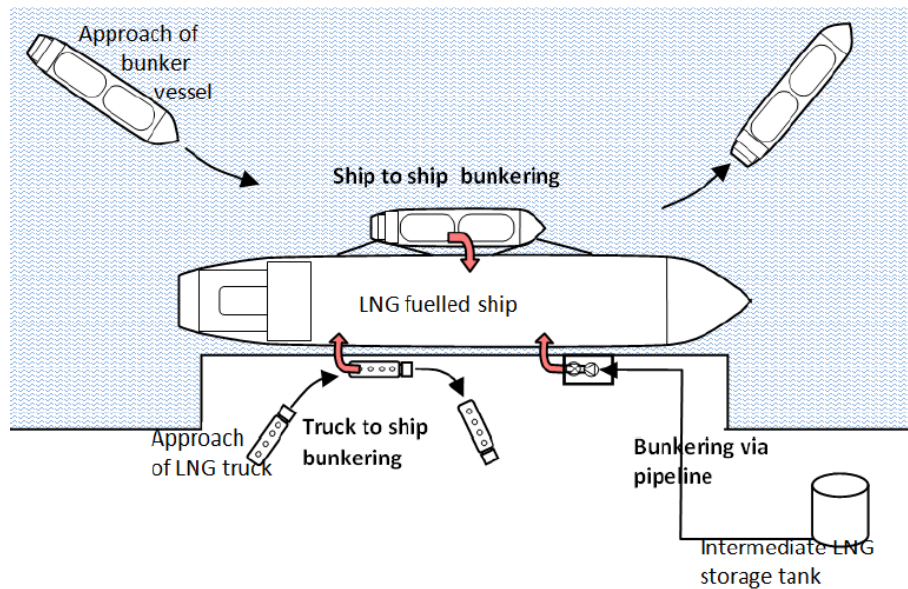
Laivalla on oltava vastuuhenkilö polttoainetäydennyksen aikana. Tällä henkilöllä on oltava koulutus ja riittävä pätevyys sekä tietotaito turvallisen LNG-polttoainetäydennyksen suorittamiseen./12/

Aluksen päällikkö on vastuussa oman laivan konehenkilökunnasta niin, että turvallisuusnäkökohdat ja ympäristö huomioon ottaen voidaan suorittaa turvallinen polttoainetäydennys. Kaikki toimintatavat on sovittava niin polttoainetta vastaanottavan kuin polttoainetta luovuttavan henkilökunnan kanssa ennen polttoainetäydennyksen aloittamista. Aluksen päällikkö vastaa siitä, että kansainvälisiä turvallisuusnormeja noudatetaan ja että alus on sääntöjen ja määräysten mukainen./12/

Laivojen bunkraus voidaan suorittaa usealla eri tavalla. Ideana on saada turvallisesti, kustannustehokkaasti ja nopeasti laivaan polttoainetta, jotta se voi jatkaa tehtävänsä. Yleensä isoja LNG-tankkereita ei ole bunkrattu erikseen, vaan ne ovat käyttäneet lastista höyrystyneen kaasun omiin koneisiinsa tai tankkeriin on asennettu takaisinnesteytyslaitteisto.

Tällöin ne eivät ole syöneet ns. kuormasta, vaan ovat käyttäneet koneiston voimana raskasöljyä. Yleensä ison LNG-terminaalin kapasiteetti on mitoitettu LNG:n lastinkäsittelyyn, joten ne eivät sellaisenaan sovellu re-load- eli bunkrauspaikoiksi linjaliikenne- ja muihin LNG:tä käyttäviin aluksiin.

Tällä hetkellä laivojen yleisin ja investointikustannuksiltaan edullisin tapa LNG-bunkraukseen on joko valmiista terminaalista tai autosta. Bunkraus suoraan autosta on ainoa vaihtoehto, jos terminaalista tai proomua ei ole saatavilla.



Kuva 15. Piirros eri tavoin suoritettavista LNG-polttoainetäydennyksistä (Gasum)

11.2 Kaasuasema

Aluksen polttoainetaseman tulee olla ex-alue. Kulun alueelle tulee olla rajoitettu polttoainetäydennyksen aikana. Vain koulutettu henkilöstö saa operoida tällä alueella polttoainetäydennyksen aikana. Ex-alueella tulee kaikkien sähkölaitteiden olla ex-suojattuja ja varmistettuja niin, ettei kipinä- tai syttymisvaaraa ole mahdollisesti tankkauksesta vapautuville kaasuille. Polttoainetaseman tulee olla luokkavaatimusten mukainen kaasuvaara-alue. Laivan kaasuntankkausasema on sijoitettava ulkokannelle niin, että tankkausliittimen ympärillä on riittävän tehokas luonnollinen ilmanvaihto. Suljetut, kannenalaiset tankkausasemat eivät ole sallittuja, kuten asemat, jotka voivat muodostaa kaasutaskun. Asemalle on myös järjestettävä koneellinen ilmanvaihto, jonka tulee olla toiminnassa tankka-

uksen aikana. Tupakointi ja avotulen teko on ex-alueella ja sen läheisyydessä kiellettyä. Mikäli ilmanvaihtolaitteisto pysähtyy kesken tankkauksen, on hälytysjärjestelmän annettava äänihälytys merkkivalolla./12/

Tankkausasema on sijoitettava siten, että tankkaustapahtumaa voidaan valvoa riittävän turvaetäisyyden päästä. Tästä valvontapisteestä tulee olla mahdollisuus valvoa varastosäiliön täyttöastetta sekä paineen muutosta. Säiliön ylärajahälytyksestä on tultava indikaatio valvontapisteelle ja tankkauksen pikasulkuventtiili on kyettävä laukaisemaan valvontapistestä. Tankkausasemalle on asennettava kaasunilmaisinjärjestelmä, joka antaa äänihälytyksen valolla havaitessaan kaasua. Lisäksi tankkausliittimen alle on asennettava vuotokaukalo, joka on tehty austeniittisestä teräksestä tai alumiinista ja eristetty runkorakenteista siten, että vuodon sattuessa kylmä, nestemäinen LNG ei vaurioita runkorakennetta. Vuotokaukalosta on oltava ylivuotoputki, joka johtaa tarvittaessa ylivuotavan polttoaineen turvallisesti pois laivasta. Teräviä tai leikkaavia kulmia tai esineitä ei saa olla tankkausalueella, jottei polttoaineletkulle synny vaaraa. Käsityökalut ja leikkaavat esineet tulee säilyttää tankkausalueen ulkopuolella./12/

11.3 Tankkausputkisto

Tankkausputkistoon on asennettava sarjaan sekä pikalaukaistava että käsin suljettava venttiili. Putkistoon on asennettava liittimet inerttikaasutäyttöä varten. Kaikkien putkistojen laippaliitosten alla tulee olla vuotokaukalo. Putkisto tulee rakentaa siten, että aluksen ollessa kulussa tankkausputkisto on kaasuvapaa. Mikäli putkisto kulkee aluksen sisätiloissa, tulee se asentaa erilliseen, ilmatiiviiseen kanavaan. Kanavassa täytyy olla ilmanvaihto, joka vaihtaa kanavan koko ilmatilavuuden vähintään 30 kertaa tunnissa. Kanavan ilmanvaihto on turvallisinta järjestää niin, että ulos imettävä ilma otetaan konetiloista putkiston alkupäästä sopivan yhteen avulla. Poistettava huuhteluilma on tällöin lämmintä ja toimii silloin painovoimaisesti, vaikka tuuletuksessa olisi järjestelmävika. Tankkausputkiston ilmanvaihtokanavaan on asennettava kaasunilmaisinjärjestelmä, joka hälyttää ohjaamossa ja konevalvonnassa havaitessaan kaasupitoisuuden nousevan yli asetusarvon. Tankkausputkisto tulee rakentaa niin, ettei se missään kohdassa kulje majoitus-, huolto- tai valvomotilojen läpi tai sellaisista tekniikkakuiluista tai muista tiloista, jotka ovat suorassa yhteydessä edellä mainittujen tilojen kanssa./12/

11.4 Häätäpysäytys

Jokaisella polttoainemasemalla tulee olla itsenäinen häätäpysäytysjärjestelmä nopeaan ja turvalliseen polttoainetäydennyksen pysäyttämiseen vaara- ja onnettomuustilanteessa. ESD-kaukokäyttöventtiilin (Emergency Shut Down)- viive tulee olla kaikkien tiedossa. Viive tarkoittaa sulkeutumisaikaa, jonka tarkoituksena on suojata järjestelmää paineiskuulta./12/

11.5 Inertointi

Tankattaessa LNG:tä tai kaasua on tankkausputkisto ja mahdollisesti tankki tarvittaessa saatava epäreaktiiviseen tilaan eli puhkekielellä ilmaistuna inertoitava.

Inertti- tai suojakaasun käytön tarkoituksena on luoda putkistoon ja tarvittaessa tankkiin ilmatila, jossa lastin ja lastikaasujen palaminen tai edes syttyminen on mahdotonta. Suojakaasua käytetään yleisnimityksenä kaikille kaasuille ja kaasuseoksille, jotka eivät muodosta räjähtäviä seoksia. Sen vuoksi suojakaasussa ei teoriassa voi olla happea. Helpoin tapa on muodostaa suojakaasua typpigeneraattorilla, joka valmistaa tyypeä ilmasta eli ottaa siitä hapen pois. LNG-laitteiden inertointiin tarvittavan tyyden puhtaus on 95 – 99 %. Tyyden ominaisuutena on myös kuivattaa putkiston ilmatilaa. Kaasulasteissa, jotka kuljetaan alle nolla-asteisina, käyttämällä tyypeä saadaan kastepistettä alennettua niin, että putkistoon ei muodostu ylimääräistä kosteutta. Tankkausputkisto on käytännössä aina inertoitava tankkauksen jälkeen, jotta putkistoon ei jäisi syttymis- tai räjähdyskelpoisia seoksia. IMO ja DNV-luokituslaitos vaativat putkiston inertoimisen.

11.6 Toimenpidekortit

Aluksella on oltava oma toimenpidekortti ennen ja jälkeen polttoainetäydennyksen sekä vaara- ja onnettomuustilanteita varten. Näiden toimenpidekorttien tulee olla helposti saatavilla sekä tankkaukseen liittyvän henkilökunnan on oltava niihin perehtynyt. Ennen polttoainetäydennystä tulee olla yhteinen tarkastuslista, joka täytetään ja tarkastetaan, ja molemmat tankkaukseen osallistuvat osapuolet allekirjoittavat sen ennen polttoainetäydennyksen aloittamista. Toimenpidekortit tulee olla ainakin seuraaviin tapauksiin:/21/

- viestiliikenteen katkeamiseen tai seurantajärjestelmän vioittumiseen
- sähkökatkoon
- tulipaloon
- kryogeenisten ja öljytuotteiden käsittelyyn sekä henkilökohtaisten suojavarusteiden käytöstä
- jään muodostumiseen sekä terävien kulmien ja esineiden käytöstä
- sää- ja muut olosuhteet
- toimenpiteet nestevuodon sattuessa.

Vaaralliseksi luokitetulla alueella tulee olla selkeästi näkyvillä varoituskyltit. Ne on sijoitettava niin, että ne näkyvät selkeästi ja ovat havaittavissa myös pimeällä. Niiden on varoitettava kryogeenisistä nesteistä sekä tulipalosta sekä kerrottava toimintatavat kyseisissä tilanteissa. Lisäksi niistä on käytävä ilmi ex-alue. Varoitus- ja kieltomerkit on oltava ainakin seuraavista:/21/

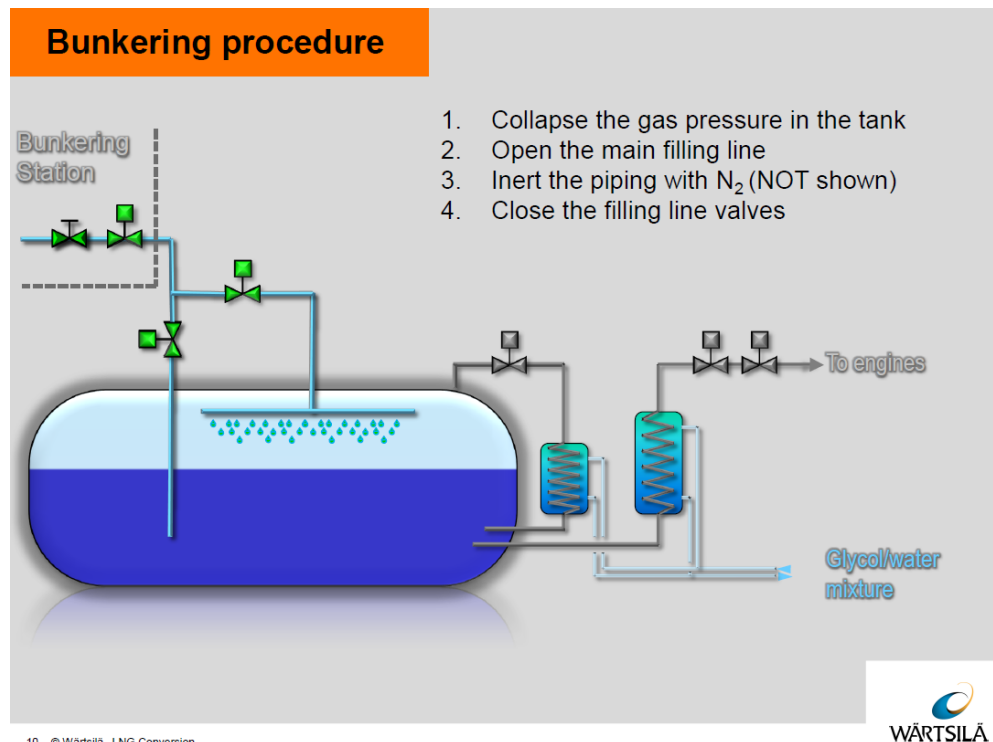
- tupakointi ja avotulen teko
- sallittu vain koulutetuille henkilöille
- ei nosto-operaatioita ex-alueen yli polttoainetäydennyksen aikana
- ei huolto- tai kunnossapitotöitä vyöhykkeellä
- ilmanvaihtoventtiilit alueella suljettava tankkauksen ajaksi
- alueella ei muita operaatioita polttoainetäydennyksen aikana
- alueen ovien ja luukkujen tulee olla suljettuna ja vain harjoitellut ja koulutettu henkilöstö saa avata ne polttoainetäydennyksen aikana.

11.7 Toimenpiteet ennen bunkrausta

Ennen bunkrauksen aloittamista on laivalla tehtävä valmistelevat tarkastukset ja toimenpiteet. Tarkastukset toteutetaan tukeutumalla erilliseen tarkastuslistaan, johon myös merkitään tarkastus suoritetuksi. Tarkastettavia kohteita ex-alueella ovat esim. kaasuaseman tarkastus, meneillään olevat huoltotyöt, luukut ja ovet, ilmaventtiilit jne. Kaikki huoltotyöt kaasuaseman läheisyydessä tulee keskeyttää tankkauksen ajaksi. Kaikki alueelle johdatavat luukut ja ovet sekä mahdolliset ilmaventtiilit tulee sulkea ja kaasuaseman ilmanvaihto on käynnistettävä. Kaasuasemalle ja ex-alueelle kulku rajoitetaan tankkauksen

ajaksi. Vain koulutuksen saaneet henkilöt voivat työskennellä alueella. Ennen tankkauksen alkua on myös tarkastettava, että suojaruusteet ovat saatavilla ja palokalusto on toimintavalmiina ja nopeasti käytettävissä. Palokaluston minimivaatimus satamassa tapahtuvassa tankkauksessa on 150 kilon jauhevarustus, ja siitä vastaa polttoainetta vastaanottava alus. ESD -järjestelmä aktivoidaan sekä valmistellaan maadoituskaapelin liittäminen aluksen ja polttoainetta toimittavan auton, proomun tai satamarakenteen kanssa (ks liite 1)./21/

Ennen bunkrauksen aloittamista tulee tarkastaa LNG-tankin lämpötila sekä pinnan korkeus. Ennen bunkkerin ottamista johdetaan kylmempää LNG:tä tankin pohjalta tankin yläosaan. Tällä toimenpiteellä jäähdytetään olemassa olevaa boil-offia takaisin nesteeksi ja tasataan tankin lämpötilaa, eli vältetään sillä mahdollinen roll over ja hillitään tankkauksen yhteydessä syntyvää kiehumista sekä näin lasketaan tankin sisällä olevaa painetta noin 5 baarista noin 2 baarin, jotta tankkaus olisi mahdollista tehdä./19/



Kuva 16. Tankin paineen pudotus (Wärtsilä Oyj)

11.8 Toimenpiteet bunkrauksen aikana

Bunkrauksen alkaessa on asiasta tiedotettava aluksella esim. keskusradion kautta. Oleskelu kaasuvaara-alueella on kiellettyä muilta kuin siellä bunkrauksen aikana työskenteleviltä. Ensimmäisenä tarkastetaan, että automaattiventtiilit polttoainelinjassa ovat suljettuina. Tämän jälkeen avataan polttoainetäydennyslinjan manuaaliventtiilit. Annetaan aloitusmerkki, minkä jälkeen voidaan hallitusti aloittaa polttoaineen siirto. Aloitetaan hitaasti ja nopeutetaan rauhallisesti, kunnes on tavoitettu haluttu siirtonopeus. Aluksi lasketaan sovittu määrä tai pumppausaika, minkä jälkeen tarkkaillaan tankin tilannetta. Linjaston ja tankkien tulee olla tasaisesti jäähtyneitä ja on tarkkailtava, ettei tankissa tapahdu hallitsematonta kiehumista. Aloitusvaiheessa on tarkkailtava, etteivät letkut, linjasto tai venttiilit jäädy kylmästä polttoaineesta sekä mahdollisten vuotojen varalta. Tankkauksen alkuvaiheessa on annettava ns. aikaa tankille, että se jäähtyy tasaisesti, ja näin hillitään tarpeetonta kiehumista. Jos bunkrauksen aikana ilmenee ongelmia tai vuotoja, on bunkraus välittömästi keskeytettävä.

Kun aloitusvaihe on ohi, voidaan nostaa siirtonopeutta sovittuun nopeuteen. Tätä nopeutta voidaan ylläpitää, kunnes tankki on lähes täynnä tai kunnes lähestytään sovittua siirtomäärää. Tankkauksen viimeistä vaihetta on syytä tarkkailla erityisesti, ja siinä on siirtonopeuden oltava samankaltainen kuin aloitusvaiheessa. LNG-tankkia ei bunkrata täyteen, vaan noin 75 - 95 % tankin tilavuudesta voidaan täyttää nesteellä, lopputila on jätettävä höyrystymiselle. Tiedonkulun aluksen ja polttoainetta toimittavan kanssa on toimittava koko tankkauksen aikana. Kun alukseen on saatu haluttu täydennysmäärä, annetaan aluksesta ilmoitus joko radiolla tai merkein, että tankkaus on päättynyt, ja polttoainetta toimittava sammuttaa polttoainepumpun.

11.9 Toimenpiteet bunkrauksen jälkeen

Kun pumppaus on saatu päätökseen ja pumpput suljettu, tulee ennen letkujen irrottamista tyhjentää letkut. Tavoitteena olisi saada letkut tyhjiksi niin, että ne olisivat täysin metaanivapaat; näin vältetään metaanipäästö. Tämä voidaan tehdä usealla eri tavalla. Paras tapa olisi saada polttoainetoimittajalta höyrystettyä maakaasua, GNG, jolla puhalletaan lastauslinja ja putkistot tyhjäksi LNG:stä. Linjaston puhaltamisen jälkeen suljetaan ensik-

si kaukokäyttöventtiilit, minkä jälkeen suljetaan manuaaliventtiilit. Tämän jälkeen inertoitaan tankkausputkisto ja tuuletetaan se kaasumaston kautta tyhjäksi. Nestetankkauksen jälkeen on huomioitava, ettei venttiilien välille (kaukokäyttö ja manuaaliventtiili) jää nestettä (ks liite 2).

11.10 Tankin esijäähdytys

Jos LNG tankki on uusi, erittäin lämmennyt tai ajettu jostakin syystä tyhjäksi, voidaan se jäähdyttää nestemäisellä tyypellä (N2). Nestemäinen tyyppi (-196 °C) johdetaan tankkiin jossa se höyrystyy ja samalla jäähdyttää tankkia sekä tankkausputkistoa. Tällä menetelmällä ns. ”kylmätestataan” järjestelmä eli tarkastetaan, että järjestelmä kestää kylmärasituksen ennen LNG:n käyttöönottoa. /16/

12 BUNKRAUSMUODOT

12.1 Autosta bunkraaminen

Autosta bunkraaminen ei ole sidottu tiettyyn satamaan tai laituripaikkaan, mutta jokaiseen satamaan on tehtävä erikseen erillinen selvitys, voidaanko siellä suorittaa autosta LNG:n bunkraaminen. Lisäksi on tehtävä yksityiskohtainen suunnitelma polttoainetäydennysketjusta ja Turvallisuus- ja kemikaaliviraston (Tukes) ja Liikenteen turvallisuusviraston (TraFi) on etukäteen hyväksyttävä se. Satama- tai laiturialue, missä voidaan ottaa alukseen MDO:ta, ei sellaisenaan sovellu LNG:n bunkrauspaikaksi. Turvallisuus selvitykset tehdään paikallisen pelastusviranomaisen, sataman edustajan sekä polttoainetta toimittavan toimesta. Euroopassa yleisesti käytössä olevan standardin mukaan autojen bunkrauskapasiteetti on noin 40 m³./16/

12.1.1 Satama ja laituripaikka

Satamalle ja laituripaikalle asetetaan tiukat kriteerit. Esimerkiksi laiturialueen, jossa tankkaus suoritetaan, on oltava ex-alue. Laiturivalaistuksien sekä sähkön on oltava suojattuja. Laiturissa ei tulisi olla kaivoja tai kaivanteita (kuten yleensä on), koska maakaasun ollessa alle -110 asteista (°C) se on ilmaa raskaampaa. Maakaasu valuu alaspäin ja voi näin kerääntyä kaivanteeseen tai kaivoon, ja kun se ympäröivästä lämmöstä höyrystyy, se voi

kulkeutua kaivantoa pitkin, tai kaivojen välisiä putkiyhteitä pitkin, pitkiäkin matkoja ja muodostaa putkistoon tai kaivantoon räjähdyskelpoisia seoksia. Sataman maanpinnalle asetetut kitkavaatimukset on huomioitava myös talvella sekä LNG-polttoainetäydennyksestä on annettava ennakoilmoitus 24 tuntia ennen polttoainetäydennystä sekä sen alkaessa paikalliselle pelastusviranomaiselle. Lisäksi on huomioitava, että kaasurekka ei saa peruuttaa kaikilla satama-alueilla. Tämä sulkee pois tiettyjä satama-alueita. Alukselta on nimettävä tankkauksen valvoja, joka johtaa toimintaa. Aluksen on varauduttava minimissään toimimaan 150 kg:n jauhekalustolla laiturialueella. Aluksen ja auton välinen maadoitus on suoritettava ennen bunkrauksen aloittamista. Myös ympärillä olevat alueet tulee arvioida mahdollisen onnettomuuden varalle, miten lähialueet evakuoitetaan tai miten mahdollinen metaanipilvi voisi niihin vaikuttaa. Lisäksi pitää arvioida laiturialueella mahdollinen tulipalo tai huonoimmassa tapauksessa räjähdys sekä niiden seuraukset ja torjunta./16/

Autosta bunkraamisen huonoja puolia on, että sen kautta kerralla saatavat määrät ovat pieniä ja bunkraus on suhteellisen hidas toimenpide toimitettaessa isoja määriä. Suomessa Gasum toimittaa LNG:tä autolla. Sen kuljettamiseen soveltuvat käytännössä kaikki C-tyypin omaavat säiliöautot tai peräkärret. Toimitettaessa laivalle LNG:tä on joko laivalla oltava pumppuasema, joka kykenee siirtämään polttoaineen autosta laivaan, tai sitten auton on oltava varustettuna siihen soveltuvalla pumppulaitteistolla. Tällä hetkellä Suomessa Gasumilla on kaksi autoa, jotka kykenevät kuljettamaan ja pumppaamaan LNG:tä. Gasum on tehnyt hankintasuunnitelman lisäkalustosta, jonka avulla voidaan vastata nopeasti kasvavaan kysyntään. Painetaso auton säiliössä on 1-10 baaria täyttöasteen ollessa 90 – 95 %. Kuljetusmäärät vaihtelevat 8 – 30 tonniin riippuen yhdistelmän rakenteesta. LNG säilyy säiliöautossa useita viikkoja ilman, että ympäröivä lämpö lämmittäisi säiliötä niin, että painetaso tankin sisällä nousisi yli asetetun ylipaineventtiilin arvon, joka on autoissa 10 baaria./16/

12.1.2 LNG-kuljetukset autolla

LNG-kuljetukset autolla ovat VAK-/ ADR-kuljetuksia, joten LNG:n kuljettaminen jokaiseen satamaan ei tule olemaan mahdollista. Kevään aikana Gasum aloittaa kartoituksen

eri satamarakenteiden kanssa. Lähinnä on käytävä paikallisten pelastusviranomaisten kanssa läpi mahdolliset onnettomuusriskit, joko tahattomat tai tahallisesti aiheutetut./16/

Kun LNG:tä bunkrataan autosta, on auto saatava mahdollisimman lähelle alusta ja sen kaasuasemaa. Autosta tulevat letkut eivät ole eristettyjä vaan normaalia kierrevahvistettua 40 mm kumiseosletkua. Teoriassa on mahdollista vetää pidempiäkin letkuja, mutta silloin ympäröivä lämpö turhaan lämmittäisi nestettä ja lisäisi tankkauksen aikana tapahtuvaa boil-offia. Tankkausprosessin nopeuttamiseksi on mahdollista liittää kaksi pumppausletkua y-liittimellä yhteen, jolloin voidaan samanaikaisesti bunkrata kahdesta autosta. Tämä tietysti vaatii satama-alueelta melkoiset tilat, missä autot mahtuvat operoimaan aluksen vieressä. Gasumin autojen letkuissa on tällä hetkellä kierreliittimet, joten auton ja aluksen yhteen liittäminen vie hieman enemmän aikaa kuin camlock tai vastaava pikaliitin-tyyppinen ratkaisu, jota AGA käyttää bunkratessaan Viking Gracea. Gasumilla on liittimien vaihdosta selvitystyö meneillään. Yritys on vaihtamassa liittimiin, jotka ovat ns. tippavapaat, eli voidaan irrottaa pikaliittimellä vaikka kesken tankkauksen. Liittimen sisällä on jousitoiminen lautasventtiili, joka estää nesteen virtauksen (Mann, droppfri koppling) liittimen ollessa irti. Kun bunkraus aloitetaan, lasketaan nestettä yleensä hitaasti alkuun. Kun letkut ja aluksen bunkrauslinja ovat jäähtyneet tasaisesti, voidaan pumppausnopeus nostaa normaaliin, joka on noin 40 m³/h. Tankkauksen jälkeen suljetaan hanat ja typetetään aluksen tankkauslinja. Autoissa ei ole typetysmahdollisuutta, mutta teoriassa on mahdollista, että koko tankkauslinja typetetään laivasta autolle asti. Näin meneteltäessä ei tapahtuisi tankkauksen jälkeen metaanipäästöä. Nykyisin joudutaan letkussa oleva maakaasu höyrystämään ilmaan. Vastaavanlaiset liittimet ovat käytössä Viking Gracella ja sille bunkkeria toimittavalla proomulla sekä autoissa./16/



Kuva 17. Mann, droppfri koppling (MANN)

Kun LNG:tä siirretään autosta, tapahtuu usein auton ympärillä voimakasta höyryn muodostusta. Ulkopuolinen voi ymmärtää tämän helposti LNG:n höyrystymiseksi eli metaanipäästöksi, vaikka kyseessä on vain ilmasta tiivistyvää kosteutta eli vettä. Höyryn muodostuminen riippuu ilman lämpötilasta ja kosteudesta. Suurin osa vesihöyrystä muodostuu auton alla sijaitsevilta lisähöyrystimiltä, joilla höyrystetään LNG:tä ja johdetaan takaisin auton tankkiin. Tämä on tarpeellista, koska muuten tankkiin syntyisi alipaine ja rikkoisi tankin rakenteet. Lisäksi mitä suurempi ylipaine tankissa vallitsee, sitä enemmän se auttaa ja nopeuttaa polttoainesiirtoa.



Kuva 18. Voimakasta höyryn muodostumista tankkauksen yhteydessä (Gasum)

12.2 Bunkraus terminaalista tai kiinteästä välisäiliöstä

Terminaalista tai kiinteästä välisäiliöstä bunkraaminen on nopea tapa suurille määrille. Terminaalista bunkrattaessa bunkrausnopeus voi olla yli 400 m³/h. Tästä johtuen vaara-alue on muista tavoista poiketen 25 metriä. Suomessa ei vielä ole LNG-terminaalia, josta voitaisiin bunkrata LNG:tä. Gasum selvittää parhaillaan LNG:n tuontiterminaalien rakentamista joko Inkoon Jordböleen tai Porvoon Tolkkisiin sekä mahdollisuuksia rakentaa LNG:n varastosäiliö Turkuun. Turun Pansioon säiliö olisi mahdollista saada vuonna 2015 ja Porvoo tai Inkoo voisi olla valmis vuonna 2020. Gasumin tavoitteena on saada LNG Itämeren laivaliikenteen käyttöön. LNG sopii niin erikokoisille rahti- ja matkustaja- aluksille kuin yhteisliikenteen aluksillekin. Maakaasua ei ole toistaiseksi kuljetettu nesteytetyssä muodossa meriliikenteessä Suomeen, mutta se hetki on joka päivä lähempänä. LNG:tä Gasum on kuitenkin kuljettanut autossa jo vuosia ja lisäksi laivannut kansilastina Ruotsiin auton ollessa kannella ADR-kuljetuksen mukaisesti./16/19/

12.3 Ship to ship -bunkraus

Ship to ship -bunkraus tuo mukanaan kahden laivan välisen työskentelyn sekä niiden kiinnittämiset toisiinsa, mukaan luettuna erilaiset uhkakuvat ja toimintatavat kun satamassa tapahtuvassa polttoainetäydennyksessä. Ruotsissa toimivan AGAn mukaan ship to ship -LNG-bunkrausta ei vielä tehdä missään muualla kuin Ruotsissa ja sielläkin vasta hetken aikaa uuden Viking Gracen osalta. Itse bunkrausoperaatio ei eroa paljon, siirretäänkö LNG:tä proomusta, terminaalista vai autosta, mutta se tuo mukanaan erilaisia huomionarvoisia seikkoja kuten alusten väliset kiinnitykset ja niiden väliset liikkeet sekä suuremmat pumppauskapasiteetit kuin autoista. Bunkrausnopeus on noin 150 – 200 m³/h. Tämän takia tulisi laatia erilliset toimenpidekortit ja tarkastuslistat jokaiselle mahdolliselle bunkraustavalle./21/



Kuva 19. Viking Gracen ship to ship -bunkraus (AGA)

Agan LNG-proomu Seagas on ensimmäinen laatuaan. Se kykenee toimittamaan 60 -70 tonnia LNG:tä. Proomun tavoite on bunkrata edellä mainittu määrä alle tunnissa. Seagas ei käytä polttoaineen siirrossa pumppuja, vaan LNG siirretään proomusta alukseen paineen avulla. Seagasin tankkiin kehitetään noin 16 baarin paine, ja Gracen tankin paine lasketaan alle kahteen baarin. Korkeampi paine Seagasista työntää siis LNG:n toiseen tankkiin. /19/

Luovuttavan aluksen on vahvistettava, että alusten tankkien lämpötila sekä painetasot ovat turvallisuusrajojen sisällä ennen siirron aloittamista.

12.3.1 Letkujen tarkastus

Tankkausletkua kiinnitettäessä tarkastetaan silmämääräisesti sen kunto ja samalla tarkastetaan myös liittimet. Liittimien on oltava puhtaat, ehjät, kolhiintumattomat ja kaikki puolin kunnossa ja paikoilleen täydellisesti sopivat. Jos epäillään, että letku tai liitin on epäkuntoinen tai epäsopiva, ei bunkrausta tule aloittaa, ennen kuin vialliset osat on vaihdettu.

12.3.2 Viestintä

Alusten kesken on sovittava, mitä viestintäkanavaa käytetään missäkin tilanteessa. On sovittava, mitä kanavaa käytetään normaalitilanteessa, hätätilanteessa ja valmiustilanteessa. LNG:tä luovuttava alus pyytää lupaa aloittaa siirron./21/

12.3.3 Ankkurointisuunnitelma

Ankkurointilaitteet, kuten lepuuttajat, vinssit ja muut laitteet, on silmämääräisesti tarkastettava. Vialliset laitteet on vaihdettava. Ankkurointisuunnitelmassa on huomioitava sääolosuhteet, aallon korkeus, tuulen suunta, ympärillä oleva muu liikenne ja vastaanottavan aluksen lähestymissuunta. Lisäksi molemmilla aluksilla on oltava hätäankkurointi-, hätäirrotus- ja toimintasuunnitelma sekä suunta, johon lähdetään, jos bunkraus joudutaan keskeyttämään./21/

Ankkuroinnin yhteydessä kahden päälepuuttajan on oltava alusten laidoilla. Lepuuttajien tulee olla sijoitettu niin, etteivät alukset voi saada kosketusta toisiinsa. Lepuuttajien tulee olla pneumaattisia ja halkaisijaltaan vähintään metrin. Ankkurointi on onnistunut, kun kaikki ankkurointilinjat on asianmukaisesti kiinnitetty suunnitelman mukaan. Kiinnityspollarien tulee olla sijoitettu 6 - 9 metrin etäisyydellä vastaanottavan aluksen bunkrausaseman molemmin puolin. Pollareiden tulee olla samalla korkeudella kuin vastaanottavan aluksen kaasuasema tai polttoainekytkentäasema./21/

Kiinnitysköydet tarkistetaan ennen bunkrauksen aloittamista sekä että kaikki tarkastuslistan asiat on tehty ja asia varmennetaan allekirjoituksella. Toimittajan kanssa sovitaan aloitusnopeus ja siirtonopeus, painerajat sekä siirrettävä määrä./21/

12.4 Konttibunkraus

Laivoille on myös mahdollista toimittaa bunkkeria LNG-konteissa. Laivaan ei tällöin oteta erikseen bunkkeria vaan vaihdetaan tarvittaessa uusi LNG-kontti tai -kontit. LNG-kontteja on erikokoisissa eli 20 – 45 jalan yksiköitä. Tämä järjestelmä on tarkoitettu lähinnä ro-ro, kontti- tai muihin aluksiin, joiden satamassaoloaika ei sovellu bunkraukseen. Konttijärjestelmä vaatii raskaan satamajärjestelyn, joten sellaista ei kannata erikseen ra-

kentaa. Samalla se sitoo aluksen tankkauspaikan aina samaan satamaan. Tämänkaltaista järjestelmää ei ole Suomeen suunnitteilla./19/

13 YHTEENVETO

LNG:n käyttö polttoaineena on ollut kovasti julkisuudessa viime vuosina. Vuonna 2015 voimaan tulevat päästövaatimukset meriliikenteessä ovat nostaneet LNG:n varteenotettavaksi polttoainevaihtoehdoksi. Nesteytetyllä maakaasulla on pitkä historia ja maakaasua ja sen sovellutuksia on jatkojalostettu hyvällä menestyksellä. Kestävän kehityksen kannalta uusia polttoaineita ja polttoainejärjestelmiä on kehitettävä, kun asetukset pakottavat valmistajat huomioimaan entistä enemmän ympäristönäkökohtia.

Yleistä tietoa LNG:stä löytyy runsaasti vieraskielisenä, mutta tietoa polttoainetäydennyksistä oli niukasti. Nesteytetty maakaasu ja maakaasu yleisesti olivat minulle suhteellisen vieras aihe ennen työn aloittamista. Olen oppinut, että nesteytetyn maakaasun ominaisuudet eri muodoissa on tunnistettava, ja tämä on tärkeä seikka työturvallisuutta ajatellen. On mielenkiintoista seurata, kuinka LNG:llä kulkevat alukset lisääntyvät Itämeren alueella ja mihin Suomen tuontiterminaali rakennetaan. Kiinnostavaa on myös nähdä, mihin ja missä laajuudessa biokaasun käyttö kehittyy.

Yhtenä työn tavoitteena oli tehdä autosta bunkrauksen tarkastuslista, jota täydennetään ja tarkennetaan, kun uusivartiolaiva valmistuu. Opinnäytetyöni loppuvaiheessa sain vahvistuksen, että virkapaikkani tulee olemaan Rajavartiolaitoksen uudella LNG:llä toimivalla vartiolaivalla.

LÄHTEET

1. Energiavarojen keskusliitto. CEE Center for Energy Economics. Saatavissa: http://www.beg.utexas.edu/energyecon/Ing/LNG_introduction_06.php [viitattu 13.1.2013]
2. Suomen kaasuyhdistys. Saavissa: <http://www.maakaasu.fi/kirjat/maakaasukasikirja> [viitattu 17.1.2013]
3. ISO 10715 Natural Gas – Sampling guidelines. Saatavissa: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm [viitattu 15.1.2013]
4. Gasum Oy. Saatavissa: <http://www.gasum.fi/tuotteet/biokaasu/Sivut/default.aspx?adwords=biokaasu&gclid=CPbX47WRqbYCFe52cAodbWoAew> [viitattu 18.1.2013]
5. Helsingin seudun ympäristöpalvelut. Saatavissa: <http://www.hsy.fi/vesi/ymparisto/biokaasua/Sivut/default.aspx> [viitattu 18.1.2013]
6. MTV 3 kotimaan-uutiset. Saatavissa: <http://www.mtv3.fi/uutiset/kotimaa.shtml/liuskekaasu-mullistaa-maailman-energiamarkkinat/2013/03/1718000> [viitattu 9.4.2013]
7. SUOMISANAKIRJA. Saatavissa: <http://suomisanakirja.fi/metaanihydraatti> [viitattu 22.3.2013]
8. Kortelainen Kari, Japani kehittää energialähdettä merenpohjan sohjosta. Lähde Tekniikka & talous energia 13.3 2013. [viitattu 10.4.2013]
9. Maakaasun ominaisuudet, GROUPE INTERNATIONALE DES IMPORTATEURS GAZ NATUREL LIQUÉFIÉ, The international group of Liquefied Natural Gas Importers. Saatavissa: <http://www.giignl.org/fr/home-page/Ing-basics-safety/> [viitattu 13.1.2013].

10. Asetus maakaasun käsittelyn turvallisuudesta. 551/2009. Saatavissa:
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090551> [viitattu 14.4.2013]
11. Tuomaala, Jukka. Liikenteen turvallisuusviraston johtaja. Sähköpostikeskustelu TraFi, 2.4.2013 [viitattu 10.4.2013]
12. Annex 11 resolution MSC.285(86) (adopted on 1 June 2009) Interim guidelines on safety for natural gasfilled engine installations in ships [Viitattu luku 8, 3.4.2013]
13. HS 17.1.2013 Jarmo Aaltonen, kaasulaiva kaipaa terminaalia
14. AGA verkkosivut. Saatavissa:
[//www.aga.fi/international/web/lg/fi/like35agafi.nsf/docbyalias/what_is_lng](http://www.aga.fi/international/web/lg/fi/like35agafi.nsf/docbyalias/what_is_lng) [viitattu 13.3.2013]
15. Jaatinen, Jukka. Porvoon telakan toimitusjohtaja. Tapaaminen 17.1.2013 Porvoo: Porvoo Tolkkinen: Porvoon telakka
16. Niiranen, Veli-Heikki. Myyntipäällikkö. Tapaaminen 7.2.2013. Espoo: Gasum Oy
17. Ympäristöministeriön muistio EU/2011/1400, Euroopan komission ehdotus Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiviksi direktiivin 1999/32/EY muuttamisesta meriliikenteessä käytettävien polttoaineiden rikkipitoisuuden osalta (rikkidirektiivi)
18. McGuire and White. 1986, Liquefied Gas Handling Principles on ships and in Terminals. Julkaisu No 1 sivut 1-134 [viitattu 12.1.2013]
19. Wärtsilä technical seminar 27.3.2013 M/S Amorella ja M/S Viking Grace / useita eri luennoitsijoita ja luentomateriaalia.
20. LNG Measurement – NBS IR 85-3028 First Edition - 1985. Standard for metric practice. Saatavissa: <http://www.igu.org/html/wgc2009/papers/docs/wgcFinal00135.pdf> [viitattu 4.3.2013]

21. LNG bunkering Ship to Ship procedure, Swedish Marine Technology Forum/Linde Cryo AB/ FKAB Marine Design/ Det Norske Veritas AS /LNG GOT /White Smoke AB. [viitattu 21.1.2103]

KUVALÄHTEET

1. Metaanin kemiallinen rakenne
2. LNG:n “kiehuminen” ja vertailutaulukko (OSAKA Gas Co. Ltd.) Saatavissa: http://www.osakagas.co.jp/csr_e/feature/index.html
3. Metaanin syttymisrajat (GIIGNL) Saatavissa: The international group of Liquefied Natural Gas Importers. Saatavissa: <http://www.giignl.org/fr/home-page/lng-basics-safety/>
4. Lastin roll over (GIIGNL) Saatavissa: The international group of Liquefied Natural Gas Importers. Saatavissa: <http://www.giignl.org/fr/home-page/lng-basics-safety/>
5. Kilpilahden LNG-laitos (Gasum Oy)
6. Suunnitteilla oleva tuontiterminaali Pansioon (Gasum Oy)
7. Havainnepiirros AGA:n bunkkeriproomusta. (AGA) AGA verkkosivut. Saatavissa: [//www.aga.fi/international/web/lg/fi/like35agafi.nsf/docbyalias/what_is_lng](http://www.aga.fi/international/web/lg/fi/like35agafi.nsf/docbyalias/what_is_lng)
8. LNG-terminaalit Euroopassa (Gasum Oy)
9. Päästörajoitetut alueet (Wärtsilä Oyj)
10. LNG:n A-tyypin tankki. Saatavissa: <http://www.bubblews.com/news/226427-lng-tanker>
11. LNG:n B-tyypin tankki. Saatavissa: <http://www.bubblews.com/news/226427-lng-tanker>

12. Paineen vaikutus kiehumispisteeseen.
13. Näytteenottolaite (ISO 10715 Natural gas – Sampling guidelines) Saatavissa:
<http://www.igu.org/html/wgc2009/papers/docs/wgcFinal00135.pdf>
14. Järjestelmäkuvaus (Wärtsilä Oyj)
15. Piirros eri tavoin suoritettavista LNG-polttoainetäydennyksistä. (Gasum Oy)
16. Tankin paineen pudotus (Wärtsilä Oyj)
17. Mann, droppfri koppling (MANN)
18. Voimakasta höyryn muodostumista tankkauksen yhteydessä (Gasum)
19. Viking Gracen ship to ship -bunkraus (AGA)

TAULUKKOLÄHTEET

1. Helsingin seudun ympäristöpalvelut. Saatavissa:
<http://www.hsy.fi/vesi/ymparisto/biokaasua/Sivut/default.aspx> [viitattu 18.1.2013]
2. Polttoaineiden syttymisrajat (McGuire and White)
3. Itsesyttymislämpötilan vertailutaulukko
4. LNG-tankkien vertailu.(McGuire and White)

LIITTEET

Liite 1.

TARKASTUSLISTA, ennen bunkrauksen aloittamista

Aluksen nimi: _____

Bunkrauksen suorituspaikka: _____

Päivämäärä: _____

Tarkastuksen kohteet	Bunkkerialus		Vastaanottava alus	
	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei
Ennakoilmoitus 24 h ennen polttoainetäydennystä				
Viranomaisen/sataman lupa?				
Onko alue valmiina lähesymiseen, kiinnitykseen ja bunkraukseen?				
Sallivatko sääolosuhteet turvallisen bunkrauksen?				
Onko valaistus tyydyttävällä tasolla?				
Onko Ex-alue aktivoitu?				
Ovatko maailmaisin valot ja vaihde/ohjauspaneli kunnossa?				
Ovatko viestiyhteydet valmiina ja viestintäkieli sovittu?				
Ovatko luukut ja ovet bunkrausalueen ympärillä suljettu?				
Onko suoja-alue aktivoitu?				
Onko henkilöstösuojaimet tarkastettu ja käyttövalmiina?				
Onko ESD-järjestelmä testattu ja käyttövalmiina?				
Onko palosammutuskalusto tarkastettu ja käyttövalmiudessa? (min. 150 kg jauhekalusto)				
Onko sovittu aloitus- ja lopetusmerkit?				
Onko polttoainetoimittajan kanssa sovittu aloitus-, siirto- ja lopetusnopeus?				
Onko sovittu toimintatapa onnettomuustilanteessa?				
Onko sovittu toiminta hätäirroituksessa?				
Ovatko valumisastiat paikoillaan ja käyttövalmiina?				
Onko polttoaineliittimet silmämääräisesti tarkastettu?				

LNG tankin lämpötila (°C)		
LNF tankin paine (bar)		
	LNG	MDO
Siirrettävä määrä		
Lähtötaso (m ³ /h)		
Maksimi siirtotaso (m ³ /h)		
Täyttökorko (m/h)		
Maksimi paine imusarjassa (bar)		

Allekirjoitus _____

Allekirjoitus _____

Liite 2.

TARKASTUSLISTA, bunkrauksen jälkeen

Aluksen nimi: _____

Bunkrauksen suorituspaikka: _____

Päivämäärä: _____

Tarkastuksen kohteet	Bunkkerialus		Vastaanottava alus	
	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei
Ovatko kaukokäyttöiset polttoainelinjan venttiilit suljettu?				
Onko manuaalikäyttöiset polttoainelinjan venttiilit suljettu?				
Onko polttoaine-linja ineroitu?				
Ovatko polttoaineen siirtoliittimet irroitettu ja palautettu paikoilleen?				
Onko siirtoasiakirjat allekirjoitettu ja toimitettu?				
Onko kaasuasema tuuletettu ja ilmastointi normaaliasennossa?				
Onko lukitut luukut ja ovet vapautettu (jos aluksella on tarvetta)?				
Onko maadoituskaapeli irroitettu?				
Onko Ex-aktivointi purettu?				
Onko bunkrauksen päättymisestä ilmoitettu?				

LNG tankin lämpötila (°C)	
LNF tankin paine (bar)	

	LNG	MDO
Siirrettävä määrä		
Lähtötaso (m ³ /h)		
Maksimi siirtotaso (m ³ /h)		
Täyttökorko (m ³ /h)		
Maksimi paine imusarjassa (bar)		

Allekirjoitus _____

Allekirjoitus _____

Liite 3.

ANNEX 11
CHAPTER 8
OPERATIONAL AND TRAINING REQUIREMENTS

8.1 Operational requirement

8.1.1 The whole operational crew of a gas-fuelled cargo and a passenger ship should have necessary training in gas-related safety, operation and maintenance prior to the commencement of work on board.

MSC 86/26/Add.1

8.1.2 Additionally, crew members with a direct responsibility for the operation of gas-related equipment on board should receive special training. The company should document that the personnel have acquired the necessary knowledge and that this knowledge is maintained at all times.

8.1.3 Gas-related emergency exercises should be conducted at regular intervals. Safety and response systems for the handling of defined hazards and accidents should be reviewed and tested.

8.1.4 A training manual should be developed and a training programme and exercises should be specially designed for each individual vessel and its gas installations.

8.2 Gas-related training

8.2.1 Training in general The training on gas-fuelled ships is divided into the following categories:

- .1 category A: Basic training for the basic safety crew;
- .2 category B: Supplementary training for deck officers; and
- .3 category C: Supplementary training for engineer officers.

8.2.1.1 Category A training

.1 The goal of the category A training should provide the basic safety crew with a basic understanding of the gas in question as a fuel, the technical properties of liquid and compressed gas, explosion limits, ignition sources, risk reducing and consequence reducing measures, and the rules and procedures that must be followed during normal operation and in emergency situations.

.2 The general basic training required for the basic safety crew is based on the assumption that the crew does not have any prior knowledge of gas, gas engines and gas systems. The instructors should include one or more of the suppliers of the technical gas equipment or gas systems, alternatively other specialists with in-depth knowledge of the gas in question and the technical gas systems that are installed on board.

.3 The training should consist of both theoretical and practical exercises that involve gas and the relevant systems, as well as personal protection while handling liquid and compressed gas. Practical extinguishing of gas fires should form part of the training, and should take place at an approved safety centre.

8.2.1.2 Categories B and C training

.1 Deck and engineer officers should have gas training beyond the general basic training. Category B and category C training should be divided technically between deck and engineer officers. The company's training manager and the master should determine what comes under deck operations and what comes under engineering.

.2 Those ordinary crew members who are to participate in the actual bunkering work, as well as gas purging, or are to perform work on gas engines or gas installations, etc., should participate in all or parts of the training for category B/C. The company and the master are responsible for arranging such training based on an evaluation of the concerned crew member's job instructions/area of responsibility on board.

.3 The instructors used for such supplementary training should be the same as outlined for category A.

.4 All gas-related systems on board should be reviewed. The ship's maintenance manual, gas supply system manual and manual for electrical equipment in explosion hazardous spaces and zones should be used as a basis for this part of the training.

.5 This regulation should be regularly reviewed by the company and onboard senior management team as part of the SMS system. Risk analysis should be emphasized, and any risk analysis and sub-analyses performed should be available to course participants during training.

.6 If the ship's own crew will be performing technical maintenance of gas equipment, the training for this type of work should be documented.

.7 The master and the chief engineer officer should give the basic safety crew on board their final clearance prior to the entry into service of the ship. The clearance document should only apply to gas-related training, and it should be signed by both the master/chief engineer officer and the course participant. The clearance document for gas-related training may be integrated in the ship's general training programme, but it should be clearly evident what is regarded as gas-related training and what is regarded as other training.

.8 The training requirements related to the gas system should be evaluated in the same manner as other training requirements on board at least once a year. The training plan should be evaluated at regular intervals.

8.3 Maintenance

8.3.1 A special maintenance manual should be prepared for the gas supply system on board.

8.3.2 The manual should include maintenance procedures for all technical gas-related installations, and should comply with the recommendations of the suppliers of the equipment. The intervals for, and the extent of, the replacement/approval of gas valves should be established. The maintenance procedure should specify who is qualified to carry out maintenance.

8.3.3 A special maintenance manual should be prepared for electrical equipment that is installed in explosion hazardous spaces and areas. The inspection and maintenance of electrical installations in explosion hazardous spaces should be performed in accordance with a recognized standard.18

8.3.4 Any personnel that should carry out inspections and maintenance of electrical installations in explosion hazardous spaces should be qualified pursuant to IEC 60079-17, item 4.2.

Liite 4.

Rikkidirektiivi

Euroopan komissio antoi 15. päivänä heinäkuuta 2011 ehdotuksen Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiviksi, tiettyjen nestemäisten polttoaineiden rikkipitoisuudesta, annettun neuvoston direktiivin 1999/32/EY muuttamisesta meriliikenteessä käytettävien polttoaineiden osalta (KOM(2011) 439 lopullinen) sekä tiedonannon Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle sekä alueiden komitealle tiettyjen nestemäisten polttoaineiden rikkipitoisuutta koskevan direktiivin 1999/32/EY täytäntöönpanon uudelleentarkastelusta ja meriliikenteen epäpuhtauspäästöjen vähentämisestä edelleen (KOM(2011) 441 lopullinen)./22/

Direktiiviehdotuksen tavoitteena on vahvistaa osaksi EU-lainsäädäntöä alusten aiheuttaman meren saastumisen ehkäisemiseksi tehdyn kansainvälisen yleissopimuksen (SopS 51/1983, jäljempänä MARPOL-yleissopimus) liitteeseen VI vuonna 2008 hyväksytyt meriliikenteen polttoaineiden rikkipitoisuutta koskevat uudet vaatimukset kansainvälisillä merialueilla ja rikkipäästöjen valvonta-alueilla sekä täydentää Euroopan unionissa sijaitseviin satamiin tai niistä liikennöivissä matkustaja-aluksissa käytettävien polttoaineiden rikkipitoisuusvaatimuksia./22/

Liite 5.

MARPOL-sopimuksen liitteen VI muutokset

Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO hyväksyi 9 päivänä lokakuuta 2008 yksimielisesti MARPOL 73/78 -yleissopimuksen uudistetun VI liitteen, jolla rajoitetaan laivaliikenteen typenoksidi- ja rikkioksidipäästöjä ja siten myös laivaliikenteestä aiheutuvia hiukkaspäästöjä. Uusi liite tuli kansainvälisesti voimaan 1 päivästä heinäkuuta 2010.

Laivapolttoaineen korkein sallittu rikkipitoisuus laskee maailmanlaajuisesti 1 päivästä tammikuuta 2012 alkaen 4,50 prosentista 3,50 prosenttiin ja 1 päivästä tammikuuta 2020 alkaen 0,50 prosenttiin. Voimaantuloa voidaan liitteeseen sisältyvän tarkistuslausekkeen mukaan siirtää IMO:n päätöksellä vuoteen 2025, mikäli siihen on perusteita vuonna 2018 tehtävän tarkastelun perusteella.

Polttoaineen rikkipitoisuus on rikkipäästöjen valvonta-alueilla (Sulphur Emission Control Area, SECA-alue) 1 päivästä heinäkuuta 2010 alkaen 1,00 prosenttia sekä laskee 1 päivästä tammikuuta 2015 alkaen 0,10 prosenttiin. Rikkipesureiden käyttö on edelleen sallittua, jos niiden avulla päästöt vähenevät saman verran kuin käyttämällä vähärikkistä polttoainetta.

Nykyisiä rikkipäästöjen valvonta-alueita ovat Itämeri, Pohjanmeri ja Englannin kanaali sekä USA:n ja Kanadan rannikot 200 merimailiin (n. 370 km) saakka.

MARPOL-sopimuksen liitteen VI muutokset on hyväksytty hiljaisella menettelyllä ja muutokset ovat tulleet kansainvälisesti voimaan 1 päivänä heinäkuuta 2010. Suomi (kuten myös Viro) on ilmoittanut IMO:lle, etteivät muutokset tule voimaan sen aluevesillä ja talousvyöhykkeellä ennen kuin ne on saatettu osaksi kansallista lainsäädäntöä