

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma / Merikapteenin suuntautumisvaihtoehto

Tommi Myllymäki

NESTEYTETTY MAAKAASU LAIVAPOLTTOAINEENA VUONNA 2016

Opinnäytetyö 2014

## TIIVISTELMÄ

### KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

#### Merenkulun koulutusohjelma

MYLLYMÄKI, TOMMI	Nesteytetty maakaasu laivapolttoaineena vuonna 2016
Opinnäytetyö	74 sivua
Työn ohjaaja	Lehtori Ari Helle
Toimeksiantaja	Containerships Oy Ltd.
Lokakuu 2014	
Avainsanat	maakaasu, lng, terminaali, polttoaine, rikkidirektiivi, meriliikenne, kustannukset

Opinnäytetyössä tarkastellaan niitä vaihtoehtoja, joita suomalaisella laivanvarustajalla on käytettävissään, kun uudet rikkipäästörajoitukset astuvat voimaan vuonna 2015. Työ painottuu nestemäisen maakaasun käyttöönottoon.

Nestemäisen maakaasun käyttö laivapolttoaineena on uutta Suomessa. Tulevaisuudessa sen käyttö saattaa laajeta ympäristömääräysten tiukentuessa, koska se on rikitön, vähäpäästöinen ja halpa polttoaine.

Työssä tutkitaan nestemäisen maakaasun kulkua tuottajalta suomalaiselle käyttäjälle, markkinoille muodostumassa olevaa kilpailua, polttoaineen hinnoittelua ja hinnan muodostumista sekä alukselta että miehistöltä vaadittavia teknisiä ominaisuuksia ja taitoja. Tarkoituksena on muodostaa yleiskuva siitä, minkälaista nestemäisen maakaasun käyttö polttoaineena kokonaisuudessa on.

Nestemäisen maakaasun jakelu vaatii kattavan infrastruktuurin. Sellaista Suomessa ei vielä ole. Useita projekteja on silti työn alla Suomessa ja Euroopassa. Rakenteilla oleva eurooppalainen jakeluverkosto luo suomalaiselle alukselle hyvät mahdollisuudet saada matkoillaan nestemäistä maakaasua polttoaineeksi.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Maritime Technology

MYLLYMÄKI, TOMMI

Liquefied natural gas as a marine fuel in 2016

Bachelor's Thesis

74 pages

Supervisor

Ari Helle, Senior Lecturer

Commissioned by

Containerships Oy Ltd.

October 2014

Keywords

natural gas, lng, terminal, marine fuel, sulphur directive, marine transportation, expenses

This bachelor's thesis explores the options which are available to the Finnish shipping companies when the new sulphur emission limits come in to force in 2015. The study focuses on liquefied natural gas.

Liquefied natural gas as a marine fuel is new in Finland. In the future its use may expand when environmental regulations become more stringent because it is a sulphur-free, low emission, low cost fuel.

The thesis studies the value chain of liquefied natural gas, the competition in the market, the pricing and the price of this fuel, as well as the special characteristics and the required competency of a vessel using natural gas as a fuel and its crew. The aim is to create a general picture of what it is to use liquefied natural gas as a marine fuel in whole.

Liquefied natural gas distribution requires a comprehensive infrastructure. In Finland such does not yet exist. However, a number of projects are under construction in Finland and Europe. The European distribution network creates a good opportunity for a Finnish vessel to acquire liquefied natural gas on its voyages.

## KÄYTETYT LYHENTEET

EMSA	European Maritime Safety Agency
HFO	Heavy Fuel Oil
IGC	International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk
IGF	International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-Flash Point Fuels
IMO	International Maritime Organization
LNG	Liquefied Natural Gas
m <sup>3</sup> n	normikuutiometri
MDO	Marine Diesel Oil
MGO	Marine Gas Oil
MJ	megajoule
mt	<i>metric ton</i> , tonni
SECA	Special Emission Control Area
SIGTTO	The Society of International Gas Tanker and Terminal Operators
SOLAS	International Convention for the Safety of Life at Sea
STCW	International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

## KÄYTETYT LYHENTEET

1	JOHDANTO	8
2	MAAKAASU	9
2.1	Kemiallinen koostumus	11
2.2	Ominaisuudet polttoaineena	11
2.3	Tuotanto maailmalla	13
3	NESTEYTETYN MAAKAASUN KULJETUSKETJU	17
4	ALUKSEN POLTTOAINEVAIHTOEHDOT VUONNA 2016	20
4.1	Rikkipesuri	22
4.2	Vähärikkiset polttoaineet	24
4.3	Nesteytetty maakaasu	25
5	ALUKSEN POLTTOAINETÄYDENNYS	29
5.1	Säädökset ja koulutus	29
5.2	Polttoainetäydennyksen vaaratekijät	32
5.2.1	Räjähdyksivaara	33
5.2.2	Syttymisvaara	33

5.2.3	Kryogeeniset vaarat	34
5.2.4	Nopea höyrystyminen	35
5.2.5	Lastin sekoittuminen	35
5.3	Polttoainetäydennyksen suoritus	36
6	INFRASTRUKTUURI	38
6.1	Eurooppa	39
6.1.1	Saksa	40
6.1.2	Venäjä	41
6.1.3	Puola	42
6.1.4	Liettua	42
6.1.5	Hollanti	42
6.1.6	Englanti	43
6.1.7	Belgia	44
6.1.8	Tanska	44
6.1.9	Ruotsi	45
6.2	Suomi	45
6.2.1	Manga LNG Oy	46
6.2.2	Gasum Oy	46

6.2.3	AGA Oy Ab	47
6.2.4	Haminan Energia Oy	48
6.2.5	Wärtsilä Oyj	48
6.2.6	Venäjän LNG	49
6.2.7	Balticconnector ja Finngulf	50
6.3	Päätelmiä	50
7	HINNOITTELU	53
8	HINNAN MUODOSTUMINEN	57
8.1	Kilpailutekijät	61
9	YHTEENVETO	62
LÄHTEET		

## 1 JOHDANTO

Vuonna 2008 Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO hyväksyi uudet rajoitukset laivaliikenteen rikkidioksidipäästöille. Nämä rajoitukset ovat yhä tiukemmat eräillä erityisalueilla. Yksi näistä SECA-erityisalueista on Itämeren, Pohjanmeren ja Englannin kanaalin sisälle jäävä alue. Tällä hetkellä SECA-alueella sallittu polttoaineen rikkipitoisuus on 1,0 prosenttia. Vuonna 2015 raja putoaa 0,1 prosenttiin voimaan astuvan päästörajoitussäädöksen viimeisen osan myötä. Itämeri tulee olemaan yksi maailman ensimmäisistä merialueista jossa tämänkaltainen uudistus ollaan asettamassa käytäntöön. (Laivapolttoaineen rikkipitoisuus 2009; Sulphur oxides – Regulation 14 2014.)

Pohjoismailla on mahdollisuus näyttää miten rajoituksiin päästään vastaamaan ajallaan ja ennen kaikkea kustannustehokkaasti. Uusi 0,1 prosentin rikkipäästöraja voimaan astuessaan tulee vaikuttamaan suoraan arviolta 40 prosenttiin koko maailman laivueesta. (LNG Bunkering: High Flying in Europe But it's The East That Will Make it Soar 2014, 1.)

Maapuolella jo pitkään käynnissä ollut teollisuuden päästöjen valvonta ja rajoittaminen on nostanut hiljalleen merenkulun kokonaispäästöjen osuutta. Tiukentuneet vaatimukset polttoaineiden rikkipitoisuuksista on johtanut muiden polttoaineiden käytön arviointiin varustamoiden keskuudessa. (Merenkulun rikkipäästöjen vaikutukset Suomeen 2014.) Vähärikkiset polttoaineet ovat huomattavasti kalliimpia, koska niiden jalostusketju on pidempi sekä haastavampi ja lopputuotettakin saadaan suhteessa vähemmän (Öljynjalostusanimaatio 2014). Näiden kalliiden polttoaineiden käyttö nostaisi rahdin kuljetuskustannuksia huomattavasti. Tämä johtaisi kuluttajahintojen kasvuun. Näiden tekijöiden vuoksi polttoöljyjen globaali hinta on nyt kasvussa pitkällä aikavälillä (Raakaöljyn hintakehitys 2014).

Tämä työ selvittää nestemäisen maakaasun, LNG:n, käytön soveltumista vaihtoehtoiseksi aluspolttoaineeksi. Työssä tarkastellaan lyhyesti maakaasun kemiallisia ominaisuuksia. Pääpaino on maakaasun jakeluverkoston ja infrastruktuurin tilanteen selvittäminen Suomessa ja Euroopassa. Tarkoituksena on kartoittaa minkälaiset mahdolli-



suudet LNG:tä olisi saada laajalla alueella käyttöön Itämerellä. Lisäksi tutkitaan LNG:n hinnan muodostumista ja hinnoitteluun vaikuttavia tekijöitä.

Myös LNG:n saattaminen aluksen käyttöön on oleellinen asia koko ketjussa. Nestemäisen maakaasun infrastruktuurin ja hinnoittelun tarkastelun lisäksi tarkoituksena on myös selvittää, miten aluksen polttoainetäydennys toteutetaan LNG:tä käytettäessä.

On huomioitava, että Suomessa ei tällä hetkellä ole nestemäistä maakaasua ainoana polttoaineenaan käyttäviä aluksia. Kaksi olemassa olevaa alusta Viking Grace ja Rajavartiolaitoksen uusi vartioalus käyttävät niin sanottua *dual-fuel* järjestelmää. Näissä koneistoissa voidaan LNG:tä ja perinteistä polttoöljyä käyttää yhtäaikaaisesti. Tämä työ selvittääkin nimenomaan tulevaisuuden näkymiä Suomen LNG pelikentällä. Tulevat ympäristösäädökset ja kalliit polttoaineet voivat tehdä monesta vanhasta aluksesta pahimmillaan kannattamattomia. Näissä tilanteissa uusi tilalle hankittava alus voisi hyvin käyttää LNG:tä polttoaineenaan ja hyötyä kaikista sen tuomista uusista eduista.

## 2 MAAKAASU

Maakaasu on maakuoren sisällä esiintyvä fossiilinen luonnonkaasu. Itsenäisten maakaasuesiintymien lisäksi sitä löytyy muistakin lähteistä. Maakaasua voi esiintyä öljylähteissä öljyn seassa vapaana kaasuna, sekä myös itse öljyyn liuenneena. Myös kivihiiliesiintymien kerrostumista on löydetty maakaasua, kuten myös liuskekivimuodostumista öljyn ja liuskekaasun joukosta. Yleisesti voidaan todeta, että maakaasua on usein siellä missä öljyäkin on. (Klemola 2013, 3.)

Maakaasua on alettu hyödyntämään vasta 1900-luvun puolella välissä, kun korkean paineen kestävät putkistot ja kompressorit saatiin kehitettyä. Sitä ennen maakaasu on vain poltettu ylimääräisenä jätekaasuna öljyntuotannon yhteydessä. (Klemola 2013, 2.) Nykyisin maakaasua käytetään kasvavissa määrin energiantuotantoon vaihtoehtoisena polttoaineena (Weirauch 2004).

Maakaasu voi liikkua sekä kaasuna että nesteytettynä. Kuljettaessa aluksilla tai yksittäisissä tankeissa maakaasu nesteytetään. Putkistoissa se liikkuu useimmiten kaasuna.

Kun maakaasu nesteytetään se tiivistyy murto-osaan kaasumaisesta olomuodostaan. Nesteytettynä maakaasua on tehokasta kuljettaa, koska se on tiivistyneenä niin pieneen tilaan. Kaasu täytyy aluksi jäähdyttää -162 celsiusasteeseen. Tässä lämpötilassa maakaasu nesteytyy, minkä jälkeen se voidaan viedä sille soveltuvaan paineenkestävään säiliöön säilytettäväksi. Säilössä nestemäinen kaasu jatkaa kiehumista, koska lämmöneristys ei voi olla täydellistä. Höyrystyvä kaasu kerätään talteen ja jälleennesteytetään tarkoitukseen soveltuvalla laitteistolla, minkä jälkeen uudelleen nesteytetty kaasu ajetaan takaisin säiliöön. Mikäli höyryjä ei kerättäisi, johtaisi se säiliön vaurioitumiseen sen sisään muodostuvan ylipaineen vuoksi. (Maakaasun ominaisuudet 2014.)

Yleensä nestemäistä maakaasua kuljettavat tankkerit käyttävät tätä *boil-off* -kaasuksi kutsuttua höyryä polttoaineenaan. Jälleennesteytyksestä huolimatta tankkerin kuljettamasta lastista voi matkan aikana haihtua ilmaan noin 2 – 6 % riippuen matkan pituudesta ja aluksen lastinkäsittelylaitteistosta sekä vallitsevista alukseen vaikuttavista ulkoilman lämpötiloista.

Kun maakaasu nesteytyy, se tiivistyy kuudessadasosaan kaasumaisesta olomuodostaan. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että 600 kuutiometriä kaasumaista maakaasua vastaa nesteytettynä yhtä kuutiometriä nesteytettyä maakaasua eli LNG:tä. Vastaavasti 10 000 kuutiometrin LNG-varastosäiliöstä voidaan höyrystää 6 miljoonaa kuutiometriä maakaasua.

Aineen painohan ei nesteytyessä muutu, vain sen tilavuus. Tämä on tärkeä yksityiskohta tarkasteltaessa maakaasun kuljetusmahdollisuuksia ja varastointia. Valtava määrä maakaasua saadaan nesteyttämällä varastoitua pieneen tilaan. Sen vuoksi myös laivakuljetukset ovat tehokas kuljetusmuoto, kun suuri määrä kaasua saadaan kuljetettua rajallisessa tilassa aluksella.

## 2.1 Kemiallinen koostumus

Maakaasu on seos, joka koostuu pääosin metaanista. Myös muita yksinkertaisia hiilivetyjä löytyy, kuten etaania ja propaania. Metaani on maakaasussa aina pitoisuudeltaan suurin kaasu, mutta muiden kaasujen pitoisuuksien välillä on eroja tuotantolähteestä riippuen. (Suomen Kaasuyhdistys ry 2014, 6.)

Seuraavassa taulukossa 1 on esitetty maakaasun keskimääräinen koostumus. Osuudet ovat keskiarvoja. On huomioitava, että eri esiintymissä varsinkin metaanin ja etaanin osuudet vaihtelevat huomattavasti. (Suomen Kaasuyhdistys ry 2014, 6; Chemical Composition of Natural Gas 2014.)

Taulukko 1. Maakaasun koostumus.

Metaani	CH <sub>4</sub>	88,92 %
Etaani	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	3,00 %
Propaani	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,30 %
Butaani	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,18 %
Typpi	N <sub>2</sub>	7,00 %
Hiilidioksidi	CO <sub>2</sub>	0,60 %

## 2.2 Ominaisuudet polttoaineena

Mitä suurempi metaanin osuus seoksessa on, sitä paremmin se soveltuu energiantuotantoon, koska seos palaa täydellisemmin. Korkean palamistehokkuuden vuoksi sen hyötysuhde energiantuotannossa on hyvin korkea. Tässä taulukossa 2 on esitetty maakaasun ja polttoöljyjen lämpöarvot (Suomen Kaasuyhdistys ry 2014, 7). Sen tehollinen lämpöarvo painokiloa kohden on lähes viidenneksen korkeampi kuin polttoöljyillä.

Taulukko 2. Maakaasun ja konventionaalisten polttoaineiden lämpöarvovertailu.

Tehollinen lämpöarvo	Maakaasu	Kevyt polttoöljy	Raskas polttoöljy
MJ/m <sup>3</sup> n	36,0	-	-
MJ/kg	50,0	42,7	40,6
kWh/m <sup>3</sup> n	10,0	-	-
kWh/kg	13,9	11,8	11,3

Palaessaan maakaasu jättää vain vähän likaisia savukaasuja. Rikkidioksidipäästöjä sillä ei ole lainkaan. Hiilidioksidipäästöt ovat noin 20 % alhaisemmat kuin polttoöljyillä. Typpipäästöt ovat 85 % alhaisemmat. Tästä syystä maakaasun käyttö on lisääntymässä – sitä pidetään puhtaampana vaihtoehtona perinteisille polttoaineille. Maakaasu myös palaa kuumemmalla liekillä, kuin polttoöljyt. Se siis tuottaa palaessaan enemmän lämpöä. (Herdzik 2011, 170.)

Maakaasu on puhtaiden ominaisuuksiensa ansiosta myös moottorikoneistoille ystävällinen aine. Tuhkaa ja raskasmetallipäästöjä ei synny, joten moottorit pysyvät puhtaampina ja näin ollen luotettavampina pidempään. Tuhkan ja raskasmetallipäästöjen puuttuminen palamisen sivutuotteista johtuu aineen kaasumaisesta olomuodosta. (Maakaasu 2014.)

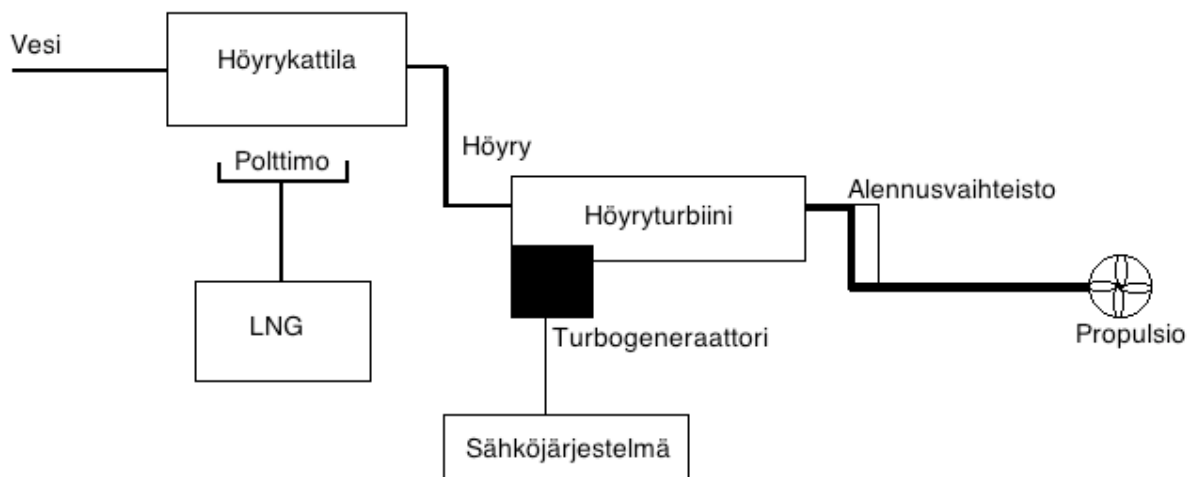
Nestemäinen maakaasu ei itsessään sisällä happea lainkaan, eli nestemäisenä se ei ole palamaan syttyvä aine. Nestemäinen maakaasu pääsee vasta höyrystyessään sekoittumaan hapen kanssa muodostaen syttyvän kaasuseoksen. Maakaasulla, eli lähinnä metaanilla, on varsin kapea syttymisalue, mikä tekee sen turvallisesta hallitsemista helppoa. Metaanin alempi syttymisraja on 5 % ja ylempi syttymisraja 15 %. Syttymisalueella tarkoitetaan rajapitoisuuksien muodostamaa aluetta jonka sisällä kaasun ja ilman seos voi syttyä. (Karvonen 2013, 18; Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet – metaani 2014.)

Korkean itsesyttymislämpötilan vuoksi maakaasu tarvitsee dieselmootoreissa käytettäessä esipolttoaineen. Moottorin sylinteriin ruiskutetaan kaasun kanssa pieni määrä

nestemäistä polttoainetta, kuten dieseliä. Nestemäinen polttoaine syttyy sylinterissä ensin, minkä johdosta syntynyt lämpötila edelleen sytyttää kaasun. Käytettäessä polttoaineena pääosin pelkkää nestemäistä maakaasua on aluksen voimalaitoksena siinä tapauksessa höyryturbiini. Höyrykattiloiden polttimilla poltetaan *boil-off*-maakaasua ja kattiloissa tuotettu höyry johdetaan höyryturbiinille. (Herdzik 2011, 171.)

Voimansiirto turbiinilta potkurille on tavallisimmin mekaaninen eli höyryturbiini pyörittää potkuria suoraan alennusvaihteiston kautta. Sähkö tuotetaan höyryturbiinilaivassa turbogeneraattorilla.

Kuvassa 1 on esitetty tämän järjestelmän toiminta.



Kuva 1. Höyryturbiinikoneiston toiminta.

### 2.3 Tuotanto maailmalla

Maakaasuesiintymät ovat keskittyneet pitkälti öljylähteiden yhteyteen. Tämän takia suurin osa maailman tämänhetkisestä maakaasun ulosviennistä on sijoittunut Lähi-idän ja Kaakkois-Aasian alueelle. Jonkin verran huomattavaakin tuotantoa on myös

Afrikassa sekä yksittäisissä kohteissa kuten Venäjällä ja Australiassa. (International Gas Union 2013, 8-10.)

Suurin maakaasuntuottaja on Yhdysvallat. Siellä erityisesti liuskekaasun tuotanto on kasvanut erittäin nopeasti viimeaikoina. Tästä syystä kaasun hinta on painunut alas ja sillä katetaan kotimarkkinoiden energiatarpeita. Yhdysvallat vie maakaasua erittäin vähän ulos verrattuna maassa tuotettuun määrään tällä hetkellä. (International Gas Union 2013, 8-12.)

Yhdysvalloissa on vasta viime aikoina ollut vireillä neuvotteluita maakaasun vientisopimuksista useiden ulkomaalaisten energiayhtiöiden kanssa - lähinnä Aasiasta ja Euroopasta. Yhdysvaltojen halpa liuskekaasu on herättänyt suuren mielenkiinnon polttoainetta kohtaan. Erityisesti Kiina janoaa suuret määrät halpaa energiaa. Yhdysvaltojen hallitus ei vielä ole hyväksynyt vientisopimuksia. Lisäksi vienti-mahdollisuuksiin vaikuttaa LNG-terminaalien rakentaminen, jotka eivät nykyisellään vielä pystyisi kattamaan suunniteltua vientikapasiteettia. Halpa maakaasu voisi jäädä maan itse käytettäväksi, mikäli Yhdysvallat ei halua luopua kilpailuaseman kannalta tärkeästä edullisesta energiasta.



Kuva 2. LNG-tankkeri terminaalissa (Sabine Pass LNG Terminal Development 2014).

Päätös vientisopimusten hylkäämisestä voisi olla strateginen. Kiina, Japani ja Taiwan joutuisivat käyttämään teollisuutensa ylläpitoon kallista aasialaista maakaasua. Toisaalta tämä voisi vaikuttaa laajemminkin maailmantalouteen, mistä myös Yhdysvallat ovat riippuvaisia. Maakaasun viennin sopimisesta saatavat tulot toisivat myös huomattavasti rahaa Yhdysvalloille. Mikäli tämä Yhdysvaltojen halpa maakaasu saapuisi maailmanmarkkinoille, toisi se tämänhetkisiä hintoja hieman alaspäin. (Tekniikka & Talous 14.3.2014; Vukmanovic, O. & McAllister, E. 2014.)

Venäjää voi pitää siitä erityisenä maakaasuntuottajana, että se on lähtenyt markkinoille vasta lähivuosina ja lyhyessä ajassa saavuttanut suuren tuotannon Siperiassa sijaitsevilla laitoksillaan. Tällä hetkellä Venäjä tuottaa maailman toiseksi eniten maakaasua Yhdysvaltojen jälkeen. On arvioitu, että Venäjän Siperiassa voisi sijaita jopa kolmasosa koko maapallon maakaasuvarannoista. Nämä kaasuvarat on tutkittu sijaitsevan tundran ikeroudassa hyvin lähellä maanpintaa, mikä tekisi kaasun louhinnasta ja käsittelystä erittäin halpaa ja nopeaa. Mikäli koillisväylä pysyy jatkossakin kesäaikaan sulana, voi Venäjä viedä ylijäämäistä maakaasua nopeasti ja kustannustehokkaasti Aasiaan markkinoillekin. Tämä vaatii toki tarvittavat terminaalit ja muun yleisen infrastruktuurin rakentamista kaasukenttien läheisille rannikkoalueille. Tällä hetkellä suuri osa Venäjän maakaasuntuotannosta on keskittynyt Karanmeren läheisille alueille, erityisesti Jamalin niemimaalle. (Karvonen 2013, 11, 14; Pohjanpalo 2014.)

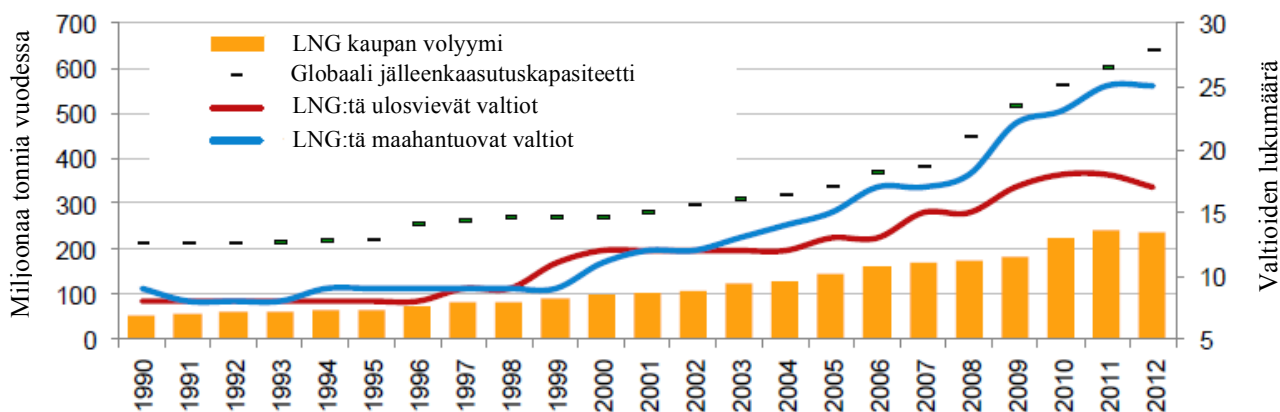
Maailman öljy- ja kaasuyhtiöt ovat selvästi heränneet maakaasun liiketoimintapotentiaaliin, mikä näkyy esimerkiksi jatkuvana tuotannon ja viennin kasvuna. Maakaasun kulutus on noussut nimenomaa ympäristöpaineiden, uuden teknologian ja saatavuuden myötä.

Maakaasutuotannon kasvaessa sen saatavuus paranee jatkuvasti. Kun kaasua on paljon markkinoilla ja jos nykyinen maakaasun käytön laajenemisen trendi pysyy ennallaan, niin LNG:n hinta tulee pysymään edullisena jatkossakin. Toisaalta voidaan myös ajatella, kuinka paljon kasvua tuotanto kestää. Missä vaiheessa hinnat alkavat noustamaan? Hintojen pysyminen alhaisena vaatii luonnollisesti myös markkinoilla tapahtuvaa kilpailua. Ainakin LNG:n käytön alkuvaiheessa Suomeen ei näillä näkymin ole varsinaista hintakilpailua muodostumassa, koska markkinoiden ainoat pelurit ovat tä-

mänhetkisesti vain Gasum ja Norja. Hinnat voivat tästä syystä pysyä käytön alkuvaiheessa korkealla, kunnes markkinoille ilmestyy muitakin toimijoita.

Vasta vuonna 2012 havaittiin maakaasun maailmankaupan ensimmäinen notkahdus kolmeenkymmeneen vuoteen. Tämä oli pitkälti tarjonnan supistumisen sekä poliittisten tilojen syytä, joihin vaikuttivat vahvasti edellisvuosien tapahtumat Kaakkois-Aasiassa, Lähi-idässä sekä Pohjois-Afrikassa. Näiden alueiden tuotannonlaskusta huolimatta muut pienemmät tuottajat jatkoivat kasvuaan. (International Gas Union 2013, 8.)

Seuraavassa kuvassa 3 on selvennetty maailmanlaajuisen maakaasuntuotannon kehitystä vuosien 1990 ja 2012 välillä. Jälleenkaasutuksella tarkoitetaan nesteytetyn maakaasun saattamista takaisin kaasumaiseen olomuotoonsa. Tämä tapahtuu erillisessä laitoskompleksissa, joiden kapasiteetin kasvu käy selväksi samasta kaaviosta. Aineen täytyy olla kaasua palaakseen energiantuotannossa. Vain kuljetus ja säilytys tapahtuu nesteinä. (International Gas Union 2013, 8.)



Kuva 3. Globaali maakaasuntuotanto ja jälleenkaasutuskapasiteetti. (International Gas Union 2013, 8.)

Eurooppaan nesteytetty maakaasu tulee pääosin Lähi-idästä ja Pohjois-Afrikasta. Myös Norjasta ja Venäjältä tulee kaasua, Venäjältä lähinnä putkea pitkin kaasumai-



sessä muodossa. Qatar ja Algeria ovat lähimpänä olevat suurimmat maakaasuntuottajat. Venäjältä on löydetty suuret maakaasuvarat, mutta tuotanto siellä ei ole vielä noussut korkealle. Euroopan sisällä tuotantoa on eniten Norjassa, missä maakaasu saadaan Pohjanmerellä öljynporauksen sivutuotteena. Suomeen kaasua olisi helpointa saada laivayhteyksillä Norjaan ja Keski-Eurooppaan. Tämä voisi tarkoittaa laivayhteyksiä esimerkiksi suuriin öljy- ja kaasusatamiin, joita on Hollannissa, Belgiassa, Englannissa ja Ranskassa. Matkat näihin satamiin Suomesta ovat varsin lyhyitä, joten tuote olisi edullista saada Suomen terminaaleihin jälleenmyyntiin.

Ylivoimaisesti suurin maakaasunkulutus on Aasiassa. Erityisesti Japani ja Etelä-Korea ovat suurimmat maakaasun käyttäjät Aasiassa. Intian ja Kiinan maakaasunkäyttö on lisääntynyt huomattavasti viime vuosina ja saman suunnan on ennustettu jatkuvan. (International Gas Union 2013, 9.) Erityisesti Kiinassa ja Etelä-Koreassa on herätty energiantuotannon ympäristövaikutuksiin ja LNG:n käytöllä ollaan pyrkimässä päästöjen vähentämiseen (Tekniikka & Talous 14.3.2014). Japanin maakaasunkäyttö on perustunut vuoden 2011 Fukushima –tapauksen jälkimaininkiin, kun maan ydinvoimalat ajettiin alas ja korvaava vähäsaasteinen energianlähde oli saatava käyttöön. Viimeinen ydinvoimala suljettiin syyskuussa 2013. Japanin hallitus ei ole antanut voimaloiden uudelleenkäynnistämistä vielä mitään tietoa. (Japan shuts down last nuclear reactor – for now 2013.) Japanin ydinvoima on korvattu fossiilisilla polttoaineilla, mikä on johtanut alueittain suuriinkin sähkön hinnan nousuihin ja ilmastollisiin ongelmiin.

### 3 NESTEYTETYN MAAKAASUN KULJETUSKETJU

Ennen LNG:n saapumista loppukäyttäjälle aine käy läpi monivaiheisen kuljetusketjun. Kuljetustapoja on kaksi: säiliökuljetus ja putkikuljetus. Säiliökuljetukseen luetaan kaikki säiliöastioissa tapahtuva kuljetus, kuten merellä tankkeriliikenne tai maalla säiliöautot ja -junat. Putkikuljetuksessa tuote tuodaan putkea pitkin, mikä on kiinteä rakenne maan päällä, maan alla tai merenpohjassa. Molemmissa kuljetusketjuissa vallitsee silti samat peruseriaatteet. Hinnoissa ja käyttö- sekä ylläpitokustannuksissa on kuitenkin eroja.

Merikuljetus on ainoa mahdollisuus kuljettaa LNG:tä pitkillä matkoilla, erityisesti mantereiden välillä. Lisäksi merikuljetuksissa saadaan liikuteltua suuria määriä tuotetta yhdellä kertaa.

Maakuljetuksessa LNG:tä voidaan kuljettaa huomattavasti pienempi määrä, mutta se on helpompi toimittaa täsmällisesti käyttäjälle, jonka luokse ei putkiverkkoa tule. Maalla LNG kulkee esimerkiksi säiliöautoissa ja säiliöjunissa.

Putkikuljetuksessa LNG liikkuu suoraan kahden kiinteän paikan välillä. Putkia voidaan rakentaa esimerkiksi kahden maakaasulla kauppaa käyvän maan välille, kuten Suomen ja Venäjän. Putkilla kaasu voidaan myös kuljettaa kaasukentältä prosessointilaitokseen ilman jatkuvaa säiliöautoliikennettä.

LNG:n prosessointiketju on silti kaikissa näissä muodoissa pohjimmiltaan täysin sama. Maakaasu porataan kaasukentällä ja viedään putkistoa pitkin prosessointilaitokseen, missä kaasusta erotellaan epäpuhtaudet ja muut aineet, joita ei haluta valmiiseen tuotteeseen. Prosessointilaitoksesta maakaasu kulkee nesteytyslaitokseen, missä kaasu jäähdytetään nestemäiseksi ja suljetaan paineenkestäviin varastosäiliöihin odottamaan kuljetusta. Tämän jälkeen kuljetus voi tapahtua pienemmissä säiliöissä, kuten maitse ja meritse.

Kuljetuksen jälkeen vastaanottopäässä LNG varastoidaan taas suurempiin säiliöihin. Säiliöistä nestemäinen maakaasu viedään jälleнкаasutuslaitokselle, missä neste saateen takaisin kaasumaiseen olomuotoonsa. Kaasumaisena se voidaan putkia pitkin toimittaa voimalaitoksille ja muille maakaasua käyttäville tahoille. (LNG Supply Chain 2014.)

Putkistossa maakaasu liikkuu aina kaasumaisena. Nestemäisenä se on vain säiliössä.

Tässä kuvassa 4 on yksinkertaistettuna kuvattu maakaasun siirtyminen tuottajalta kuljetukseen ja kuljetuksesta käyttäjälle.



Kuva 4. LNG:n kuljetusketju.

Nesteytetyn maakaasun kuljetus eroaa selkeästi minkä tahansa muun tuotteen kuljetuksesta. Useimmat rahtialukset maailmalla voivat periaatteessa ottaa mitä tahansa lasteja mistä tahansa satamasta ja sen jälkeen toimittaa ne mihin tahansa satamaan – pitkän tai lyhyen matkan päähän. Pelkästään kysyntä ja tarjonta ja varustamon oma strategia vaikuttavat laivalinjan toimintaan. Nestemäisen maakaasun kuljetuksen tapauksessa asia on päinvastainen. LNG-tankkeri kuljettaa erityistä lastia jota on saatavilla vain hyvin harvoissa paikoissa maailmalla. Sen myyjät ja ostajat ovat erikoistuneita vain itse tuotteeseen. LNG:llä on vain yksi käyttötarkoitus ja sen ostajat – kuten myyjät – erittäin harvassa. Laivalinjat suunnitellaan usein yhtä tiettyä projektia varten ja linjalle hankitaan yksi alus hoitamaan LNG:n kauppaa. Sen vuoksi, että alusten lukumäärä on äärimmäisen rajattu ja ostajat sekä myyjät harvassa, on LNG:n kuljetusketjulla aivan erityisiä turvallisuuden ja varmuuden liittyviä piirteitä.

Jos laivalinjaa hoitava alus menisi epäkuuntoon, sitä ei voisi korvata millään muulla toisentyyppisellä aluksella. Aluksen mahdollisesti syöttämä energialaitos joutuisi puolaan ja vastaavasti kaasua toimittava tuotantolaitos pitäisi sulkea, koska LNG:lle va-

rattua varastotilaa on vain rajoitetusti käytettävissä. Alus ei pääsisi ajallaan hakemaan uutta lastia eikä laitoksen poraama uusi kaasu mahdu enää säiliöihin. Vastaavasti Pohjois-Euroopan SECA-alueella tulevaisuudessa toimivat LNG-käyttöiset kauppa-merenkulun alukset jäisivät ilman polttoainetta. Vertailun vuoksi esimerkiksi konttialuksen menetettyä toimintakunnon, on sille osoitettu rahti helppo siirtää toisen aluksen kuljetettavaksi, eikä kuljetusprosessiin yleensä liity mitään yhtä konkreettista suuren mittakaavan projektin kokonaistoiminnan ylläpitoa.

Näin suurten panosten ollessa taustalla LNG:n kuljetuksessa, vaatii sitä käyttävä teollisuus erityistä laatua alusten toiminnalta (Clucas 2013, 3).

- korkeimmat mahdolliset turvastandardit
- erityisen hyvä luotettavuus ja saatavuus
- pitkä käyttöikä
- korkea matkanopeus merellä
- nopeat satamatoiminnot

#### 4 ALUKSEN POLTTOAINEVAIHTOEHDOT VUONNA 2016

Tammikuussa 2015 Itämeren SECA-alueella tulee voimaan polttoaineen uusi tiukempi rikkipitoisuusraja. Käytettävä polttoaine ei saa ylittää 0,1 prosentin rikkipitoisuutta. Lyhykäisyydessään tämä tarkoittaa, että Suomen alusliikenne joutuu valitsemaan seuraavista vaihtoehdoista (Merenkulun rikkipäästörajoiden vaikutukset Suomeen 2014).

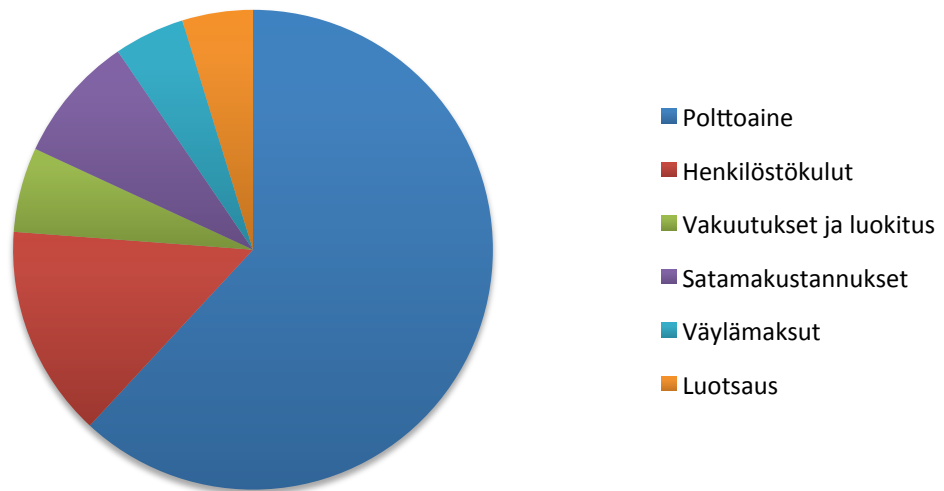
1. Rikkipesurin asennus alukseen.
  - a. Kallis suhteessa aluksen kokonaisarvoon.
  - b. Teknisesti vaikea laite meriolosuhteisiin.
  - c. Voidaan käyttää halvempaa raskasta polttoöljyä.
2. Vähärikkisen polttoaineen käyttö.
  - a. MDO ja MGO sisältävät maksimissaan 0,1% rikkiä.
  - b. Kallista verrattuna raskaaseen polttoöljyyn.

### 3. Nestemäisen maakaasun (LNG) käyttö.

- a. Infrastrukturi sekä jakelu alkutekijöissä.
- b. Halpa, rikitön ja puhdas polttoaine.
- c. Vaatii kalliin koneistouudistuksen. Varteenotettavinta uudisrakenteille.

Polttoainekustannukset vievät jopa 60 prosenttia tyypillisen aluksen päivittäisistä kustannuksista. Kuvassa 5 havainnoillistetaan tyypillisen aluksen päivittäisten kustannusten jakautuminen. Suomen Varustamot ry on ilmaissut, että kalliimpien vähärikkisten polttoaineiden käyttäminen johtaisi väistämättä rahtihintojen nousuun. Tämä näkyisi luonnollisesti Suomeen meriteitse tuotavien ja täältä pois vietävien tuotteiden hinnoittelussa. Kustannukset siirtyvät suoraan loppukäyttäjälle.

On huomioitava, että Suomen tuonti ja vienti suoritetaan 80 – 90 -prosenttisesti meriteitse. Suomi on näin ollen erittäin riippuvainen meriyhteyksien toimivuudesta. Suomella ei ole esimerkiksi Ruotsin kaltaista, hyvällä infrastruktuurilla tuettua maayhteyttä Eurooppaan Juutinrauman sillan yli.



Kuva 5. Aluksen päivittäisten kustannusten tyypillinen jakaantuminen.

Rahtihintojen nousu merellä voi johtaa kuljetusmuodon siirtymiseen maalle. Tämä raskittäisi oleellisesti tie- ja raideliikennettä. Tilanne saattaisi johtaa myös kilpailun vääristymiseen, missä suomalaiset tuotteet olisivat rahtihintojen vuoksi turhan kalliita saapuessaan Keski-Eurooppaan. Tuotanto työpaikkoineen saattaisi siirtyä pois Suomesta. (Merenkulun rikkipäästörajojen vaikutukset Suomeen 2014; Merikuljetukset Suomessa 2014.)

Mikäli rikkipesurit ja niihin liittyvä teknologia, ja niiden vaatima muu infrastruktuuri kuten likaisen pesuveden poisto satamissa saadaan toimimaan, pysyy raskaat rikki-pitoiset polttoaineet valikoimissa. Mikäli rikkipesurit epäonnistuvat tehtävässään eikä niitä saada myytyä tarpeeksi paljon, tulee rikkipitoisten polttoaineiden valikoima ilman muuta laskemaan. Nämä polttoaineet tullaan siirtämään muille markkinoille, eli SECA-alueen ulkopuolelle.

#### 4.1 Rikkipesuri

Rikkipesuri on moniosainen aluksen pakokaasulinjaan asennettava järjestelmä. Alla on selitetty niin sanotun suljetun kierron (*closed loop*) pesurin toiminta. (Understanding exhaust gas systems 2012, 14-15.)

Konehuoneen yläosaan turboahtimen ja pakokaasukattilan perään pakoputkistoon asennetaan sylinterimäinen pesurisäiliö, eli *scrubber*. Tähän pesuriin johtaa nestelinjat merivettä sekä nesteytettyä natriumhydroksidia, eli lipeää, mitä tarvitaan tietyissä tapauksissa. Lipeä on voimakkaan alkalinen aine. Veden ja lipeän liuos suihkutetaan pesukammioon, minkä läpi pakokaasu kulkee. Pesurikammiossa vesi pesee pakokaasut ja lipeän alkalisuus neutraloi rikin. Tämä veden, lipeän ja rikin seos ohjautuu pesurin pohjalle, mistä se otetaan talteen linjastoa pitkin. Tämä jäteneste vietään putkea pitkin puhdistuslaitteistoon, joka nykyratkaisujen mukaan on toteutettu esimerkiksi merikontin sisään aluksen kannelle, mikäli pesurijärjestelmä on jälkikäteen asennettu eikä mahdu itse aluksen sisätiloihin.

Puhdistuslaitteistossa jäteneste vietään monimutkaisen laitteiston läpi. Tarkoituksena on, että rikkisakka saadaan eroteltua nesteestä. Tämä tapahtuu altaassa, jonka pohjalta

muodostetaan pintaan nousevia erittäin pieniä ilmakuplia. Ilmakuplat nostavat rikkisakan pinnalle. Altaan pinnalla liikkuu eräänlainen kaavin, mikä kaapii pinnalle noussutta sakkaa talteen. Kaavinnan sijasta käytössä voi myös olla eräänlainen imuun perustuva tekniikka. Lipeäpitoinen sakka säilötään ja poistetaan aluksesta maihin satamakäynnin aikana, kun sille tarkoitettu säiliö tulee täyteen. Jäljelle jäävä pesuvesi poistetaan mereen puhtaana.

Rikkipesurin toimintaan saattaminen on ollut haasteellista meriolosuhteissa. Puhdistuslaitteiston kupla-allas on ollut erityisen vaikea toteuttaa usein heiluvaan ja kallistelemaan alukseen. Yhtäläillä vaikeaa näissä olosuhteissa on ollut sakan kaapiminen nesteen pinnalta. Imuun perustuva tekniikka on tässä tapauksessa hieman luotettavampi (Talouselämä 19/2014).

Rikkipesuri vaatii tietyissä olosuhteissa toimiakseen lipeää, joka on erittäin vaaralliseksi luokiteltu syövyttävä alkalinen aine. Tällainen lipeää vaativa erityisolosuhte tulee vastaan, kun rikkipesuria on tarkoitus käyttää makeassa vedessä. Makean veden alkalipitoisuus ei ole riittävän korkea rikin neutralisointiin. Esimerkiksi Itämeren murtovedessä pesuria käytettäessä on lisääkalia usein lisättävä pesuveteen.

Alukseen täytyy rakentaa tässä tapauksessa erityinen säiliö lipeälle. Lisäksi toinen säiliö vaaditaan käytetyn pesuveden talteenotolle ja pestylle sakalle. Näiden säiliöiden on mahduttava alukseen. Lisäksi pesurin, laitteiston ja säiliöiden välille joudutaan rakentamaan paljon putkistoa. Luonnollisesti aluksen vakavuuskriteerit on täytyttävä kaikissa oloissa.

Lipeän käyttö rikkipesurissa vaatii myös miehistön kouluttamisen tuntemaan aineen riskit. Ainetta joudutaan aluksessa poistamaan ja lisäämään pesurin käytön mukaan. Säiliön lisäksi lipeä vaatii vaarallisten ominaisuuksiensa vuoksi omat turvajärjestelynsä. Hätäsuihkuja joudutaan asentamaan tankkauspisteen luo sekä hankkimaan alukselle asianmukaisia suojarusteita käytettäväksi tankkausten ja poistojen yhteydessä. Alukselle on myös laadittava lipeään liittyvä harjoitussuunnitelma normaalien hengenpelastus- ja paloharjoitusten lisäksi. Tämä luo lisää työkuormaa harjoituksista vastaavalle miehistölle.

Joissakin rikkipesurimalleissa lisääalkalia eli lipeää ei tarvitse lisätä. Tämä yksinkertaistaa järjestelmän toimintaa ja ennen kaikkea luo säästöjä laitteiston käytössä ja asennuksessa. Näitä ovat niin sanotun avoimen kierron (*open loop*) pesurit. Niissä merivesi kiertää järjestelmän läpi pesuvedenä, joka lopulta lasketaan takaisin mereen. Wärtsilän uusi *open loop* -pesuri toimii myös Itämerellä, vaikka meren alkalipitoisuus on matala. Ainoastaan Suomenlahden pohjukassa Pietarin edustalla veden alkalipitoisuus laskee liian alhaiseksi. On myös olemassa hybridijärjestelmiä, joissa on yhdistettynä sekä avoimen että suljetun kierron periaatteet. Halutessaan voi alus esimerkiksi käyttää avointa kiertoa avomerellä navigoidessaan ja sitten vaihtaa suljetulle kierrolle rannikon läheisyydessä, kun rikkipesuvesiä ei haluta päästää ulos vesistöön.

Vakavuuteen vaikuttaa myös pesurisylinterin sijainti. Pesuri asennetaan korkealle laivaan aivan korsteenin läheisyyteen. Pesurisylinteri on varsin raskas rakennelma, joka vaikuttaa oleellisesti aluksen vakavuuteen niin korkealla sijaitessaan. Erityisesti pieni ja kevyt alus on herkkä menettämään vakavuutta. Vakavuutta arvioitaessa myös järjestelmään kuuluvat tankit pesuvesille ja mahdollisesti lipeällekin vaikuttavat kriteereihin. Tämän myötä aluksen vakavuuslaskentaohjelmiin on tehtävä huomattavia muutoksia, jos järjestelmä asennetaan jälkikäteen. Myös itse aluksen runkoon voi olla pakko asentaa vahvistuksia lisäämään runkojäykkyyttä ja pitämään taivutusvoimat luokituslaitoksen sallimissa rajoissa. (Haastattelu 28.8.2014.)

Kaikki tämä rikkipesurin asennuksesta kertyvä paino ja vakavuuden menettäminen vaikuttaa oleellisesti myös kyytiin otettavan lastin määrään, joka on taloudellisesti katsoen tärkeintä aluksen käyttäjälle. Germanischer Lloyd on tutkimuksessaan arvioinut rikkipesurin käyttökustannukseksi USD 5/MWh ja uskoo pesurijärjestelmän nostavan aluksen koneiston kokonaiskäyttökustannuksia 20% (Andersen, M., Clausen, N. & Sames, P. 2011, 6). Itse pesuri asennuksineen ja aluksen uudelleen luokituksineen maksaa kolmesta viiteen miljoonaa euroa (Talouselämä 19/2014).

## 4.2 Vähärikkiset polttoaineet

Vähärikkisempien polttoaineiden, kuten MGO:n ja MDO:n käyttö voi mahdollisuuksien mukaan yleistyä. Näitä käytetään jo nykyisin aluksen energiantuotantoon sen ol-



lessa satamassa. Näiden vähärikkisten polttoaineiden tuominen koko Itämeren ja Pohjanmeren alueella toimivien alusten käyttöön tulee olemaan monimutkaista. Nykyinen jalostuskapasiteetti ei riitä ruokkimaan koko Itämeren ja Pohjanmeren aluskantaa, mikäli kaikki - tai suuri osa - alueella operoivat alukset ryhtyisivät käyttämään näitä polttoaineenaan. Tällainen tilanne, jossa kysyntää olisi valtavasti ja tarjontaa vähän, johtaisi luonnollisesti hintojen nousuun, koska tuotetta on rajoitetusti. Tämä voisi myös heijastua maapuolelle dieselöljyn nousevassa hinnassa, mikäli laivat veisivät suurimman osan markkinoiden dieseltisleistä. MGO ja MDO ovat öljynjalostusketjun loppupäästä saatavia tuotteita. Tämä tarkoittaa sitä, että näiden polttoainelaatujen saaminen on kallista, koska niiden tuottamisen saavuttaminen on pidemmän ja monimutkaisemman prosessin takana. (Notteboom, T., Delhaye E. & Vanherle K. 2010, 2-9.)

Aluksen alkuperäinen raskasta polttoöljyä käyttävä moottori voidaan muuttaa käyttämään MGO:ta ja MDO:ta. Raskasöljyllä käyvä koneisto käy luonnostaan myös kevyellä polttoöljyllä. Koneisto saadaan toimimaan parhaalla hyötysuhteella tässä tapauksessa vain pieniä säätötekniisiä muutoksia tekemällä. Myös polttoainesäiliöiden pesu raskaan polttoöljyn jäljiltä on vahvasti suositeltavaa. Tällainen koneistopäivitys on huomattavasti halvempi ratkaisu, kuin rikkipesurin asentaminen tai koneiston kokonaisuudistus LNG-käyttöiseksi.

On arvioitu, että muutos kevyempien polttoaineiden käyttöön maksaisi keskimäärin joitakin satoja tuhansia euroja. Rikkipesurin hinta voi vaihdella 3 – 5 miljoonan euron välillä. (Tekniikka & Talous 8.2.2014.)

Tämän edullisemman modifikaation tehtyään alus pääsee käyttämään puhdasta, mutta kallista polttoainetta.

### 4.3 Nesteytetty maakaasu

Nesteytettyä maakaasua tullaan tulevaisuudessa käyttämään yhä enemmän alusten polttoaineena. IMO:n ja EU:n ilmastosäädökset ovat nostamassa LNG:n varteenotettavaksi vaihtoehdoksi tulevaisuuden energialähteenä varsinkin Itämeren alueella. Tämä koskee erityisesti Suomea, joka on SECA:n sisällä ja näin ollen osana hyvin tark-

kaa valvontaa merenkulun rikkidioksidipäästöjen suhteen. Ennen kaikkea nämä säädökset tulevat vaikuttamaan Suomen ulkomaankauppaan ja varustamoteollisuuteen negatiivisesti ellei LNG:tä saada pian suomalaisten alusten polttoainevalikoimaan. Vaikka LNG tarjoaa monia erittäin suotuisia etuja on sillä myös omat hankaluutensa, jotka meriteollisuuden täytyy ratkaista.

Nestemäisen maakaasun käyttö edellyttää alukselta tiettyjä erityisominaisuuksia. Esimerkiksi voimantuotantoon on muutamia vaihtoehtoja. Kuten kappaleessa 2.2 kerrottiin, alus voi käyttää polttomootorissa LNG:tä, mutta silloin vaaditaan esipolttoaineen käyttöä, joka voi olla merikoneeseen soveltuvaa dieselöljyä. Jos energia halutaan tuottaa kokonaan ilman nestemäisiä polttoöljyjä, on käytettävä höyrykattiloita ja -turbiinia.

Tämänlainen koneistopäivitys on mahdollista suorittaa telakalla dieselkoneistoiselle alukselle, mikäli alus muuten sellaiseen soveltuu tilojen ja rakenteidensa puitteissa. On silti huomioitava, että alus on pitkään poissa käytöstä eikä tuota mitään. Koneistopäivityksen suunnittelu ja hankinta on myös kallista.

Merimoottoreita valmistava Wärtsilä toimittaa tiettyihin mallisarjoihin suoritettavia *dual-fuel* -päivityksiä, minkä jälkeen moottori voi käyttää dieselin lisäksi myös nestemäistä maakaasua. Tällaisen suoran päivityksen ollessa mahdollinen päästään välttymään kokonaisen uuden koneistojärjestelmän hankkimiselta. Moottoripäivityksen lisäksi alukseen täytyy myös asentaa säiliöt LNG:lle. Nämä erikoisvalmisteiset säiliöt vievät enemmän tilaa kuin perinteiset polttoainesäiliöt, koska nestemäisellä maakaasulla on pienempi tiheys kuin polttoöljyillä. Lisäksi säiliön rakenne vie enemmän tilaa, koska lämpöeristeen täytyy antaa riittävä suoja ulkoisilta lämpövaikutuksilta. Aluksen LNG-säiliöiden täytyy siis olla suuremmat kuin vastaavan toimintasäteen mahdollistavat perinteiset säiliöt öljypolttoaineelle.

Aluksen LNG-säiliöt voivat tilavaatimuksensa vuoksi viedä arvokasta tilaa lastikapasiteetista suuren tilavaatimuksen vuoksi. Vaikka LNG on aineena kevyempää kuin muut polttoaineet, silti sen säiliön sijainnin ja koon vaikutus aluksen vakavuuteen voi olla suurempi. (Danish Maritime Authority 2012, 60.)

Kun huomioidaan kaikki kustannukset rikkipitoisella polttoaineella käyvän aluksen saattamisesta maakaasukäyttöiseksi voidaan todeta, että investointi voi käydä varsin kalliiksi suhteutettuna aluksen arvoon. Lisäksi se tuo mukanaan paljon vaikeita kohtia, kuten teknologioiden yhteensopivuusongelmia ja vakavuuteen sekä lastikapasiteettiin liittyviä kompromisseja. Nämä kaikki kulut yhteenlaskettuina voivat olla huomattavan suuri osa koko kyseisen aluksen arvioidusta kokonaisarvosta. Näitä kuluja joutuu punnitsemaan saavutettujen hyötyjen, kuten halvemman polttoaineen kanssa.

Nestemäisen maakaasun käyttöön laivapolttoaineena liittyy useita tällä hetkellä kehitteillä olevia turvastandardeja ja kansainvälisiä sopimuksia. Lyhyesti tarkasteltaessa turvanormeissa lähdetään siitä vaatimuksesta, että uusi kaasulla toimiva järjestelmä on yhtä turvallinen kuin perinteinenkin öljypohjainen systeemi. Laitteiden määrä kaasuvuodoille alttiissa paikoissa on rajoitettava siten, etteivät henkilöt joudu jatkuvasti laitteita käyttäessään ylimääräisen riskin kohteeksi. LNG säiliöiden täytyy olla siten sijoitettu ettei viereisten tilojen laitteet tai henkilöt tulen tai räjähdysten sattuessa joudu välittömään vaaraan. Propulsio- ja sähkökoneisto kannattaa suunnitella siten, että rajoitettu toiminta säilyy ilman kaasuaikin onnettomuustilanteessa. Erityisesti hätägeneraattorin täytyy olla perinteiseen tapaan dieselkäyttöinen ja täysin itsenäinen kokonaisuus, koska sen toiminta on taattava sellaisessa tilanteessa missä aluksen kaikki muut järjestelmät ovat poissa käytöstä.

Nestemäisen maakaasun käyttöön on kohdistettava varovaisuutta. Kaikkien riskialttiiden prosessien, kuten kokonaisen aluksen rakennus tai polttoainetäydennyksen tekeminen täytyy tehdä kaikki riskit arvioiden ja ammattitaidolla. Fossiilipohjaisena polttoaineena maakaasu rinnastetaan herkästi öljyyn mediassa. Öljyonnettomuuksien tavoin pienikin maakaasun käyttöön liittynyt tapaturma, suurempi vuoto tai aluksella sattunut tulipalo voi saada helposti paljon medianäkyvyyttä ja sitä kautta asettaa koko LNG-teollisuuden huonoon valoon. Mikäli uudet nestemäiseen maakaasuun liittyvät investoinnit ja hankkeet halutaan pitää houkuttelevina on pakko panostaa kokonaisuuturvallisuuden pienistäkin seikoista lähtien, koska sitä kautta on tehokasta rakentaa koko alan imagoa ja haluttavuutta. Erityisesti tällä hetkellä, kun alan teollisuus on vasta hiljattain lähtenyt kunnolla kasvuun ja laajentunut merenkulkuun ja sitä kautta glo-

baaliksi ilmiöksi. Tällä hetkellä LNG kantaa erinomaista turvallisuushistoriaa. (Danish Maritime Authority 2012, 208.)

Nykyään liikenteessä olevat LNG-tankkerit käyttävät polttoaineenaan lastin *boil-offia* mikä poltetaan kattiloissa höyryturbiinille (Clucas 2013, 2). Höyrytubiini mahdollistaa myös muunlaisten polttoaineiden käyttämisen kattilan lämmitykseen. Alus voisi esimerkiksi vaadittavan esipolttoaineen lisäksi pitää mukanaan enemmänkin kevyttä polttoöljyä hätävarastona esimerkiksi kaasulaitteistoihin liittyneiden ongelmien varalta tai kaasun tilapäisen saatavuuden väliaikaisesti laskettua. Myös raskaan polttoaineen polttaminen kattilassa onnistuu, mikä olisi taloudellisempaa. SECA-alueella tämä ei kuitenkaan tule onnistumaan rikkipäästöäädösten vuoksi.

Höyryturbiinin käytöstä on ylläpidollisesti taloudellisia hyötyjä verrattaessa polttomoottoriin. Höyryturbiinin huoltokustannukset ovat pieniä eikä sen käytössä tarvita voiteluöljyäkään yhtä paljon kuin dieselmoottorin tapauksessa.

Höyryturbiineilla on kuitenkin huono terminen hyötysuhde verrattaessa uusimpiin kaasua käyttäviin keskinopeisiin dieselmoottoreihin. Tästä syystä ne eivät sovellu LNG-käytössä muihin kuin itse kaasua kuljettaviin tankkialuksiin, koska polttoainesäiliöiden pitäisi olla liian suuret verrattuna aluksen kokoon ja sen rahtikapasiteettiin. Turbiineiden tuotanto on myös harvassa nykyisin ja mahdolliset laiterikot pitäisivät aluksen pitkään toimintakyvyttömänä varaosaa odoteltaessa. (Clucas 2013, 4.)

Uudet kaasukäyttöiset polttomoottorit voivat toimia myös kahdellakin eri polttoaineella luoden vielä varmemman toiminnan niissä tapauksissa missä LNG:tä ei ole hetkellisesti saatavilla. Uusi moottoriteknologia mahdollistaa polttoaineen vaihdon jopa moottorin ollessa käynnissä. Tämä uusi tekniikka on hiljalleen johtanut kaasukäyttöisten höyryturbiineiden tilausten laskuun. Lisäksi nämä uudet moottorit pysyvät paremmassa kunnossa pidempään LNG:n puhtauden vuoksi vähentäen moottorin käytöstä johtavia ylläpitokustannuksia (Herdzik 2011, 171).

## 5 ALUKSEN POLTTOAINETÄYDENNYS

Kaikilla nesteytetyn maakaasun parissa työskentelevillä on oltava aineen vaaraominaisuudet selvillä. Vain asianmukaisen koulutuksen saanut henkilökunta saa käsitellä nestemäistä maakaasua. Toimenpiteiden jokaisen askeleen suorittamista tulee valvoa tarkasti. Tarkistuslistojen täyttö on ensiarvoisen tärkeää, jotta polttoainetäydennyksen yhteydessä työskentelevä ryhmä pysyy perillä toimenpiteiden järjestyksestä ja tilanteen kokonaiskuvan selvästä piirtymisestä.

### 5.1 Säädökset ja koulutus

IMO on STCW yleissopimuksessaan määrännyt, että aluksen miehistöllä pitää olla kaikki osaaminen ja kokemus aluksen turvallisen käytön varmistamiseksi. Polttoaineen oikeaoppinen ja turvallinen käsittely on oleellinen osa aluksen turvallista käsittelyä, koska polttoaineisiin liittyy aina hengenvaarallisia riskitekijöitä. Nestemäisen maakaasun käsittelyssä erityisesti säiliön tilan valvonta, painemuutoksien tulkinta ja niiden vaihteluihin reagointi on eräs tärkeimmistä aineen käsittelyyn liittyvistä vaatimuksista. (Karvonen 2013, 39.)

Jos LNG:n käytön ja kuljetuksen halutaan jatkuvan merenkulussa yleisesti maailmalla toivotulla ja nyt jo alkaneella tavalla, täytyy sen käsittelylle ja kuljettamiselle muodostaa yhtenäiset maailmanlaajuisesti käytetyt IMO:n alaiset standardit. Tällä hetkellä IMO:lla ei ole suoria erityisvaatimuksia LNG:tä aluksilla käsittelevää miehistöä kohtaan. Voimassa olevat vaatimukset aineeseen perehtymisestä johtuvat STCW:n sisältämästä yleisestä aluksen täydelliseen perehdyttämiseen viittaavasta osiosta ja miehistöltä vaadittavasta minimitaso-osaamisesta. Myös EMSA on ilmaissut huolensa yleisen standardin puuttumisesta muun muassa polttoainetäydennyksen yhteydessä. Tällä hetkellä eri bunkraussatamissa on voimassa eriäviä paikallisia tapoja ja ympäristöjä. EMSA arvioi, että nämä eriävät tavat johtavat koko toimintaympäristön pirstaloitumiseen ja vaaratilanteiden syntyyn. Lisäksi on myös mahdollista, että kun kansainväliset standardit saadaan lopulta luoduksi voi niiden implementointi olla hidasta ja kallista, kun taustalla vaikuttavat jo juurtuneet paikalliset tavat. EMSA toivoo myös selvitystä

ja standardisointia liittyen yhtäaikaisiin bunkraus- ja lastausoperaatioihin käytettäessä LNG:tä. (Langfeldt, L. & Pewe, H. 2013, 83-85.)

Tällä hetkellä IMO:ssa on vireillä totaalisen koulutuksen suunnittelu aluksen miehistölle ja erityisesti sen konemiehistölle heidän yleensä ollessa aluksella ensisijaisessa vastuussa polttoaineen käsittelystä.

Tämä IGF-nimellä kulkeva säännöstö on arvioitu valmistuvan ja julkaistavan aikaisintaan heinäkuussa 2017. Seuraavan kerran projektia ohjaava IMO:n komitea kokoontuu syksyllä 2014 käsittelemään kokonaisuutta. IGF:n voimaan tullessa kaikki LNG-käyttöiset alukset ovat sen alaisia. Tämä uusi koodi tulee myös käsittelemään ennen kaikkea LNG-käyttöisen aluksen bunkrausasemaa luoden sille rakenne- ja turvallisuusvaatimukset. Ennestään käytössä on ollut IGC-koodi, mutta se koskee vain LNG-tankkereita ja pienempiä bunkrausproomuja. IMO on tekemässä myös muutoksia SOLAS:n rakenteeseen siinä mielessä, että IGF:stä on tulossa SOLAS:n mukaan pakollinen nestemäistä maakaasua tai muuta alhaisen leimahduspisteen omaava ainetta polttoaineena käytävällä aluksella. (IMO progresses IGF Code 2013; Revised IGF Code agreed by Sub-Committee 2013.)

IMO:n vielä tällä hetkellä kehittäessä omia standardejaan on teollisuudessa mukana olevat isot tahot kehittäneet omia vapaaehtoisia vaatimuksiaan edistääkseen turvallisuuskoulutusta. Esimerkiksi SIGTTO järjestää LNG-pätevöitymiseen johtavia koulutuskursseja. Tämä SIGTTO:n kurssi kattaa lähinnä bunkraustoimintojen turvallisen suorittamisen ja lastinvalvonnan – ei aluksen sisäisiä operaatioita merimatkojen aikana tai muita laitteiston huoltoihin liittyviä seikkoja. SIGTTO on myös laatinut minimivaatimukset LNG-tankkereiden vanhemmalle päällystölle, mikä tekee heidän koulutustasostaan yhden koko meriteollisuuden korkeimmista. (Clucas 2013, 1-2.)

Täydellisen turvaohjeistuksen ja koulutusvaatimuksen laatimisella on jokseenkin kiire. Tällä hetkellä maailman merillä kulkee noin 50 LNG-käyttöistä alusta ja uusia varmistettuja alusprojekteja on työn alla toiset 50 kappaletta. Projektien valmistuessa tämä tarkoittaa, että vuoteen 2018 mennessä maailmalla kulkee jo lähes 100 LNG-käyttöistä alusta. Tämä luku ei sisällä LNG-tankkereita eikä sisävesialuksia. Luvun on

oletettu kasvavan, koska LNG-trendi on nyt suosiossa hyvin edistyvien terminaali-hankkeiden myötä monessa paikassa maailmalla. (Eknes 2014, 7.)

Luonnollisesti nämä lukuisat uudet alukset tarvitsevat perehdytetyn ja osaavan miehistön. Tällä hetkellä maailmalla on vain vähän osaavaa, lähinnä vain tankkereiden tai terminaalien parissa työskennellyttä LNG-miehistöä. Tämän vuoksi nopeaa vauhtia kasvava maailman LNG-tonnisto tulee pahimmillaan kärsimään pätevytyneen miehistön pulasta, ellei LNG-koulutusta saada IMO:ssa pian valmiiksi ja virallisia sen mukaisia erikoiskursseja maailmalla käyntiin. Osaavan ja sertifioidun työvoiman pula saattaa myös levitä maihin, mikäli uudet säännöt vaikuttavat maapuolen toimintoihin, kuten terminaaleihin. On toivottavaa, että myös Suomessa luotaisiin mahdollisuudet suorittaa näitä erityiskursseja. Tällä tavoin LNG:n käyttö aluspolttoaineena saisi entistä vahvemman sijan maassamme.

Tällä hetkellä virallisimmat määräykset koulutuksesta antaa IMO:n alaisen MSC:n julkaisema väliaikainen ohjeistus miehistön kouluttamisesta. Ohjeistusdokumentti MSC285(86) on saatavilla IMO:n internetsivuilla. Varustamon johdon on LNG-käyttöisen aluksen hankkimista suunnitellessa tutustuttava dokumenttiin perinpohjaisesti. Osia dokumentista voisi liittää myös aluksen turvamanuaaliin ja siten saattaa luettavaksi myös aluksen miehistölle. Tiivistettynä ohjeistus on melko löyhästi ilmaistu, mikä ennestään kannustaa IMO:a kiirehtimään uuden IGF-koodin valmistelua. Ohjeistuksessa miehistön koulutustasot on jaettu kolmeen kategoriaan:

- A. – Luokka: Peruskoulutus kaasusta miehistölle
- B. – Luokka: Täydennyskoulutus kansipäällystölle
- C. – Luokka: Täydennyskoulutus konepäällystölle

A-, B- tai C-luokan koulutuksen todistaa mikä tahansa kaasualan koulutusta järjestävän tarjoajan kurssitodistus. Suomessa vaatimusten mukaista koulutusta tarjoaa Suomen Kaasuyhdistys ry. Varustamon on dokumentoitava, että aluksen miehistö on käynyt vaadittavat koulutukset ennen aluksella työskentelyä ja myös ylläpitää niistä saamia tietoja ja taitoja. (Karvonen 2013, 24-25.)

Koska nestemäisen maakaasun käyttö aluspolttoaineena eroaa fundamentaalisin osin öljypohjaisista polttoaineista niin kemialtaan, tekniikaltaan, vaaratekijöiltään kuin myös miehistöltä vaadittavalta koulutukselta, on alukselle laadittava erityinen koulutusmanuaali LNG-järjestelmille. Sen tulee pitää sisällään koulutus- ja harjoitusohjelma miehistölle laitteistojen käyttöön ja riskitilanteisiin. Kuten muita pelastus- ja palo-harjoituksia on myös kaasuun liittyviä harjoituksia järjestettävä säännöllisin väliajoin. (Karvonen 2013, 60-62.)

## 5.2 Polttoainetäydennyksen vaaratekijät

Turvallisen polttoainetäydennyksen varmistamiseksi on aluksilla yleisesti käytössä niin sanottu toimenpidekortti. Tähän aluksilla kutsuttuun tarkistuslistaan merkitään polttoainetäydennyksen jokaisessa vaiheessa suoritettut toimenpiteet ja niihin mahdollisesti liittyneet ongelmat lisämerkinnöin. Tarkistuslistan tarkoituksena on varmistua, että prosessi etenee suunnitellulla tavalla ja turvallisesti. Polttoainetäydennyksen jälkeen dokumentti arkistoidaan varustamon määräämäksi ajaksi myöhempää käyttöä varten, mikäli tehtyyn tarkistuslistaan joudutaan viittaamaan esimerkiksi epäselvissä tilanteissa. Samanlaisia tarkistuslistoja on aluksilla jo valmiiksi yleisesti käytössä eri toimintoihin liittyen, joten sellaisen toteuttaminen nestemäisen maakaasun polttoainetäydennykseen ei ole lainkaan vaativaa jo ennestään perinteisen polttoainetäydennyksen tuntevalle alushenkilökunnalle. (Karvonen 2013, 42-43.)

On huomioitava, että LNG:n tapauksessa maakaasu on nesteytetty jäähdyttämällä – ei paineistamalla. Aine on koko ajan ilmakehän normaalipaineessa. Mikäli tuota ainetta sisältävä putki tai säiliö halkeaa, ei seurauksena ole välitön räjähtäminen. Aine alkaa sen sijaan höyrystyä lämmitessään ja muodostaa tästä syystä suihkuavan vuodon avautuneeseen kohtaan.

Maakaasun nesteyttämiseen on olemassa eri tekniikoita, joista jäähdyttäminen on yleisin. Myös yhtäaikainen paineen lisääminen jäähdytyksen ohella on mahdollista. Tällöin kaasua ei tarvitsisi jäähdyttää -70 celsiusastetta alhaisemmaksi, mutta säiliön sisälle muodostuu korkea ylipaine. (Haastattelu 28.8.2014.)



Aluksen mennessä telakalle pidemmäksi aikaa LNG säiliöt täytyy mahdollisesti tyhjentää aineen höyrystymisen vuoksi. Tyhjentämisen tarve riippuu aineen määrästä säiliössä, telakoinnin pituudesta ja siitä mitä aluksen järjestelmiä täytyy kytkeä pois päältä telakoinnin aikana huoltojen ja korjausten vuoksi. Kirjoitushetkellä on epäselvää miten mahdollinen tyhjennys suoritettaisiin. Kyse on kalliista polttoaineesta, joka mielellään telakoinnin jälkeen halutaan takaisin ellei sitä voi myydä voitolla.

### 5.2.1 Räjähdyksivaara

Aluksen LNG-säiliön tulee olla vapaa ilmasta, eli se ei saa sisältää happea. LNG palaa vain höyrystyneenä sekoittuneen ilman kanssa. Kun polttoainesäiliössä ei ole syttyvän seoksen mahdollistavaa happea, ei myöskään sen sisällä oleva polttoaine voi syttyä. Säiliöt tulee aina olla varustettuna happipitoisuuden ilmaisevilla etäluettavilla mittareilla. Säiliön sisällä suljetussa tilassa voi muodostua räjähdysvaara, mikäli ilmassa on syttymispitoisuudelle vaadittu määrä kaasun ja ilman sekoitusta sekä kipinän tai maakaasun itsesyttymisrajan saavuttava lämmön lähde. (Karvonen 2013, 22-23.)

### 5.2.2 Syttymisvaara

Nestemäinen maakaasu höyrystyessään pääsee muodostamaan ilman kanssa syttyvän kaasuseoksen. Sen ei tarvitse lämmetä leimahduspisteeseen, koska sen leimahduspiste -188 celsiusasteen lämpötilassa on jo kylmempi kuin itse nestemäinen maakaasu. Koska nestemäinen maakaasu höyrystyy todella nopeasti, se ei varsinaisesti ehdi muodostaa syttyviä kaasuja avoimessa ulkotilassa kaasun edetessä nopeasti niin laajalle alueelle. Usein vain pieni alue mahdollisen vuotokohdan läheisyydessä voi olla syttymiskelpoinen. Maakaasuvuoto palaa humahtaen, minkä jälkeen palava kaasu vetäytyy vuotokohdalle. Ulkoilmassa maakaasu ei siis voi palaa räjähtäen. Vuotokohdasta palavan putkistolinjan paras sammutustapa on sulkea putkeen kaasua päästävä venttiili ja antaa putken palaa tyhjäksi. (Karvonen 2013, 20-23.)

### 5.2.3 Kryogeeniset vaarat

Nestemäisen maakaasun lämpötila on erittäin alhainen, eli se on niin sanottu kryogeeninen aine. Kryogeenisiä aineita ovat alle -150 celsiusasteiset aineet. LNG lukeutuu sellaiseksi -162 celsiusasteen lämpötilallaan. (Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet – metaani 2014.)

Näin kylmät aineet muodostavat riskin sekä sen käsittelijöille, että myös kiinteälle ympäristölle, kuten aluksen rakenteille joita ei ole suunniteltu kohtaamaan erityisen matalia lämpötiloja. Nestemäisen maakaasun päästessä läikkymään vaatteille, iholle tai silmille on henkilön vaarana saada vakavia paleltumisvammoja. Vastaavasti suurissa määrissä aluksen rakenteisiin päästessään nestemäinen maakaasu voi aiheuttaa runkovaurioita mikäli kylmä aine pääsee vaikuttamaan metallirakenteiden lämpölaajenemiseen. Kylmästä haurastuneen metallin erottaa silmämääräisesti ruskeasta väristä ja purumaisesti irtoavasta rakenteesta. Ruostunut metalli irtoaa lastuina lohkeillen. (Karvonen 2013, 21-22.)

Nestemäinen maakaasu höyrystyy todella nopeasti sen päästessä vapaaksi paineistetusta säiliöstä. Höyrystynyt maakaasu on yhä erittäin kylmää ja sen hengittäminen tai nieleminen aiheuttaa kehonsisäisiä paleltumisvammoja. Lisäksi metaanin päästessä aluksen sisätiloihin se syrjäyttää hapen ilmasta. Tästä voi seurata tukehtumisvaara, mikäli tiloissa ei ole käytössä tehokasta tuuletusjärjestelmää. (Karvonen 2013, 21-22.)

Polttoainetta lastatessa juurikin nestemäisen maakaasun erittäin matala lämpötila voi olla sen suurin riski. Polttoainelinjojen kiinnityksestä - ja kiinnityksen pitämisestä tulee varmistua, etteivät linjat pääse paineen kasvaessa irtautumaan ja aiheuta siten aineen roiskumista ympäristöön. Aluksen polttoaineliittimen yhteyteen tulee asentaa tarpeeksi suuri kryogeenisiä lämpötiloja kestävä valuma-allas. (Karvonen 2013, 21-22.)

#### 5.2.4 Nopea höyrystyminen

Veden kanssa kosketukseen päästessään nestemäinen maakaasu höyrystyy erittäin nopeasti kiehuessa. Höyrystyminen vedessä on huomattavasti voimakkaampaa kuin ilmassa. Ilmiö muistuttaa ruuan uppoamista. Sellaisessa tilanteessa, jossa esimerkiksi laiturialueella polttoaineen siirtolinjan liitin on jostain syystä auennut ja nestemäistä maakaasua pääsee valumaan suurella volyymilla mereen on muistettava erittäin kylmän höyryn vaarat. Höyrystä on pysyttävä erossa ja linja suljettava mahdollisimman nopeasti. Nestemäistä maakaasua ei ole mahdollista saada vedestä enää talteen vaan sen annetaan höyrystyä loppuun. (Karvonen 2013, 23.)

#### 5.2.5 Lastin sekoittuminen

Kuten muitakin polttoaineita, myös nestemäistä maakaasua löytyy markkinoilta useaa eri laatua. Niiden puhtaudet ja tiheydet sekä lämpötilat voivat vaihdella niille sallittujen rajojen sisällä. Tämä voi johtaa siihen, että polttoainesäiliöön otettava uusi polttoaine eroaa hieman jo siellä olleesta. Yleisesti säiliöt eivät ikinä ole täysin tyhjiä, kun sinne otetaan täydennystä. Tästä syystä aineet eivät pääse täysin sekoittumaan keskenään, koska tiheydeltään pienempi polttoainelaatu jää tiheydeltään raskaamman päälle samaan tapaan kuten öljykerros pysyy veden päällä. Näin ollen aineet kerrostuvat toistensa päälle.

Kahden erilaatuisen kerroksen lämmitessä syntyy ongelmia. Aineen lämmitessä sen tiheys pienenee ja pienemmän tiheyden omaava nestemäinen aine pyrkii kohoamaan pinnalle. Kun LNG lämpenee tankissa ja kohoaa pinnalle se höyrystyy lopulta. Koska kerrostuneen säiliön ylin kerros on tiheydeltään keveintä, se höyrystyy ensiksi.

Samaan aikaan säiliön alempi kerros vastaavasti lämpenee ja sen johdosta pyrkii pintaan kohti höyrystymään. Korkean säiliön alaosiin vaikuttava hydrostaattinen paine kuitenkin estää siellä olevan lämpimän nesteen nousemisen pintaan. Alaosassa oleva lämmin neste jatkaa lämpenemistään ja sen myötä sen tiheys vastaavasti pienenee sen kuitenkin nousematta pintaan.

Kun yläkerroksen (alun perin kevyempi aine) tiheys kasvaa ja alakerroksen (alun perin raskaampi aine) aineen tiheys pienenee ovat lopulta aineiden tiheydet yhtä suuret. Tämä johtaa äkilliseen aineiden sekoittumiseen. Aineiden sisäiset pienet lämpötilaerot pyrkivät nopeasti tasoittumaan ja tämä aiheuttaa äkillisen massiivisen höyrystymisen. Massiivisen höyrystymisen myötä säiliöön muodostuu suuri ylipaine, joka voi aiheuttaa merkittäviä vaurioita säiliön ja aluksen rakenteisiin. Säiliön ylipaineventtiilin tarkoitus on päästää säiliöön muodostunut ylipaine automaattisesti ulos ehkäisten mahdolliset vauriot.

Kaasuteollisuudessa tätä lastin sekoittumista kutsutaan englanninkielisellä termillä *rollover*. Jotta lastin sekoittumiselta vältyttäisiin on pyrittävä lastaamaan yhteen tankkiin alkuperäiseltä tiheydeltään mahdollisimman samanlaatuisia aineita. Säiliötä lastattaessa voidaan siellä jo olevan ja sinne tulevan aineen sekoitusta vauhdittaa määrien ollessa pieniä, jolloin muodostuvat höyrystymiset ovat myös vielä pieniä. Säiliötä ei myöskään saisi jättää käyttämättä seisomaan huomattavan pitkäksi aikaa, vaan sen sisältöä tulisi kierrättää vaikka ainetta ei käytettäisikään. Lisäksi lastin sekoittuminen voidaan välttää *boil-offin* jatkuvalla tarkalla seurannalla, jotta säiliön äkillisesti kohoavaan paineeseen voidaan reagoida ajoissa. Sekoittumisen vaara on olemassa yhtä lailla maalla kuin merelläkin olevissa säiliöissä. *Rollover* –ilmiötä ei esiinny perinteisiä polttoöljyjä käyttävillä aluksilla, joten sen havainnointi ja estäminen vaatii erityistä tarkkaavaisuutta aluksen miehistöltä, kun se on ensi kertaa käyttämässä uuden aluksen laitteistoja ilman valvontaa ja opastusta. (Density Stratification in LNG Storage 1999; What is Rollover Condition in Gas Carrier Ships 2011.)

### 5.3 Polttoainetäydennyksen suoritus

Polttoainetäydennys LNG:n tapauksessa ei varsinaisesti eroa turvallisuus- ja vastuuvaatimuksissa perinteiseen polttoainetäydennykseen, jossa käsitellään polttoöljyjä. Taustalla on sama turvajärjestelmä ja erittäin tärkeä kommunikoinnin ylläpito aluksen polttoaineaseman ja polttoainetta antavan osapuolen välillä. Samat periaatteet polttoainetäydennyksen äkillisestä keskeyttämisestä vaaratilanteen sattuessa ovat voimassa. Yhtälailla polttoaineen ottamista tulee valvoa koko prosessin läpi ja samoin kerätä myös näytteet uudesta aluksen säiliöön tulevasta polttoaineesta. Polttoainetäydennys

aloitetaan, valvotaan ja lopetetaan toimenpidekortin, eli tarkistuslistan mukaisesti. (Karvonen 2013, 37; 39-41.)

Suurimmat erot polttoaineasemassa ovat lähinnä teknisiä laitteistojen toimintaan liittyviä seikkoja ja kaasun luonteesta johtuvia aluksen rakennevaatimuksia. Aiemmin mainittu MSC:n julkaisu MSC285(86) sisältää vaatimukset ja tarkat kuvaukset aluksen polttoaineaseman rakenteesta ja sen yksityiskohdista.

Kaasulinjan saattaminen epäreaktiiviseen tilaan on eräs LNG-polttoainetäydennyksen oleellisia suuria eroja ja prosessi, joka on lähinnä tuttu vain tankkialusten kanssa tekemisissä olleilla. Epäreaktiivisella tilalla tarkoitetaan niiden ulkoisten tekijöiden eliminointia, jotka voisivat aiheuttaa tässä tapauksessa kaasun syttymisen. Tämä tila saadaan aikaan syöttämällä putkistoon niin sanottua suojakaasua, kuten esimerkiksi typpeä. Typettämällä putkisto sen happipitoisuus laskee alle kaasun syttymisrajan, joka estää kaasua syttymästä lainkaan. Aluksen polttoainetäydennykseen käytettävä, kaasuasemalta kaasusäiliöihin johtava tankkausputkisto on aina typetettävä polttoainetäydennyksen jälkeen IMO:n määräyksestä. Epäreaktiiviseen tilaan saattamisista kutsutaan yleensä inertoinniksi, koska suojakaasut ovat niin sanottuja inerttejä kaasuja, joilla on itsessään heikko reaktioalttius minkä vuoksi niillä voidaan luoda epäreaktiivisia ilmatiloja suljettuihin paikkoihin - kuten putkistoon ja säiliöihin. Polttoainetäydennyksestä vastaavan aluksen henkilökunnan on saatava koulutus inertoinnin perusteista ja oman aluksen inertointilaitteistojen käytöstä ennen alukselle tuloa. (Karvonen 2013, 42.)

Nestemäistä maakaasua käsitellessä on ensiarvoisen tärkeää, että käyttäjä todella tietää mitä linjastossa ja säiliössä milläkin hetkellä on, sekä ymmärtää jokaisen työvaiheen riskit ja osaa varautua oikeanlaisella toiminnalla yllättäviin tilanteisiin. Polttoainetäydennyksen perusriskit ovat aivan samat polttoöljyjen ja LNG:n suhteen. LNG ei luo juurikaan uusia varsinaisia riskejä, mutta toki eri tavoin lähestyttäviä. Aineen kryogeeninen luonne on ainoa varsinainen uusi vaara. Peruseriaatteena voidaan pitää, että polttoainetta ei ikinä vuoda ulos linjoista ja happipitoisuudet pysyvät aina rajoitusten mukaisina ettei syttyviä ilman ja kaasun seoksia pääse syntymään.

## 6 INFRASTRUKTUURI

Suomessa ollaan tällä hetkellä investoimassa yli miljardilla eurolla LNG:n jakeluverkkoon. Mukana on monia eri hankkeita ja kehitysyrityksiä. Joihinkin hankkeista ollaan hakemassa tukea myös Euroopan unionilta. Suomeen on selvästi muodostumassa pelikenttä LNG-liiketoiminnalle. Hyvä kilpailu mahdollistaa järkevähintaisen kaasun saatavuuden merenkululle. Tähän mennessä Gasumilla on ollut monopoli Suomen maakaasumarkkinoilla yhtiön tuodessa kaasua putkea pitkin Venäjältä. Nyt uusien kilpailevien yhtiöiden mukaan tultua kuvioihin on tulossa muutos. (Tekniikka & Talous 14.3.2014.)

Suomeen olisi tärkeä saada mahdollisimman pian toimiva LNG-infrastrukturi. Tämä tarkoittaa terminaaleja, joista olisi mahdollista tankata aluksia. Näiden terminaalien kapasiteetin pitäisi olla riittävä kattamaan suomalaisten alusten mahdolliset polttoainetarpeet koko maan alueella. Koko Suomen talouden kannalta olisi oleellista, että tämäntyyppiset polttoaineratkaisut saataisiin pian suunnitteluvaiheeseen ja ennen kaikkea toteutukseen.

Mikäli LNG:tä ei saada pitkään aikaan suomalaisille aluksille, joutuvat ne käyttämään jatkossa huomattavasti kalliimpaa kevyttä polttoöljyä. Tämä ei ole hyväksi varustamoteollisuudelle, Suomen teollisuudelle, Suomen kuluttajahinnoille eikä yleiselle kilpailun reiluudelle Euroopassa. Suomen Varustamoliitto on arvioinut, että vuoden 2015 uudesta rikkipestörajasta koituu Suomen varustamoteollisuudelle jopa 600 miljoonan euron vuotuiset lisäkustannukset öljyn nykyisellä hinnastolla. LNG:tä käyttämällä nämä kulut saataisiin pienennettyä.

Mahdolliset LNG-terminaalit loisivat myös lukuisia työpaikkoja ja edellyttäisivät ammattitaidon kehittymistä. Valtio voisi saada projekteista sijoituskohteita. Myös Suomen huoltovarmuus paranisi huomattavasti. Terminaaleihin maakaasua voisi tuoda laivayhteyksillä Euroopasta, Pohjois-Amerikasta ja Afrikasta. Yhdysvaltojen liuskekaasu on vielä nykyisin erittäin halpaa. Tällä hetkellä Venäjä on maakaasun suurin, miltei ainoa myyjä Suomelle. Kun uusia yhteyksiä avautuisi ei riippuvuus yhdestä liittymästä olisi enää niin herkkää. Useiden maakaasulähteiden ja sitä välittävien useam-

pien yritysten saapuminen Suomen markkinoille ajaisi myös kilpailun kautta nykyisiä hintoja alas.

Nestemäinen maakaasu kilpailee nyt kevyen polttoöljyn ja rikkipesurin kanssa. Jos Suomeen ja muuallekin Eurooppaan nousisi merenkulun käyttöä varten kattava LNG-infrastruktuuri, voisi se vaikuttaa myös MGO:n ja MDO:n hintoihin niitä laskien, sillä polttoaineiden kokonaistarjonta kasvaisi. Samoin rikkipesureiden valmistajat joutuisivat tarjoamaan laitteita kilpailun kasvaessa alemmilla hinnoilla, kun markkinoilla olisi vaihtoehtoisia ratkaisuja aluksen rikkipäästöjen kitkemiseen.

## 6.1 Eurooppa

Pohjoismaiden lisäksi myös Länsi- ja Keski-Euroopassa on vireillä useita merenkulun käyttöön suunnattavia maakaasuterminaaliprojekteja. Toteutuessaan nämä tarjoaisivat suomalaisille varustamoille mahdollisuuden bunkrata alus Eurooppaan päin suuntautuvien matkojen loppupäässä. Kun huomioidaan energian ja työn yleisesti kalliimpi hinta Suomessa, tarjoavat nämä terminaalit houkuttelevan vaihtoehdon aluksen bunkraamiselle. LNG tulee olemaan Länsi- ja Keski-Euroopassa selvästi halvempaa, koska sen hinnassa on suoraan säästetty polttoaineen Suomeen kuljettaminen. Varustamot, joiden alukset kiertävät Euroopan kautta takaisin Suomeen tulevat varmasti tankkaamaan siellä missä polttoaine on halvinta, koska kyse on luonnollisesti todella suurista säästöistä.

Kuinka paljon mahdollisia LNG-bunkraussatamia Eurooppaan on lähivuosina nousemassa on vielä avoinna. Monia projekteja on silti jo pitkällä suunnitteluvaiheessa. Kun nämä hankkeet hiljalleen varmistuvat ja niiden rakentaminen alkaa voivat varustamot sitten ryhtyä tosissaan suunnittelemaan LNG-käyttöisten alustensa reiteille bunkrauspisteitä. Muutamasta satamasta voi jo saadakin LNG:tä rekasta, sillä palvelun tarjoamiseen tarvittava infrastruktuuri löytyy. Itse kiinteitä laiturirakenteissa olevia bunkrausliittimiä muille kuin LNG-tankkereille ei vielä ole missään.

On myös vielä epäselvää miten paljon Euroopan vesille ollaan laskemassa maakaasukäyttöisiä aluksia lähivuosien aikana. Olisi viisainta, että uusien alusten rakentaminen

seuraisi terminaaliprojektien valmistumista. Varustamoiden on uusia LNG:llä toimia aluksia harkitessaan ehdottomasti pidettävä silmällä näiden terminaaliprojektien kehittymistä. Tämä ennaltaehkäisisi tilanteen, jossa vesillä on suuri määrä aluksia, mutta vain rajoitetusti harvassa paikassa varteenotettavia bunkraussatamia. Pahimmillaan tämä voisi johtaa terminaalien ruuhkautumiseen ja jopa polttoaineiden ehtymiseen markkinoilta.

Eurooppaan tällä hetkellä muodostumassa oleva LNG-jakeluverkosto ja siihen liittyvä alan yleinen kiinnostus merenkulkua kohtaa muodostavat suomalaisille varustamoille hyvät mahdollisuudet käyttää tulevaisuudessa LNG:tä polttoaineenaan. Euroopan komissio on päättänyt suurista investoinneista Euroopan uuteen LNG-infrastruktuuriin (LNG Bunkering: High Flying in Europe But it's The East That Will Make it Soar 2014, 1-4).

Seuraavaksi esitetään muutamien Euroopan maiden käynnissä olevia LNG-projekteja, jotka voisivat soveltua suomalaisen alusliikenteen käyttöön (GLE LNG Map 2014).

### 6.1.1 Saksa

Saksalainen Bomin Linde LNG on rakentamassa Hampuriin ja Brementen terminaleja. Terminaalien on sanottu avautuvan merenkulun liikenteen käyttöön vuoteen 2015 mennessä. Yhtiö lupaa terminaleistaan LNG:n toimittamista läheisiin vilkkaisiin suomalaistenkin alusten käyttämiin satamiin kuten Kieliin, Lyypekkiin, Rostockiin ja Wilhelmshaveniin. Jakelu tapahtuu todennäköisesti rekoilla ja pienillä proomuilla. Tällä tavoin maakaasun jakelu Saksan rannikoilla voi olla hyvinkin tehokkaasti ratkaistu mikäli terminaalit valmistuvat ajallaan ja aloittavat heti toimintansa. (LNG to be available in Hamburg and Bremenhaven 2013.)

Tammikuussa 2014 yhtiö teki maan ensimmäisen sopimuksen LNG:n toimittamisesta saksalaiselle matkustajalautalle (Bomin Linde LNG and AG EMS conclude first contract 2014).



## 6.1.2 Venäjä

Maantieteellisesti ja taloudellisesti venäläinen maakaasu sopisi hyvin suomalaiseksi aluspolttoaineeksi. Sen läheinen sijainti ja yleisesti kilpailukykyiset hinnat voisivat olla suotuisia varustamoille.

Venäläinen Gazprom lähti mukaan LNG-sektoriin vuonna 2005. Yhtiö suunnitteli Primorskiin LNG-terminaalia 2000-luvun alussa. Projekti kuitenkin hylättiin vuonna 2008. (Kolyandr 2008.)

Yhtiö on nyt myöhemmin palannut LNG markkinoille uskoen alan kasvuun ja tuottoisuuteen (LNG market development 2014). Primorskin LNG projekti on siis otettu yhtiössä takaisin työn alle. Kesäkuussa 2013 yhtiö solmi Pietarin aluehallinnon kanssa yhteisymmärrys- ja yhteistyöpöytäkirjan projektin saattamisesta kunnolla vauhtiin. Terminaalin mahdollinen valmistuminen on vielä melko auki suunnitelmien ollessa vasta näin alkuvaiheessa. Gazprom itse on maininnut, että terminaali voisi olla käytössä vuonna 2018. (Baltic LNG 2014; Gazprom announces new LNG project 2013.)

Itämerelle rakennettavalla uudella terminaalilla Gazprom lähtisi kilpailemaan ranskalaisen Totalin kanssa Euroopan markkinoista. Total toimittaa yhteistyössä venäläisen Novatekin kanssa maakaasua Venäjän Jamalin kaasukentiltä. Vastaavasti Etelä-Euroopassa Gazprom voi kohdata Välimeren arabialaisen ja afrikkalaisen kaasun.

Ukrainan kriisi kesän 2014 aikana kiristi Venäjän ja Euroopan välejä. Venäjän jatkuva uhkailu johti lopulta Euroopan ja Yhdysvaltojen asettamiin talouspakotteisiin maata kohtaan. Yleinen luottamus Venäjää kohtaan laski huomattavasti. Venäjä toimittaa suurimman osan Euroopan maakaasusta, jopa yhteensä 25% koko kaasuntuonnista. Euroopassa on herännyt kriisin aikana pelko siitä voiko Venäjää pitää enää varmana energiantoimittajana, kun maa halutessaan voisi sulkea hanat tilanteen niin vaatiessa tai vaihtoehtoisesti nostaa kaasun hinnan hyvin korkealle. Eurooppa on toki Venäjälle tärkeä kauppakumppani, mutta uudet kaasunostajat esimerkiksi Aasiasta voisivat luoda vaihtoehtoisen asiakkaan maan kaasunviennille. Tällöin maa voisi säilyttää ainakin

osan kaasusta saatavista tuloista ja samalla kohdistaa kovia energiapakotteita Eurooppaan.

### 6.1.3 Puola

Puolan Świnoujścieen ollaan rakentamassa LNG-tuontiterminaalia. Alue sijaitsee Itämeren rannalla Puolan ja Saksan rajan läheisyydessä. Hankkeen takana ovat puolalaiset yhtiöt Polskie LNG ja GAZ-System. Suuren tuontiterminaalin rakentaminen mahdollistaa kaasun kuljettamisen rekalla muuallekin Puolan rannikon satamakaupunkeihin aluksia varten. Terminaalin on tarkoitus valmistua vuoden 2014 loppuun mennessä ja saada ensimmäinen LNG-lasti vuonna 2015. (LNG Terminal in Poland 2014.)

### 6.1.4 Liettua

Klaipedaan on pian valmistumassa kelluva LNG-terminaali. Projektin on tarkoitus valmistua ja olla käytössä vuoden 2015 alussa. Valmistuessaan terminaali on Baltian ensimmäinen. Klaipedan satama pysyy jäättömänä koko vuoden mikä helpottaa yleisesti satamatoimintojen suorittamista – erityisesti bunkraamista.

Terminaali tulee olemaan suuri. Sen vuotuinen kapasiteetti tulee olemaan neljä miljardia kuutiometriä, kun koko Baltian vuotuinen maakaasunkulutus on hieman yli 5 miljardia kuutiometriä.

Talouselämä-lehdessä julkaistussa artikkelissa Liettuan energiaministeri muistuttaa, että vuoden 2014 Venäjän ja Ukrainan väliset tapahtumat ovat lisänneet Liettuan ja koko Baltian halua hakea vaihtoehtoja venäläiselle maakaasulle. (Talouselämä 18/2014.)

### 6.1.5 Hollanti

Vuonna 2011 Rotterdamissa avattiin maan ensimmäinen LNG-tuontiterminaali. Tätä Gate terminal -nimistä laitosta operoi hollantilainen Vopak. Tämä terminaali on kui-

tenkin tarkoitettu suuren volyymin läpivientiin suoraan maan kaasuverkkoon ja teollisuuteen. (Gate terminal 2014.)

Vopak ja Hollannin kaasuverkko-operaattori Gasunie ovat kuitenkin ilmoittaneet suunnitelmistaan rakentaa pienempi break bulk terminaali LNG:n uudelleenjakelua varten. Tästä terminaalista käsin myös aluksen bunkraaminen olisi käytännöllisempää. (LNG Break Bulk Rotterdam 2014.)

Kesällä 2013 Rotterdamissa aloitettiin jo sisämaan liikenteen alusten LNG-bunkraukset Seinehavenin satamassa. Tällä hetkellä mahdollisuus polttoaineen ottamiseen koskee vain jokia pitkin sisämaahan kulkevia pienen tonniston rahtialuksia. (Port of Rotterdam Authority 2013.) Olisi varsin loogista ja taloudellisestikin kannattavaa uusien asiakasmahdollisuuksien myötä, että lähiaikoina mahdollisuus leviäisi muualle Rotterdamiin ja Hollantiin koskemaan isompia avomerellä kulkevia kansainvälisen liikenteen aluksia. Rotterdamissa myydään maailman kolmanneksi eniten polttoainetta aluksille, esimerkiksi vuonna 2012 yhteensä 14 miljoonaa tonnia (LNG Bunkering: High Flying in Europe But it's The East That Will Make it Soar 2014, 1).

#### 6.1.6 Englanti

Vuodesta 2005 Isle of Grainissa on toiminut suuri LNG-tuontiterminaali, Grain LNG. Aiemmin pelkkään energiantuotannon tarkoitukseen suunniteltu terminaali on nyt suunnittelemassa laajennusta. Tämän tarkoituksena on laajentaa toimintaa Englannin energiantuotannon maakaasutuonnista pienemmän skaalan LNG-jakeluun, minkä kohteena olisi erityisesti merenkulun energiatarpeet. (Grain LNG 2014.)

Grain LNG suunnittelee nyt uuden pienemmän terminaalin yhteyteen mahdollisuuksia tankata sekä suoraan aluksia että myös rekkoja, joilla nestemäistä maakaasua voitaisiin viedä muuallekin sitä tarvitseville (Grain LNG 2014).

### 6.1.7 Belgia

Zeebruggeassa toimii suuri LNG-terminaali. Fluxsys –yhtiön hallinnoima terminaali syöttää kaasua eteenpäin naapurimaihin ja syvemmälle Eurooppaan. Zeebrugge muodostaa myös Euroopan spot-markkinakeskuksen LNG:llä käytävässä kaupassa. Zeebruggen terminaalin rooli koko Länsi-Eurooppaan tulevassa nestemäisessä maakaasussa on merkittävä ja se on ollut toiminnassa vuodesta 1987 lähtien.

Terminaalista on suora mahdollisuus kuljettaa LNG:tä rekalla loppukäyttäjälle. Tämä on mahdollistanut laivan bunkraamisen rekasta Belgian satamissa joulukuusta 2012 lähtien. (Major interest in loading small ships at Zeebrugge LNG terminal 2012.)

Fluxsys ilmoitti loppuvuodesta 2012 rakentavansa terminaalin yhteyteen laajennuksen joka mahdollistaisi aluksen bunkraamisen suoraan laiturista (Major interest in loading small ships at Zeebrugge LNG terminal 2012). Näin rekkoihin liittyvästä hitaasta tankkausnopeudesta päästäisiin eroon. Fluxsysin uusi järjestelmä oli välittömästi suuren mielenkiinnon kohteena ja useat alukset ehtivät varata sen heti käyttöönsä. Laajennuksen on tarkoitus valmistua vuonna 2015 ja käynnistää heti toimintansa.

### 6.1.8 Tanska

Elokuussa 2014 LNG-ratkaisuja toimittava Liquiline teki sopimuksen norjalaisen matkustajalauttavarustamo Fjord Linen kanssa LNG-bunkraasterminaalien rakentamisesta Tanskan Hirtshalsiin. Terminaalien on tarkoitus mahdollistaa Fjord Linen kahden LNG:llä kulkevan lautan bunkraaminen pikaisesti satamassaoloaikana matkustajavaihdon yhteydessä. Terminaaliin on tulossa 500 kuutiometrin LNG-säiliö sekä tehokas pumppujärjestelmä. Kokonaisuuden on arvioitu valmistuvan vuoden 2014 loppuun mennessä. (Fjord Line contracted Liquiline for LNG ship bunkering terminal 2014.)

### 6.1.9 Ruotsi

AGA avasi Nynäshamnissa Ruotsin ensimmäisen LNG-tuontiterminaalin vuoden 2011 toukokuussa (Sweden's first LNG terminal now opened 2011).

Göteborgiin ollaan suunnittelemassa uutta terminaalihanketta, jonka olisi tarkoitus valmistua vuoden 2015 aikana. Hankkeessa ovat mukana Ruotsin kaasuverkko Swedegas, Vopak ja Göteborgin satama. Terminaali toteutetaan *open access* periaatteella, eli kuka tahansa kaasuntoimittaja voi käyttää terminaalialueita kaupoissaan syöttäessään kaasua Ruotsiin. Projekti on saanut tuen EU:lta. (LNG-Terminal Gothenburg 2014.)

### 6.2 Suomi

Suomessa ei vielä tätä kirjoitettaessa syksyllä 2014 ollut yhtään LNG-terminaalialueita toiminnassa. Silti monia terminaaliprojekteja on kehitysvaiheessa. Suomen LNG-markkinoille on pyrkimässä monta eri toimijaa. Suunnitteilla on laitoksia kattamaan koko Suomen rannikko. Osassa näistä terminaaleista tulee olemaan mahdollisuus suorittaa alukselle polttoainetäydennys suoraan laiturissa maasta alukseen kulkevaa kaasulinjaa käyttäen. Tämä on kaikin puolin parempi vaihtoehto tehokkuutta tarkasteltaessa ja sen vuoksi varustamot kiinnittävät tähän ominaisuuteen erityistä huomiota. Vertailun vuoksi otettaessa polttoainetta säiliöautosta on kaasun siirtonopeus tällöin huomattavasti pienempi. Lisäksi autoja tarvitaan mahdollisesti useita rekan pienen tankkikoon vuoksi, mikä lisää liikennettä laiturialueella ja autojen vaihdoissa kuluisi aina ylimääräistä aikaa. Polttoainetäydennyksen tulee olla nopea toimenpide, jotta alus saadaan takaisin rahtitoimintojen ja sille kuuluvan varsinaisen tuotannon pariin.

Suomen Työ- ja elinkeinoministeriö on tukemassa suomalaisia LNG-terminaaliprojekteja yhteensä 123 miljoonalla eurolla. Syyskuussa 2014 valtio jakoi tästä yhteensä 65,2 miljoonaa euroa. Päätökset jäljelle jäävän tuen jakamisesta on määrä tehdä vuoden 2014 aikana. (TEM 2014.)

### 6.2.1 Manga LNG Oy

Manga on kehitysyritys, jonka omistavat Gasum, Outokumpu, Rautaruukki ja EPV Energia. Yhtiö suunnittelee terminaaleja Turkuun ja Tornioon. Yhteistyön tarkoituksena on saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä ja parantaa LNG:n toimitusvarmuutta yhdistämällä alan yritysten osaamista. Turun terminaalien Pansiossa on tarkoitus valmistua alustavasti 2015 loppuvuodesta ja sitä suunnittelee Gasum. Vastaavasti Tornion Röytän terminaali valmistuu vuonna 2017 ja sen suunnittelee Manga.

Tornioon on suunnitelmien mukaan valmistumassa 50 000 kuutiometrin varastosäiliö ja lisäksi kaikki LNG:n prosessointiin vaadittava tekninen kalusto. Lisäksi terminaalissa olisi mahdollista suorittaa aluksen polttoainetäyttö suoraan satamalaiturissa. (Haastattelu 6.4.2014.)

Valtio antoi syyskuussa 2014 investointitukea projektille 33 miljoonaa euroa (TEM 2014).

### 6.2.2 Gasum Oy

Gasumilla on myös muita terminaalihankkeita Manga LNG Oy:n yhteistyöhankkeiden lisäksi. Porin Tahkoluotoon yhtiöllä on suunnitteilla 30 000 kuutiometrin tuontiterminaali. Terminaalissa on mahdollista bunkrata alus suoraan laiturissa. Gasum ei vielä ole tehnyt Porin terminaalista investointipäätöstä, mutta mahdollinen valmistusajankohta voi olla jo syksyllä 2016. Gasum sai projektia varten investointitukea valtiolta syyskuussa 2014 23 miljoonaa euroa (TEM 2014). Porin terminaalista kaasunjakelu suunnattaisiin erityisesti merenkulun ja teollisuuden käyttöön henkilöasiakkaiden sijaan.

Gasum on mukana Suomen ja Viron välisen maakaasuputkiprojektissa. Gasum on rakentamassa Inkooseen putken Suomen päähän vastaanotto- ja lähetystermiinalin. Putkella tullaan todennäköisimmin toiminnan alkuvaiheessa kuljettamaan kaasua teollisuuden käyttöön, koska merenkulussa LNG:tä tullaan käyttämään laajemmin vasta

myöhemmin tulevaisuudessa uusien alusten siirtyessä käyttämään sitä polttoainetta. (Haastattelu 21.1.2014.)

Helmikuussa 2014 Gasum osti enemmistön norjalaisen Skangass-yrityksen LNG-jakeluliiketoiminnasta. Kaupan myötä Gasumista tuli pohjoismaiden suurin LNG-toimija 51 prosentin omistuksella norjalaisyrityksestä. Skangassilla on rahtaus sopimukset kahden LNG-tankkerin operoinnista. Gasumin nyt omistaessa enemmistön Skangassista on yritys todennäköisesti varmistanut LNG-jakelun tuleviin terminaaleihinsa Suomessa näitä laivoja käyttämällä.

### 6.2.3 AGA Oy Ab

AGA on myös suunnittelemassa terminaalia Raumalle. Myös AGA sai omaan projektiinsä investointitukea syyskuussa 2014 kahdeksan miljoonaa euroa (TEM 2014). Terminaali voisi valmistua jo vuonna 2016. Terminaaliin on tulossa yhteensä 10 000 kuutiometriä säiliötilaa ja lisäksi LNG olisi mahdollista toimittaa suoraan sitä tarvitsevaan alukseen.

AGA:n mukaan maakaasu terminaaliin tuodaan Pohjanmeren kaasukentiltä. Kaasu nesteytetään Etelä-Norjassa. Sieltä se kuljetetaan Nynäshamniin Ruotsiin ja sitä kautta Suomeen. AGA:n mukaan kaasu on myös mahdollista tuoda suoraan nesteytyslaitokselta Suomeen. AGA:lla on tällä hetkellä Suomen LNG-infrastruktuurin kehittäjistä selvin suunnitelma kaasun tuomiseksi tuottajalta Suomeen. (Haastattelu 11.2.2014.)

Toimitukset Suomeen Norjasta tehtäisiin LNG-tankkerilla. AGA:lla on aikarahtaus sopimus Anthony Veder –varustamon M/S Coral Methane alukseen. Sopimuksen pituudesta ei ole tietoa. On siis epäselvää miten kauan AGA voi rahdata LNG:tä aluksella. Aikarahtaus sopimusten pituudet ovat usein kuukausista vuosiin. Mikäli AGA on Anthony Vederille hyvä ja tuottoisa asiakas voi rahtaus sopimus jatkua pitkäänkin. Markkinoiden kehitys ja jakelun sujuvuus Suomessa ja maailmalla tulevat ratkaistaan tämän. (Haastattelu 11.2.2014.)

Kun Viking Line kilpailutti Viking Grace –aluksen LNG-bunkraustoiminnan, kilpailijoina olivat AGA ja Gasum. AGA voitti tämän kilpailun ja suorittaa nykyään bunkraustehtäviä Seagas –aluksellaan Ruotsissa. Seagas on pieni proomun tyyppinen LNG:tä kuljettava alus, joka voidaan tuoda bunkrattavan aluksen kyljelle ja suorittaa siitä käsin polttoainetäyttö perinteisen polttoaineproomun tapaan.

Tällä hetkellä Viking Grace ottaa polttoaineen vain Ruotsissa. Seagas-aluksen tyyppiset ratkaisut voivat olla Suomessakin käteviä, kun LNG:n käyttö alusliikenteessä yleistyy. Mikäli bunkraustermiinalit eivät kykenisi kattamaan kaikkien alusten tarvetta, voi liikkuva LNG-proomu olla apuna kysyntään vastatessa.

#### 6.2.4 Haminan Energia Oy

Yritys suunnittelee LNG-tuontitermiinalia ja LNG:tä käyttävää voimalaitosta Haminaan. Laitos tulisi nykyisen öljy- ja kaasusataman alueelle. Parhailaan Haminan Energia on hakemassa termiinalilleen investointitukea, millä on tarkoitus kattaa rakennuskuluja. Vuonna 2014 on tarkoitus tehdä investointipäätös ja neuvotella laite-toimittajien sekä LNG-tuontiyhtiöiden kanssa.

Rakentaminen on suunniteltu aloitettavaksi vuonna 2015 ja termiinali olisi valmis toimintaan vuonna 2018. Haminan termiinalissa alus olisi mahdollista bunkrata suoraan satamalaiturissa. LNG-säiliön kooksi on suunniteltu 30 000 kuutiometriä.

Haminan Energian hankkeessa mielenkiintoista on termiinalin yhteyteen suunniteltu LNG:tä käyttävä voimalaitos. Ehkä maakaasua on tarkoitus käyttää maapuolen energiantuotannossa silloin, kun kysyntä meripuolella on hiljaisempaa. (LNG-tuontitermiinali ja voimalaitos Haminan satamaan 2013.)

#### 6.2.5 Wärtsilä Oyj

Wärtsilä harjoittaa merimoottoreihin ja voimalaitoksiin liittyvää konepajateollisuutta. Yritys ei ole lähtemässä LNG-liiketoimintaan mukaan omalla kaasunjakelullaan, mutta se on aktiivisesti mukana toimittamassa ja valmistamassa laitteistoja kaasunkäsitte-



lyä varten LNG-terminaaleihin. Wärtsilä toimittaa Manga LNG Oy:n terminaaliratkaisun Tornion Röyhtään. Terminaali on Wärtsilän pilottiprojekti maakaasun parissa. (Wärtsilälle sopimus LNG-terminaalin toimittamisesta Tornionn 2014.)

Suomessa Wärtsilälle on avautumassa varsin pienet ja rajallisetkin mahdollisuudet päästä käsiksi LNG-toimintaan, mutta maailmalla nykyisten kaasutrendien jatkuessa voi yrityksellä olla hyvät mahdollisuudet päästä tekemään suuria toimituksia eri puolille maailmaa. Wärtsilä tunnetaan nykyään erittäin arvostettuna toimijana voimalaitosten ja merenkulun energiaratkaisuiden parissa. Yrityksellä voisi olla erinomaiset mahdollisuudet laajentaa toimintaansa uusille polttoainemarkkinoille. Kaikki tarvittavat tuotantolaitokset ja osaaminen energian ja tekniikan parissa löytyvät. Nyt enää tarvitaan showcase -tyylinen pilottiprojekti, minkä avulla saadaan lisää asiakkaita kiinnostumaan yhtiön LNG-ratkaisuista. Tornion terminaali voisi olla juurikin tällainen hanke.

Wärtsilä on myös rikkipesurien markkinajohtaja. Se kertoo myyneensä pesureita yli 50 kappaletta (Pohjanpalo 2013), eli yhtiö on sitäkin kautta mukana uudessa rikkipäästörajoituksen luomassa pelissä.

#### 6.2.6 Venäjän LNG

Venäjältä tulee jo maakaasua putkea pitkin Suomeen. Mikäli putkistoa voisi jatkaa esimerkiksi itärajan tuntumassa sijaitseviin satamiin tai niiden välittömään läheisyyteen, voisi olla mahdollista rakentaa putkikaasua hyödyntävä alusten LNG terminaali. Mikäli putkien rakennuskustannus olisi sietämättömän korkea voitaisiin maakaasu tuoda rekoilla rajan lähellä sijaitsevalta maakaasua nesteyttävältä väliasemalta rannikolle alusten käytettäväksi, mikäli liikenne ei aiheuttaisi ruuhkaa paikalliselle tiestölle. Kyseessä voisi olla täsmällinen säiliörekkiäliikenne väliasemalta rannikolle. Tässä tapauksessa vastaan tulee vain säiliöautojen hitaus tankatessa alusta ja niiden hyvin rajoitettu koko. Tämänkaltainen hanke voisi silti olla pienikokoisten alusten kannalta sopiva. Järjestelmä voisi olla varsin edullinenkin, koska suuren terminaalin rakentamista rannikolle ei tarvita. Pelkästään putkesta saatavan maakaasun nesteyttämistä varten tulisi rakentaa tarvittava nesteytyslaitos mistä LNG siirtyisi rekkoihin.

### 6.2.7 Balticconnector ja Finngulf

Suomi ja Viro ovat kiistelleet pitkään kummalle puolelle Suomenlahtea iso Finngulf-nimellä tunnettu LNG-terminaali rakennetaan. On myös mahdollista, että molemmat maat saavat oman terminaalinsa ja näiden välille rakennetaan Suomenlahden alittava kaasuputki, Balticconnector. Suomessa Gasum vastaa terminaalien rakentamisesta Inkooseen, Virossa energiayhtiöt Võrguteenus ja Alexela Energia. Virossa vastaava terminaali sijoitetaan Paldiskiin vajaan viiden kymmenen kilometrin päähän länteen Tallinnasta. (Suomenlahdelle rakennetaan kaksi kaasutermiinaalia 2014.)

Talouselämä-lehden artikkelissa Työ- ja elinkeinoministeriön energiaosaston ylijohtaja kertoo, ettei mistään terminaalien jakamisesta todellisuudessa kuitenkaan ole vielä sovittu. Projektin etenemistä ei siis voida pitää niin pitkälle ehtineenä kuten media on antanut uutisoinnillaan ymmärtää. Kyse on virolaisen median propagandasta ylijohtajan mukaan. (Talouselämä 18/2014.)

Suomen ja Viron välinen maakaasuputki on osa isompaa kokonaisuutta, minkä tarkoituksena on yhdistää Baltian maat ja Suomi samaan maakaasuverkkoon. Baltian putkisto voitaisiin yhdistää myöhemmin Keski-Eurooppaan. Näin kaasua voisi syöttää putkistoon kauempanakin Euroopassa ja tuoda se putkea pitkin Suomeen asti. Tämä vähentäisi huomattavasti EU:n riippuvuutta Venäjän maakaasusta. Mikäli Venäjä lopettaisi kaasun toimittamisen jollekin Euroopan maalle olisi Euroopan omaa putkea pitkin mahdollista saada nopeammin korvaavaa energiaa paikalle. Projektia voidaan näin ollen kutsua erittäinkin poliittiseksi, mitä toki energia-asiat modernissa maailmassa aina ovatkin. Myös Baltian sisäiset maakaasumarkkinat vahvistuisivat ja kaupankäynti tulisi helpommin ja pitkällä aikavälillä halvemmin toteutettavaksi, kun erikoisvalmisteisia LNG-tankkereita ei kaasun siirtämiseen tarvittaisi. (Suomenlahdelle rakennetaan kaksi kaasutermiinaalia 2014.)

### 6.3 Päätelmiä

Eurooppaan on parhaimmassa tapauksessa muodostumassa varsin suuri kilpailukenttä nestemäiselle maakaasulle. Mukana on toimijoita lähes jokaisesta rantavaltiosta ja

useasta öljyä sekä kaasua tuottavasta valtiosta. Kaasua tulee siis sekä Euroopan sisältä että myös muualta maailmalta kuljetettuna.

Suomalaiset alukset käyvät aktiivisesti Pohjanmerellä ja eteläisellä Itämerellä. Näin ollen esimerkiksi Iso-Britannia, Puola, Saksa, Hollanti ja Belgia ovat usein reitin varrella luoden mahdollisuuden tankata alus matkan aikana. Hyvät yhteydet LNG:n saamiselle tulevaisuudessa on siis olemassa vaikka itse Suomella ei tarvittavaa infrastruktuuria ja tarjontaa olisikaan muodostumassa loppujen lopuksi syystä tai toisesta. Suomen omilla projekteilla olisi kuitenkin laaja merkitys kuitenkin maan kilpailukyvyille ja teollisuuden mahdollisuuksille.

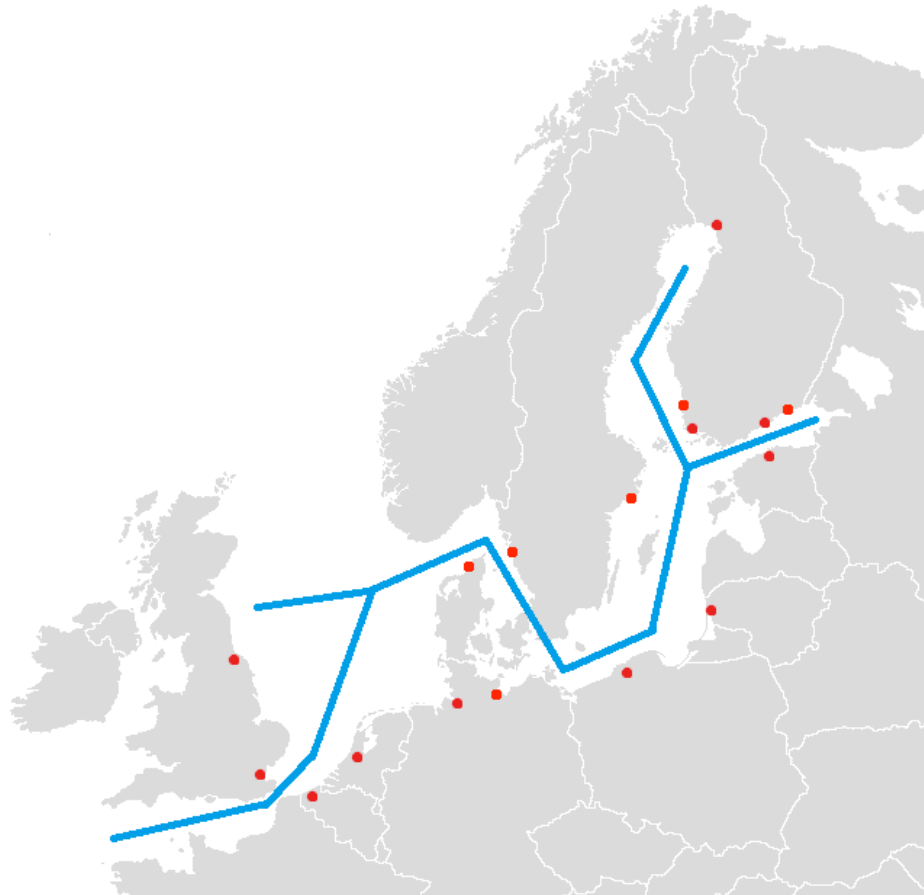
Kun kaikki tarvittava infrastruktuuri ja laitteisto on valmiina ja toiminnassa, jää silti jäljelle muutama kokonaistoimintaan oleellisesti vaikuttava tärkeä seikka. Polttoainetta olisi periaatteessa riitettävä tietenkin kaikille. Minkälaisella volyyymilla sitä on saatava muualta maailmasta Eurooppaan, jotta kaikki mahdolliset alukset saavat tarpeeksi polttoainetta toimiakseen? Voisiko Euroopan oma öljyvarantojen yhteydessä oleva kaasu riittää kaikille toimijoille? Markkinoille ei saa muodostua ylipainotusta alusten lukumäärälle ennen kuin polttoaineen jakelu on oikealla alusten määrälle suunnitellulla tasolla. Toisaalta ei kaasua ilmesty tarjollekaan ellei asiakkaita eli aluksia tule ensiksi markkinoille.

Kun kysyntä kasvaa ja samanaikaisesti tarjonta pysyy samana syntyy vaje ja hinnat nousevat. Samoin käy, jos kysyntä pysyy samana ja tarjonta heikkenee. Tämä olisi erittäin vahingollista uudelle LNG-markkinalle ja uusille vastatilatuille LNG-käyttöisille aluksille.

Todennäköisesti Euroopan ulkopuolelta tulevan LNG:n merkitys kasvaa, kun markkinat kunnolla käynnistyvät Euroopassa uusien alusten ja päästörajoitusten myötä. Tätä ulkopuolelta tulevaa kaasua varten markkinat tarvitsevat lisää kaasutankkereita hoitamaan mannertenvälistä liikennettä.

Mikäli tällä hetkellä Suomessa kehitteillä olevat terminaalit toteutuvat, tarjoavat ne erinomaiset mahdollisuudet laivanvarustajalle käyttää LNG:llä toimivaa alusta ja sa-

malla hyödyntää kotimarkkinoita tekemällä polttoainekauppoja Suomessa. Polttoaineen jakelu ja saatavuus olisi turvattu itäiseltä Suomenlahdelta Tornioon asti. Matkalla Suomesta Keski-Eurooppaan olisi tasaisin välimatkoin aluksille soveltuvia bunkrausasemia, kuten tästä kuvasta 6 käy ilmi.



Kuva 6. Mahdolliset LNG-terminaalit Euroopassa.

Sekä Suomessa että muualla Euroopassa kaikki terminaalit ovat joko suoraan vilkkaan rahtisataman yhteydessä tai vain lyhyen merimatkan päässä, joka olisi vaivatta toteutettavissa normaalin aluksen liikenteen aikana. Täytyy toki huomioida, että matka ylimääräiselle bunkrausasemalle kuluttaa polttoainetta ja aluksen kaikkia kuluja eikä alus varsinaisesti tuota tuon matkan aikana mitään, koska bunkraussatamasta ei välttämättä ole mahdollista saada rahtia kyytiin. Tämä on käytännössä jokseenkin yleistä,

varsinkin jos alus lähtee pidemmälle hakemaan halvempaa polttoainetta. Polttoaineen ottamisen yhteydessä ei välttämättä saada alukseen mukaan rahtia, jos kyseessä on vieraampi, polttoaineen jakeluun keskittynyt satama mihin varustamalla ei ole täysiä yhteyksiä rahdin löytämisen suhteen. Syynä voi myös olla muun muassa yksinkertaisesti eriävä alustyyppi satamassa yleisesti liikkuvaan rahtiin, kuten polttoainetta ottava tankkeri kuivarahtisatamassa, jonka yhteydessä bunkrausasema sattuu sijaitsemaan.

Tästä huolimatta täytyy punnita LNG:n käytöllä saavutettavia etuja. Se on edullisempaa kuin kevyet polttoöljyt ja ennen kaikkea sen käyttö noudattaa tulevia päästörajoja. Näihin bunkrausasemille tehtäviin painolastimatkoihin tulee kiinnittää huomioita laadittaessa aluksen matkasuunnitelmaa, jotta tuottamattomien matkojen tekeminen minimoitaisiin. Tästä syystä esimerkiksi Suomessa Tornion terminaali ei varsinaisesti tule palvelemaan millään tavalla Suomenlahdelta Keski-Eurooppaan suuntaavaa liikennettä, koska ne ovat yksinkertaisesti niin kaukana alusten vakinaisilta reiteiltä. Torniossa sijaitsee kuitenkin iso terästehdas, jolle maakaasun saapuminen on varmasti tervetullutta.

Laivanvarustajan täytyy kiinnittää huomiota aluksen henkilökuntaan ja heiltä vaadittavaan erikoispätevyyteen työskennellessään LNG:n parissa. Erityisesti varustamo, jolla ei ole aikaisempaa kokemusta kaasujen käsittelystä saattaa tarvita ulkopuolista opastusta miehistöään ja konttoriaan kouluttaessa.

## 7 HINNOITTELU

Polttoaineen hinta kullakin hetkellä määräytyy sen myyntipaikan paikallisten tekijöiden ja olosuhteiden mukaan. Yhdysvalloissa myytävän tuotteen hinta ei ole vertailukelpoinen Euroopassa tai Aasiassa myytäviin. Hintaan vaikuttaa esimerkiksi paikallinen kysyntä ja saatavuus, verotus, kuljetuksen hinta, palvelun hinta ja niin edelleen.

Öljynpohjaisten polttoaineiden ja nestemäisen maakaasunkin hinta voidaan määritellä kahdella eri tapaa. Yleisin tapa on määritellä hinta tuotteen painon perusteella, kuten yleisesti maailmassa raaka-aineet hinnoitellaan. Toinen tapa on energiantuotannossa käytössä oleva tekniikka määritellä hinta tuotetun energiayksikön mukaan. Tällöin

käytössä on yksikkö Btu (British thermal unit) ja sen miljoonakerrannainen mmBtu, jonka käyttö helpottaa suurten energiamäärien hahmottamista.

Btu vastaa energiamäärää, joka tarvitaan lämmittämään yhden fahrenheit-asteen verran yksi pauna vettä (Merriam-Webster 2014). Btu on hyvin vanha yksikkö jonka myöhemmin joule on syrjäyttänyt. Btu havainnollistaakin raaka-aineesta saatavan energian hintaa silloin, kun halutaan selvittää miten paljon energiaa yhdellä rahayksiköllä saadaan tuotettua. Voidaan puhua hinnasta per energiasisältö.

Nestemäisten polttoaineiden kuten HFO:n, ja MGO:n hintaa kuvataan usein painon perusteella, koska nestemäisten polttoaineiden laatu ja energiasisältö ovat varsin standardisoituneita ja poikkeavat hyvin vähän laadultaan eri lähteitä verrattaessa. Maakaasun laatu energiasisältöineen ja koostumuksineen voi vaihdella paljonkin eri lähteissä, joten sen hinnoittelua on vaikea perustaa painolle, koska samanpainoiset määrät tuotetta voivat poiketa laadultaan huomattavasti toisistaan. (Shipping in The Gas Age 2013, 2.)

Jotta nestemäisten ja kaasumaisten polttoaineiden hintoja voitaisiin järkevästi vertailla keskenään on niiden yksiköt saatava samanmuotoisiksi. Tässä työssä hintoja tarkastellaan per painoyksikkö, tonni.

LNG:n tonnihinta saadaan seuraavasti. Ensiksi täytyy tietää minkä verran energiaa (mmBtu) yksi tonni LNG:tä sisältää. Tämä riippuu toki tarkasteltavan kaasun laadusta, mutta se voidaan arviointitarkoituksessa pyöristää tulokseksi 48,7 mmBtu per tonni (Foss 2012, 6). Tämän jälkeen voidaan kyseinen tulos kertoa LNG:n markkinahinnalla mikä ilmoitetaan Yhdysvaltojen dollareina per mmBtu. Esimerkiksi 10,40 USD/mmBtu hinnalla tonni LNG:tä vastaisi summaa USD 506,48.

Yllä esiteltyä tapaa käyttäen voidaan LNG saada mukaan polttoaineiden hintoja vertailevaan taulukkoon. HFO 380<sup>1</sup> ja MGO hintatiedot on saatu Bunkerindex.com-

---

<sup>1</sup> Raskaan polttoöljyn (HFO) yhteydessä ilmoitettava luku liittyy polttoainelaadun viskositeettiin.

verkkopalvelusta 18.6.2014 Rotterdamin satamassa. LNG:n hinta on energiamarkkinoita seuraavan Argus Median tarjoama Belgian Zeebruggen spotmarkkinoiden benchmark-hinta kesäkuussa 2014. Ostettaessa ja bunkrattaessa polttoainetta näihin hintoihin lisättäisiin palvelun hinta.

Taulukko 3. Polttoaineiden hinnat.

<b>HFO 380</b>	<b>MGO</b>	<b>LNG</b>
USD 595/mt	USD 916/mt	USD 368/mt

Seuraavaksi vertaillaan aluksen polttoainekustannuksia käytettäessä eri polttoainetyyppejä.

Aluksen vuorokaudessa vaatima polttoaine riippuu siitä millä tehotasolla sen moottoria ajetaan. Tässä esimerkkitapauksessa käsitellään 14 000 DWT alusta, jonka konetehto olisi noin 15 000 kW. Ajettaessa konetta 80% tehoilla on vuorokausikulutus 48 tonnia (Haastattelu 24.6.2014).

Koska maakaasun lämpöarvo on parempi kuin raskaan- ja kevyen polttoöljyn, kuluu sitä teoriassa vähemmän kuin raskasta ja kevyttä polttoöljyä. Näissä laskuissa on havainnollistamisen helpottamiseksi käytetty kuitenkin kaikille polttoaineille yhteistä 48 tonnin vuorokausikulutusta. Rikkipesurin käyttökustannukset ovat USD 5/MWh, kuten kappaleessa 4.1 oltiin Germanischer Lloydin tutkimukseen viitattu.

Voiteluöljyä arvioidaan kuluvan vuorokaudessa 115 litraa (Haastattelu 24.6.2014). Sen maksaessa USD 230 sadalta litralta voidaan laskea päiväkustannukseksi USD 265.

Taulukko 4. Aluksen päivittäinen polttoainekustannus.

	<b>Vuorokausikustannus</b>
<b>HFO 380</b>	USD 28 560
<b>HFO 380 + rikki- pesuri</b>	USD 30 360
<b>MGO</b>	USD 43 968
<b>LNG</b>	USD 17 664

Tämän taulukon perusteella voidaan todeta aluksen päivittäiset polttoainekustannukset. Erot raskaan- ja kevyen polttoöljyn sekä LNG:n välillä ovat selvät. Nestemäistä maakaasua käyttämällä on mahdollista säästää miltei puolet tavanomaisista polttoainekustannuksista verrattaessa raskaaseen polttoöljyyn. Kevyt polttoöljy MGO on ylivoimaisesti kalliimpaa kumpaankaan muuhun verrattuna.

LNG on 38 prosenttia halvempaa kuin HFO. Vuodessa tällä voi saavuttaa jopa kahden miljoonan euron säästöt polttoainebudjetissa. Näin ollen on selvää, että tulevaisuudessa hankittavan uuden aluksen kannattaisi olla maakaasukäyttöinen mikäli sen operointia varten tarvittava infrastruktuuri on rannikolla valmiina ja käytettävissä. Toki, niin kuin pörssikurssien liikkeitä on vaikeaa ennustaa, ei myöskään kukaan voi varmuudella tietää mitä LNG maksaa kahden, viiden tai kymmenen vuoden kuluttua. Voidaan kuitenkin pitää melko varmana, että se tulee aina pysymään halvempaa kuin nestemäiset tislattut polttoaineet, koska sen positiivisten ympäristövaikutusten kannalta valtiot haluavat pitää sen edullisena vaihtoehtona muille korkeapäästöisimmille polttoaineille. Lisäksi, LNG:n prosessointi polttoainekäyttöön on halvempaa ja yksinkertaisempaa kuin öljyn jalostaminen. Halpa hinta toteutuu myös vain useampien kilpailijoiden tullessa markkinoille. Uuden terminaalin toiminnan alkuvaiheessa polttoaineen



tai sen tarjoamisen mahdollistavan palvelun hinta tulee kuitenkin todennäköisimmin kasvamaan hetkellisesti, kun terminaali-investoinnit pitää rahoittaa.

## 8 HINNAN MUODOSTUMINEN

Maakaasun hinta voi olla sidottu öljystä jalostettujen tuotteiden hintakehitykseen. Näin toimitaan esimerkiksi Yhdysvalloissa ja paikoin Euroopassa. Joissain maissa hinta on sidottu kokonaisuudessaan öljyn hintaan. Suomessa tämä käytäntö ei ole voimassa, vaan hinnasta vain osa on sidottu siihen. (Tekniikka & Talous 14.3.2014.)

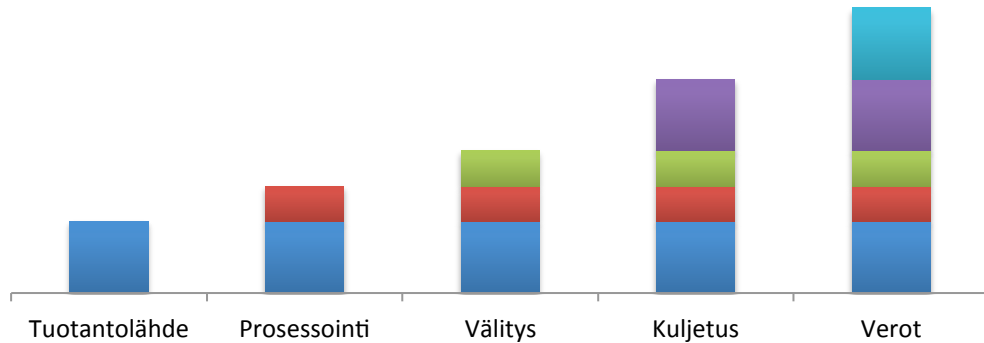
Tällä hetkellä Suomessa maakaasun tukkuhinta muodostuu seuraavista tekijöistä. On huomioitava, että näiden referoitujen lukujen aikaan (kesäkuu 2014) Suomessa myytävä maakaasu on Venäjältä putkea pitkin tuotua. Mikäli maakaasun tuominen Suomeen lisääntyy, myös todennäköisesti hintarakenteeseen on tulossa muutoksia. Lisäksi vuoden 2015 alussa maakaasun verotus on nousemassa 4,00 prosenttiyksikköä (Energiaverolakien muutokset 2011). Maakaasun verotus on muutamien vuosien aikana noussut jopa kuusinkertaiseksi – valtio on aikaisin hereillä ja haluaa päästä kiinni kasvavaan tulolähteeseen (Vuosikertomus 2013). Raskas verotus valitettavasti laskee suomalaisten LNG-kauppiaiden kilpailukykyä muihin Itämeren ja Baltian maihin verrattaessa.

1. 55% sidottu raskaan polttoöljyn hintaan
2. 25% suomalaiseen energiaindeksiin
3. 20% hiilen hintaan

Mikäli hinta olisi sidottu kokonaisuudessaan öljyyn, seuraisi se suoraan öljyn hintakehitystä. Tämä ei välttämättä ole edullista, kun vertaillaan tuotteiden ympäristöpäästöjä ja kuljetusmenetelmiä. Öljyn hinta voi myös nousta, kun sen saatavuus heikkenee. Samaan aikaan kuitenkin maakaasun saatavuus voi pysyä ennallaan ja runsaana. Myös monet maailmanpoliittiset seikat vaikuttavat öljyn hintaan

Maakaasun hinta muodostuu pitkälti kuten minkä tahansa tuotteen. Tuotannosta aiheutuvat kulut on katettava myynnistä saatavilla tuloilla. Lisäksi tuottaja haluaa itselleen

voittoa toiminnastaan. Maakaasun matka tuottajalta, eli poraaljalta loppukäyttäjälle suomalaiselle varustamolle on pitkä. Raaka-aineen hintaa tämän matkan varrella nostaa lukuiset eri tekijät, kuten kuvassa 7 esimerkin avulla näytetään.



Kuva 7. Raaka-aineen hinnan muodostuminen loppukäyttäjälle.

Maakaasu on logistiikkaluonteeltaan kuten öljytuote, eli se irrottaa tuottajan ja ostajan toisistaan maantieteellisesti. *Boil-offin* ja koko logistiikkakulun kannalta on parempi mitä lähempänä lähdettä itse käyttäjä on. Suomen tapauksessa tämä ei ole varsinaisesti mahdollista, joten kuljetusketju on pitkä ja joka vaiheessa tuotteen hinta nousee. Suomen maakaasutarpeen alhaisuudesta johtuen ei maahan tule todennäköisesti ikinä muodostumaan yhteyttä suoraan kaasuntuotantoalueille Afrikkaan tai Aasiaan. Kaikista todennäköisemmin kaasu tulee välisataman kautta Keski-Euroopasta tai Venäjältä nykyistä kaasuputkea pitkin mikäli maa pysyy luotettavana toimittajana tulevaisuudessa. Suunnitteilla oleva uusi Balticconnector-kaasuputki voisi vahvistaa kaasun saamista myös Baltian maista.

Maakaasu on lähteestä ulos tullessaan käsiteltävä monivaiheisen prosessin läpi ennen kuin se on käyttökelpoinen polttoaine. Lisäksi kaasu tulee nesteyttää merikuljetusta varten. Seuraavaksi kaasu pitää myydä kuljetettavaksi. Myynnin voi suorittaa esimerkiksi energiamarkkinoilla öljyyn ja kaasuun erikoistuneet meklarit. Kun kaasu on myyty, täytyy se kuljettaa ostajalle. Laivan hankkimiseen tarvitaan rahtimeklareita. He etsivät kuljetusta odottavalle tavaralle markkinoilta edullisimman laivan. Kun kaasu on lopulta saatu lähteestä tankkeriin, on siinä välissä kulunut jo merkittävä summa

rahaa. Itse kuljetuskin maksaa, minkä varustamo veloittaa rahtina, jonka tarkoitus on kattaa matkasta aiheutuvat kulut ja tavoiteltava voitto.

Matkan varrella jokainen meklari ja tavaran kuljettaja veloittaa välistä oman hinnantonsa mukaan. Kaiken maksaa periaatteessa loppukäyttäjä. Kuljetuksen joka vaiheessa tuotteen arvo kasvaa. Suomi on Norjaa lukuun ottamatta kaukana tuotantopaikoista, jotka enimmäkseen sijaitsevat Pohjois-Amerikassa, Pohjois-Afrikassa ja Kaakkois-Aasiassa. Sieltä kuljetettava maakaasu on täällä monin kerroin kalliimpaa, kuin paikan päällä lähellä tuotantolähteitä.

Niin suurten polttoainemäärien kuljettaminen kuin nykyaikaisilla tankkereilla on mahdollista, sisältää toki omat merimatkaan liittyvät luonnolliset riskinsä. Lastin arvo voi olla valtava, jopa ylittäen itse kuljettavan aluksen arvon. Tästä syystä alusten tavoin myös lastit vakuutetaan. Jälleen tuotteen hinta loppukäyttäjälle nousee. Kun maakaasu saapuu kohdemaahan ja puretaan siellä, maksetaan siitä vielä tullit ja verot ennen kuin se vihdoinkin saadaan käyttäjien saataville.

LNG-tankkereiden liikkuminen eroaa muista rahtialuksista siten, etteivät ne voi ottaa paluulastia toimittaessaan kaasua esimerkiksi Eurooppaan. Tämä näkyy kyseisillä tankkereilla kuljetettavan rahdin hinnassa – sillä kuitataan tyhjänä tehtävästä paluumatkasta koituvat kulut.

LNG:n hintaa tutkiessa loppuen lopuksi oleellisinta on, että sen tulee olla pitkällä aikavälillä halvempaa, kuin kevyen polttoöljyn käyttö tai rikkipesurin asentaminen ja sen käyttö. LNG:n tapauksessa kuitenkin terminaalien laitosinvestoinnit ovat korkeat eikä näistä muodostuvia kuluja ole vielä hinnoiteltu sisään tuotteen hintaan, sillä ne ovat pääosin vielä rakentamatta. Mikäli LNG saavuttaa suosiota aluspolttoaineena, tulevat näiden laitosinvestointien kulut jakautumaan suuremmalle osalle maksavia asiakkaita mikä toki hiljalleen tasoittaa hintaa. Lisäksi yksittäisen polttoainetäytön hinta on korkeampi, koska siihen prosessiin kuuluu myös osaltaan maapuolen laitteiston käyttöä, joka joudutaan veloittamaan polttoainetta ottavalta alukselta.

Tällä hetkellä maakaasun hinta on maantieteellisesti jakautunut ympäri maapallon. Alueellisesti maakaasu on halvinta Yhdysvalloissa viimeaikaisten liuskekaasulöydösten seurauksena. Tämä paikallinen hinnan huomattava aleneminen ei vielä ole levinnyt Eurooppaan. Yhdysvaltojen ja muun maailman hintaeroa on entisestään syventynyt Aasian kysynnän kasvamisen myötä. Yhdysvallat pääsee tällä hetkellä nauttimaan omasta halvasta kaasustaan kun muu maailma kilpailee keskenään muiden tuottajien maakaasusta. Lisäksi hintaeroihin vaikuttaa maiden omat kansalliset tuet, kaupan ja infrastruktuurin rajoitukset sekä verotus, että maakaasun hinnan sitominen öljyyn. (Vuosikertomus 2013.)

Seuraava kuva havainnollistaa maakaasun hintaa maailmalla. Hinnat ovat muodossa USD/mmBtu ja arvioituja maahantuodun raaka-aineen hintoja sisältäen rahdin, tullin, vakuutuksen sekä muut mahdolliset kulut kesäkuussa 2014. (Waterborne Energy 2014.)



Kuva 8. LNG:n hinnat maailmalla kesäkuussa 2014 (Waterborne Energy 2014).

## 8.1 Kilpailutekijät

Eurooppaan on ehdottomasti muodostumassa vilkasta maakaasutoimintaa uusien suunnittelun ja rakentamisen alla olevien projektien myötä. Pohjanmeren ja Itämeren rannikoille nousee monta varteenotettavaa bunkraussatamaa. Kun lähivuosina LNG:n käyttö aluspolttoaineena lisääntyy tulee toiminnassa olevat terminaalit varmasti tekemään kaikkensa saadakseen harvat Eurooppaan tulevat maakaasulastit juuri itselleen jälleenmyyntiin. Merenkulun energian lisäksi maakaasu menee myös maapuolen teollisuuden ja sähköntuottamisen käyttöön.

Mikäli EU jatkaa energia- ja ilmastopoliittisia suunnitelmiaan vähentää teollisuuden päästöjä vuoteen 2030 niinkin rajusti kuin on EU:ssa alustavasti suunniteltu (Framework for climate and energy policies 2014), voi tämä vaikuttaa osaltaan maakaasun hintaan ja saantiin Euroopassa. Maakaasu soveltuu matalien kasvihuonepäästöjensä vuoksi vähempipäästöiseen energiatuotantoon. Maateollisuuden mahdollisesti kasvava maakaasuntarve ei saisi haitata merenkulun tarpeisiin luotuja jakelukanavia jos LNG:n käytöstä aluspolttoaineena halutaan tosissaan hyötyä.

Euroopan uuden ympäristöpolitiikan lisäksi maakaasun maantieteelliseen jakautumiseen tulee vaikuttamaan tulevaisuudessa Kiina. Jo nyt Aasian kasvava kysyntä on kohdistanut maakaasun vientiä Aasian maihin Euroopan sijasta.

Kiinalla oli vuoden 2010 lopussa maailman kolmanneksi suurin kauppalaivasto hie- man yli 2000 aluksella (The World Factbook 2014). On arvioitu, että vuoteen 2030 mennessä Kiina omistaa neljänneksen koko maailman kauppalaivastosta. Samaan aikaan tämän tonniston kasvun kanssa myös kiinalaiset alukset ovat siirtymässä käyttämään *dual-fuel* moottoreita, eli LNG on nostamassa suosiotaan Kiinassakin uusien alusten parissa. Uusia *dual-fuel* aluksia valmistuu kymmenen aluksen vuosivauhtia. Vuonna 2017 Kiina saa käyttöönsä kuusi uutta LNG-tankkeria joilla maa pääsee kattamaan kasvavaa maakaasuntarvettaan.

Valjastaminen merenkulku käyttämään maakaasua on osa Kiinan uutta ilmastopoliittista strategiaa, jolla maa pääsee hillitsemään teollisuuden ja talouden kasvusta aiheu-

tuvia väistämättömiä päästöjä. Kiinalla on myös omia maakaasuvarantoja, joten teoriassa osa Kiinan energiantuotannosta voi tulevaisuudessa olla halpaa, puhdasta ja muista maista riippumatonta. (International Energy Agency 2009, 11-15.)

Kiinan liikenneministeriö on asettanut tavoitteen jonka mukaan vuoteen 2030 mennessä jopa 500 *dual-fuel* alusta saataisiin käyttöön hoitamaan Kiinan sisävesiliikennettä. Maan lävitse kulkeva Jangtse-joki on huomattavan tärkeä osa Kiinan teollisuutta – sen varrella tuotetaan jopa 20 prosenttia Kiinan bruttokansantuotteesta. Kun näiden teollisuusalueiden vienti- ja tuonti saadaan käyttämään LNG:tä on ilmastovaikutukset selviä ja strategian onnistuessa Kiina voisi nousta Aasiassa uudeksi esimerkiksi puhtaan energian käyttäjästä. Syyskuussa 2013 Jangtsen varrelle valmistui ensimmäinen kelluva LNG-bunkraustermiinali. Näiden kehitysten myötä Kiina on Euroopan lisäksi edelläkävijä maakaasun merenkulkukäytössä. (LNG Bunkering Report Predicts Asian Focus 2014.)

## 9 YHTEENVETO

Tämä työ antaa kuvan siitä millainen kokonaisuus nestemäisen maakaasun käyttö aluspolttoaineena on. Aiemmin LNG:tä on kuljetettu vain tankkereilla energiantuotantoa varten mantereelta toiselle. Nyt sama aine on tulossa arkipäiväiseen käyttöön pienille ja isoillekin aluksille. Tämä erikoisala on uutta koko maailmalle. Aikaisin toimintaan mukaan lähtevät pääsevät hyötymään alan tuomista uusista eduista ensimmäisinä.

Historiallinen kehitys ei ole tae tulevasta. Kukaan ei voi tällä hetkellä tietää minkä hintaista maakaasu tai muukaan polttoaine on viiden tai kymmenen vuoden kuluttua. Hinnan kehitystä voidaan arvioida vain tukeutuen erinäisiin laskelmiin ja arviointeihin perustuen kysynnän ennustamiseen ja olemassa olevien öljy- ja kaasuvarantojen riittävyyteen sekä uusien löytämiseen. Yllättävät luonnonkatastrofit tai aseelliset konfliktit yleensä nostavat öljyn tai kaasun hintaa joko globaalisti tai alueellisesti. Laivaan investoiminen ja sellaisen operointi on pitkäaikainen sijoitus. Vaikka polttoaine olisi nyt halpaa voi se aluksen käyttöiän aikana nousta moninkertaisesti vaikuttaen oleellisesti

varustamon toimintaan. Polttoainekulut muodostavat suurimman osan aluksen päivittäisistä kustannuksista. Kun polttoainekulut saadaan mataliksi (ja samalla puhtaiksi) kasvattaa se alusinvestoinnista saatavaa tuottoa. Lopullinen voitto lasketaan lopulta paljon pidemmän kaavan mukaan.

Jo tällä hetkellä monet pienikokoiset alukset käyttävät polttoaineenaan vähärikkistä MGO:ta. Vaikuttaako todennäköinen monien uusien alusten siirtyminen käyttämään vähärikkistä polttoainetta heihin mitenkään? Aivan varmasti vaikuttaa. MGO:n kysyntä moninkertaistuisi mikä voisi johtaa polttoaineen jo ennestään korkean hinnan kasvuun ja polttoainepulaan markkinoilla. Rahtien hinnat kasvaisivat ja loppulaskun pääsee maksamaan kuluttaja. MGO on yksi öljynjalostusprosessin lopputuotteista, eli sitä saadaan määrällisesti vähiten öljyä jalostettaessa. Tällä hetkellä ei ole takuita siitä, että nykyinen jalostuskapasiteetti riittäisi ruokkimaan kaikki MGO:ta käyttämään siirtyvät alukset. Ongelmia voi tulla myös maapuolella dieselin jakeluun nostoen samalla sen hintoja. (Low sulphur fuel supply 2013.)

Merenkulun vaatima LNG-infrastruktuuri on tällä hetkellä vielä alkuvaiheessa Euroopassa ja Suomessa. Menee vielä vuosia ennen kuin tarvittavia bunkrausasemia olisi varmasti saatavilla Suomesta Eurooppaan suuntautuvien matkojen varrella. Nykyhetkellä ainoa mahdollisuus bunkrata LNG:tä käyttävä alus Suomessa olisi rekan avulla satamalaiturilta. Prosessi on hidas, mutta varma.

Mikäli nykyiset LNG-projektit edistyvät luvatusi voisi LNG olla kaikista houkuttelevin vaihtoehto uudisrakenteisille aluksille. Uuden aluksen *dual-fuel* moottori mahdollistaisi vähärikkisen kevyen polttoöljyn sekä LNG:n rinnakkaisen käytön. Tarvittaessa koneisto voidaan ohjata käyttämään 100 prosenttisesti MGO:ta tai LNG:tä. Tällä tavoin alus voisi vastata mahdollisimman tehokkaasti markkinoiden hintavaihteluihin ja käyttää aina puhtainta vaihtoehtoa.

Rikkipesuri voi olla erinomainen vaihtoehto LNG:lle ja MGO:lle. Sen toimintaa ei kuitenkaan vielä ole ehditty todistamaan käytännössä. Rikkipesuri ei myöskään ole kertainvestointi vaan sen huolto ja operointi maksavat. Sen jälkiasennus nykyisiin aluksiin on haastavaa tai lähes epäkäytännöllistä pesurilaitteen koon ja painon vuoksi.

Tämä taulukko 5 toimii yhteenvetona siitä, minkälaisia hyötyjä ja haittoja kullakin ratkaisulla on (Semolinos 2013, 7).

Taulukko 5. Aluksen polttoaine-vaihtoehtojen hyödyt ja haitat (Semolinos 2013, 7).

	<b>Hyödyt</b>	<b>Haitat</b>
<b>MGO</b>	Aluksen toimintaa voi jatkaa normaalisti	Hinta ja saatavuus
<b>HFO + rikkipesuri</b>	Polttoaineen saatavuus, valmis pesuriteknologia	Pesurin toimintaa ei vielä todistettu, muutokset aluksen vakavuuteen, kallis huolto, likaisen pesukuonan poistaminen
<b>LNG</b>	Ei tarvetta rikkipesurille, hinta, matalat huoltokustannukset	Miehistön koulutus, polttoainesäiliöiden koko, bunkrausasemat, turvallisuus, vaillinainen infrastruktuuri

Uusien rikkirajojen myötä on merenkulku tulossa käänneasteeseen Euroopassa. Monet varustamot ja laivanomistajat joutuvat punnitsemaan eri vaihtoehtojen väliltä. Tällä hetkellä on vaikea arvioida varmuudella mikä vaihtoehdoista olisi tulevaisuudessa ollut se oikea. Peliteorioilla voidaan laskea optimaalisia vaihtoehtoja. Varustamo voi valita pienimmän riskin, suurimman tuotto-odotuksen tai jonkin vaihtoehdon niiden väliltä. Näyttää kuitenkin siltä, että Eurooppa on panostamassa suuressa määrin maakaasuun ja haluaa siitä luotettavan ja puhtaan energialähteen. Myös Kiinan viimeaikainen toiminta on selvästi maakaasun hyödyntämiseen tähtäävää. Kiina tarvitsee val-



tavasti energiaa ja siitä syystä sen toiminta tälläkin alalla tulee vaikuttamaan koko globaaliin maakaasusektoriin. Kiinan kasvava kysyntä yhdessä Japanin ja Korean kanssa saattaa johtaa markkinoilla raaka-ainepulaan ja hintojen kasvuun.

Merenkulku on erikoisala. Aluksen miehistöltä vaaditaan erikoisosaamista useilta eri alueilta. Nestemäisen maakaasun käyttö polttoaineena lisää miehistöltä vaadittavaa erikoispätevöitymistä. Varustamoiden täytyy varautua äkillisiin muutoksiin joita LNG-koulutukseen saattaa lähiaikoina tulla, kun IMO saa vihdoin valmiiksi IGF-koodin ja muutokset SOLAS-koodiin. Näiden myötä on nykyisiin LNG-pätevöitymisiin tulossa varmasti muutoksia.

Nestemäisen maakaasun jakelu vaatii kattavan infrastruktuurin. Sellaista Suomessa ei vielä ole. Useita projekteja on silti työn alla Suomessa ja Euroopassa. Rakenteilla oleva eurooppalainen jakeluverkosto luo suomalaiselle alukselle hyvät mahdollisuudet saada matkoillaan nestemäistä maakaasua polttoaineeksi. Suomen pitäisi kuitenkin varmistua siitä, että täälläkin olisi tehokas infrastruktuuri ja tehokas hinnoittelu sekä hyvin suunniteltu verotus, joka pitäisi kotimaan laivaston tuottamassa Suomeen myös LNG-aikakaudella. Tällä hetkellä on olemassa suuri riski, että suomalaiset Itämeren alukset tulevat pitkälti tankkaamaan LNG:tä Euroopasta ja niinpä kotimaisten varustamoiden polttoainekulut valuvat ulkomaiden toimijoille.

## LÄHTEET

Andersen, M., Clausen, N. & Sames, P. 2011. Costs and benefits of LNG as ship fuel. Tutkimus. Lloyd's Register.

Baltic LNG. 2014. Gazpromin julkaisuja. Gazpromin internetsivut. Saatavissa: [gazprom.com/about/production/projects/lng/baltic-lng](http://gazprom.com/about/production/projects/lng/baltic-lng) [viitattu 10.10.2014]

Bomin Linde LNG and AG EMS conclude first contract. 2014. The Linde Groupin julkaisuja. The Linde Groupin internetsivut. Saatavissa: [http://www.the-linde-group.com/en/news\\_and\\_media/press\\_releases/news\\_20140127.html](http://www.the-linde-group.com/en/news_and_media/press_releases/news_20140127.html) [viitattu 16.6.2014]

Chemical Composition of Natural Gas. 2014. Union Gasin julkaisuja. Union Gasin internetsivut. Saatavissa: [www.uniongas.com/about-us/about-natural-gas/Chemical-Composition-of-Natural-Gas](http://www.uniongas.com/about-us/about-natural-gas/Chemical-Composition-of-Natural-Gas) [viitattu 13.6.2014]

Clucas, C. 2013. Training and manning for the expanding fleet of LNG carriers. Tutkimus. Bernhard Schulte Shipmanagement.

Danish Maritime Authority. 2012. A feasibility study for an LNG filling station infrastructure and test of recommendations. Tutkimus. Danish Maritime Authority.

Density Stratification in LNG Storage. 1999. Cold Facts -lehti 2/1999.

Eknes, A. 2014. LNG fueling a mindset change. Tutkimus. Det Norske Veritas.

Energiaverolakien muutokset. 2011. Suomen Tullin julkaisuja. Tullin internetsivut. Saatavissa: [http://www.tulli.fi/fi/suomen\\_tulli/julkaisut\\_ja\\_esitteet/THT/tht\\_arkisto/THT\\_2010/tiedotteet\\_2010/21901010/index.html?bc=425](http://www.tulli.fi/fi/suomen_tulli/julkaisut_ja_esitteet/THT/tht_arkisto/THT_2010/tiedotteet_2010/21901010/index.html?bc=425) [viitattu 23.6.2014]

Fjord Line contracted Liquiline for LNG ship bunkering terminal. 2014.

Liquilinen julkaisuja. Liquilinen internetsivut. Saatavissa:

<http://www.liquiline.com/?page=15&news=106&title=Fjord%20Line%20contracted%20Liquiline%20for%20LNG%20ship%20bunkering%20terminal> [viitattu

16.9.2014]

Foss, M. 2012. Introduction to LNG. Tutkimus. The University of Texas at Austin.

Framework for climate and energy policies. 2014. Euroopan komission julkaisuja.

Euroopan komission internetsivut. Saatavissa:

[http://ec.europa.eu/clima/policies/2030/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/2030/index_en.htm) [viitattu 25.6.2014]

Gate terminal. 2014. Gate terminalin julkaisuja. Gate terminalin internetsivut.

Saatavissa: [gate.nl/en/gate-terminal/facts-and-figures.html](http://gate.nl/en/gate-terminal/facts-and-figures.html) [viitattu 10.10.2014]

Gazprom announces new LNG project. 2013. Russia Beyond The Headlinesin

internetsivut. Saatavissa:

[rbth.com/business/2013/05/27/gazprom\\_announces\\_new\\_lng\\_project\\_26423.html](http://rbth.com/business/2013/05/27/gazprom_announces_new_lng_project_26423.html)

[viitattu 16.6.2014]

GLE LNG Map. 2014. Gas Infrastructure European julkaisuja. Gas Infrastructure

European internetsivut. Saatavissa: [gie.eu/index.php/maps-data/lng-map](http://gie.eu/index.php/maps-data/lng-map) [viitattu

16.6.2014]

Grain LNG. 2014. Grain LNG:n julkaisuja. Grain LNG:n internetsivut. Saatavissa:

[nationalgrid.com/uk/grainlng](http://nationalgrid.com/uk/grainlng) [viitattu 16.6.2014]

Haastattelu 11.2.2014. Haastattelu hankkeen edustajan kanssa. Haastateltava

haluaa pysyä nimettömänä. AGA Oy Ab.

Haastattelu 21.1.2014. Haastattelu hankkeen edustajan kanssa. Haastateltava

haluaa pysyä nimettömänä. Gasum Oy.

Haastattelu 24.6.2014. Haastattelu samankokoisen aluksen konepäällikön kanssa. Haastateltava ja hänen edustamansa varustamo haluavat pysyä nimettöminä.

Haastattelu 28.8.2014. Haastattelu suomalaisen varustamon asiantuntijan kanssa. Haastateltava haluaa pysyä nimettömänä.

Haastattelu 6.4.2014. Haastattelu hankkeen edustajan kanssa. Haastateltava haluaa pysyä nimettömänä. Gasum Oy.

Herdzik, J. 2011. LNG as marine fuel – possibilities and problems. Tutkimus. Gdynia Maritime University.

IMO progresses IGF Code. 2013. LNG World Shipping -julkaisuja. LNG World Shipping -internetsivut. Saatavissa: [www.rivieramm.com/article/imo-progresses-igf-code-15216](http://www.rivieramm.com/article/imo-progresses-igf-code-15216) [viitattu 16.4.2014]

International Energy Agency. 2009. Natural Gas in China, Market evolution and strategy. Tutkimus. International Energy Agency.

International Gas Union. 2013. World LNG Report 2013. Tutkimus. International Gas Union.

Japan shuts down last nuclear reactor – for now. 2013. CNN:n internetsivut. Saatavissa: [edition.cnn.com/2013/09/15/world/asia/japan-nuclear-reactor-shutdown](http://edition.cnn.com/2013/09/15/world/asia/japan-nuclear-reactor-shutdown) [viitattu 13.6.2014]

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

Klemola, K. 2013. Maakaasu. Tutkimus. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Kolyandr, A. 2008. Gazprom Pulls Plug on \$3.5B Baltic LNG Project. Downstream Today. Downstream Todayn internetsivut. Saatavissa: [downstreamtoday.com/news/article.aspx?a\\_id=8554](http://downstreamtoday.com/news/article.aspx?a_id=8554) [viitattu 10.10.2014]

Laivapolttoaineen rikkipitoisuus. 2009. Julkaisuja 20/2009. Liikenne ja viestintäministeriö.

Langfeldt, L. & Pewe, H. 2013. Study on Standards and Rules for Bunkering of Gas-Fuelled Ships. Tutkimus. European Maritime Safety Agency (EMSA).

LNG Break Bulk Rotterdam. 2014. Vopakin julkaisuja. Vopakin internetsivut. Saatavissa: [vopak.com/about-us/about-us/global-lng/feasibility-studies.html](http://vopak.com/about-us/about-us/global-lng/feasibility-studies.html) [viitattu 10.10.2014]

LNG Bunkering Report Predicts Asian Focus. 2014. Maritime Executiven internetsivut. Saatavissa: <http://www.maritime-executive.com/article/LNG-Bunkering-Report-Predicts-Asian-Focus-2014-01-16> [viitattu 25.6.2014]

LNG Bunkering: High Flying in Europe But it's The East That Will Make it Soar. 2014. LNG Bunkering Summit 2015 -julkaisuja. LNG Bunkering Summit 2015. LNG Bunkering Summit 2015 -internetsivut. Saatavissa: <http://www.lngbunkeringsummit.com/MediaCenter.aspx> [viitattu 27.9.2014]

LNG market development. 2014. Gazpromin julkaisuja. Gazpromin insternetsivut. Saatavissa: [gazprom.com/press/news/2014/march/article187031](http://gazprom.com/press/news/2014/march/article187031) [viitattu 10.10.2014]

LNG Supply Chain. 2014. Gas Logisticsin julkaisuja. Gas Logisticsin internetsivut. Saatavissa: [www.gaslogltd.com/lng/lng-supply-chain](http://www.gaslogltd.com/lng/lng-supply-chain) [viitattu 13.6.2014]

LNG Terminal in Poland. 2014. Polskie LNG:n julkaisuja. Polskie LNG:n internetsivut. Saatavissa: [en.polskielng.pl/lng/lng-terminal-in-poland](http://en.polskielng.pl/lng/lng-terminal-in-poland) [viitattu 9.10.2014]

LNG to be available in Hamburg and Bremenhaven. 2013. The Linde Groupin julkaisuja. The Linde Groupin internetsivut. Saatavissa: [http://www.the-linde-group.com/en/news\\_and\\_media/press\\_releases/news\\_20131121.html](http://www.the-linde-group.com/en/news_and_media/press_releases/news_20131121.html) [viitattu 10.10.2014]

LNG-Terminal Gothenburg. 2014. LNG-Terminal Gothenburgin julkaisuja. LNG-Terminal Gothenburgin internetsivut. Saatavissa: <http://www.lngterminalgothenburg.com/FAQs> [viitattu 16.9.2014]

LNG-tuontiterminaali ja voimalaitos Haminan satamaan. 2013. Haminan Energia Oy:n lehdistötiedote 18.11.2013. Haminan Energia Oy.

Low sulphur fuel supply. 2013. Maritime Journalin internetsivut. Saatavissa: <http://www.maritimejournal.com/news101/pollution-control/low-sulphur-fuel-supply-from-2015> [viitattu 1.7.2014]

Maakaasu. 2014. Energiateollisuus ry:n julkaisuja. Energiateollisuus ry:n internetsivut. Saatavissa: [www.energia.fi/energia-ja-ymparisto/energiالاhteet/maakaasu](http://www.energia.fi/energia-ja-ymparisto/energiالاhteet/maakaasu) [viitattu 13.6.2014]

Maakaasun ominaisuudet. 2014. Gasumin julkaisuja. Gasumin internetsivut. Saatavissa: [www.gasum.fi/Kaasutietoutta/Maakaasu](http://www.gasum.fi/Kaasutietoutta/Maakaasu) [viitattu 13.6.2014]

Major interest in loading small ships at Zeebrugge LNG terminal. 2012. Fluxsysin julkaisuja. Fluxsysin internetsivut. Saatavissa: [fluxys.com/belgium/en/NewsAndPress/2012/121219\\_Press\\_SmallScaleLNG](http://fluxys.com/belgium/en/NewsAndPress/2012/121219_Press_SmallScaleLNG) [viitattu 10.10.2014]

Merenkulun rikkipäästörajojen vaikutukset Suomeen. 2014. Suomen Varustamot ry:n julkaisuja. Suomen Varustamot ry:n internetsivut. Saatavissa: [shipowners.fi/fi/ymparisto/ilmansuojelu+ja+ilmastonmuutos/merenkulun+rikkipaa+stot](http://shipowners.fi/fi/ymparisto/ilmansuojelu+ja+ilmastonmuutos/merenkulun+rikkipaa+stot) [viitattu 13.6.2014]

Merikuljetukset Suomessa. 2014. Logistiikan Maailman julkaisuja. Logistiikan Maailman internetsivut. Saatavissa: [logistiikanmaailma.fi/wiki/Merikuljetukset\\_Suomessa](http://logistiikanmaailma.fi/wiki/Merikuljetukset_Suomessa) [viitattu 13.6.2014]

Merriam-Webster. 2014. British thermal unit. Yksikön määritelmä. Saatavissa: <http://www.merriam-webster.com/dictionary/british%20thermal%20unit> [viitattu 18.6.2014]

Notteboom, T., Delhaye E. & Vanherle K. 2010. Analysis of the Consequences of Low Sulphur Fuel Requirements. Tutkimus. European Community Shipowners' Associations (ECSA).

Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet – metaani. 2014. Työterveyslaitoksen julkaisuja. Työterveyslaitoksen internetsivut. Saatavissa: [www.ttl.fi/ova/metaani.html](http://www.ttl.fi/ova/metaani.html) [viitattu 13.6.2014]

Pohjanpalo, O. 2013. Wärtsilän rikkipesurit tehdään norjalaispajassa. Helsingin Sanomien internetsivut. Saatavissa: <http://www.hs.fi/talous/a1363496622350> [viitattu 10.10.2014]

Pohjanpalo, O. 2014. Kaasu tuo liikennettä Jäämerelle. Helsingin Sanomien internetsivut. Saatavissa: [hs.fi/talous/Kaasu+tuo+liikennett%C3%A4+J%C3%A4%C3%A4merelle/a1395212882627](http://hs.fi/talous/Kaasu+tuo+liikennett%C3%A4+J%C3%A4%C3%A4merelle/a1395212882627) [viitattu 4.4.2014]

Port of Rotterdam Authority. 2013. Inland shipping can now officially refuel with LNG in Rotterdam. Port of Rotterdamin julkaisuja. Port of Rotterdamin internetsivut. Saatavissa: [portofrotterdam.com/en/News/pressreleases-news/Pages/inland-shipping-officially-refuel-lng-rotterdam.aspx](http://portofrotterdam.com/en/News/pressreleases-news/Pages/inland-shipping-officially-refuel-lng-rotterdam.aspx) [viitattu 16.6.2014]

Raakaöljyn hintakehitys. 2014. Neste Oilin julkaisuja. Neste Oilin internetsivut. Saatavissa: [nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,107,6683,6689](http://nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,107,6683,6689) [viitattu 13.6.2014]

Revised IGF Code agreed by Sub-Committee. 2013. IMO:n julkaisuja. IMO:n internetsivut. Saatavissa: [www.imo.org/MediaCentre/MeetingSummaries/BLG/Pages/BLG-17th-session.aspx](http://www.imo.org/MediaCentre/MeetingSummaries/BLG/Pages/BLG-17th-session.aspx) [viitattu 16.4.2014]

Sabine Pass LNG Terminal Development. 2014. HDR:n julkaisuja. HDR:n internetsivut. Saatavissa: <http://www.hdrinc.com/portfolio/sabine-pass-lng-terminal-development> [viitattu 16.9.2014]

Semolinos, P. 2013. LNG as marine fuel: challenges to be overcome. Tutkimus. Total.

Shipping in The Gas Age. 2013. Verkkodokumentti. Wärtsilä.

Sulphur oxides – Regulation 14. 2014. IMO:n säädöksiä. IMO:n internetsivut. Saatavissa: [imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-%28SOx%29-%E2%80%93-Regulation-14.aspx](http://imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-%28SOx%29-%E2%80%93-Regulation-14.aspx) [viitattu 13.6.2014]

Suomen Kaasuyhdistys ry. 2014. Maakaasukäsikirja. Verkkojulkaisu. Saatavissa: [http://kaasuyhdistys.fi/sites/default/files/kuvat/kirja/MaakaasuKasikirja\\_helmi2014.pdf](http://kaasuyhdistys.fi/sites/default/files/kuvat/kirja/MaakaasuKasikirja_helmi2014.pdf) [viitattu 27.9.2014]



Suomenlahdelle rakennetaan kaksi kaasuterminaalia. 2014. Helsingin Sanomien internetsivut. Saatavissa:

[hs.fi/talous/Suomenlahdelle+rakennetaan+kaksi+kaasuterminaalia/a1393578642621](http://hs.fi/talous/Suomenlahdelle+rakennetaan+kaksi+kaasuterminaalia/a1393578642621) [viitattu 27.9.2014]

Sweden's first LNG terminal now opened. 2011. AGA:n julkaisuja. AGA:n internetsivut. Saatavissa:

<http://www.aga.com/international/web/lg/aga/like35agacom.nsf/0/D8B7FA891FC91CCFC12578A700343D28> [viitattu 16.9.2014]

Talouselämä-lehti 18/2014.

Talouselämä-lehti 19/2014.

Tekniikka & Talous -lehti 14.3.2014.

Tekniikka & Talous -lehti 8.2.2014.

TEM. 2014. TEM tukee kolmen LNG-terminaalin rakentamista 65,2 miljoonalla eurolla. 2014. Työ- ja elinkeinoministeriön tiedotteet. Työ- ja elinkeinoministeriön internetsivut. Saatavissa:

[http://www.tem.fi/energia/tiedotteet\\_energia?89519\\_m=116055](http://www.tem.fi/energia/tiedotteet_energia?89519_m=116055) [viitattu 20.9.2014]

The World Factbook. 2014. CIA:n julkaisuja. CIA:n internetsivut. Saatavissa:

<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2108rank.html> [viitattu 25.6.2014]

Understanding exhaust gas systems. 2012. Tutkimus. Lloyd's Register.

Vukmanovic, O. & McAllister, E. 2014. World buyers line up to buy U.S. natural gas. Reutersin internetsivut. Saatavissa: [reuters.com/article/2014/01/24/us-lng-sales-idUSBREA0N0XS20140124](http://reuters.com/article/2014/01/24/us-lng-sales-idUSBREA0N0XS20140124) [viitattu 19.3.2014]

Vuosikertomus. 2013. Haminan Energia Oy:n julkaisuja. Haminan Energia Oy.

Waterborne Energy. 2014. World LNG Estimated June 2014 Landed Prices.

Weirauch, W. 2004. World's natural gas use to double by 2030. Hydrocarbon Processing -lehden internetsivut. Saatavissa: [hydrocarbonprocessing.com/Article/2599153/HPImpact-Worlds-natural-gas-use-to-double-by-2030-says-IEA.html](http://hydrocarbonprocessing.com/Article/2599153/HPImpact-Worlds-natural-gas-use-to-double-by-2030-says-IEA.html) [viitattu 13.6.2014]

What is Rollover Condition in Gas Carrier Ships. 2011. Marine Insightin julkaisuja. Marine Insightin internetsivut. Saatavissa: [marineinsight.com/tech/what-is-rollover-condition-in-gas-carrier-ships](http://marineinsight.com/tech/what-is-rollover-condition-in-gas-carrier-ships) [viitattu 15.4.2014]

Wärtsilälle sopimus LNG-terminaalin toimittamisesta Tornioon. 2014. Wärtsilän julkaisuja. Wärtsilän internetsivut. Saatavissa: [wartsila.com/fi\\_FI/tiedotteet/wartsilalle-sopimus-lng-terminaalin-toimittamisesta-tornioon](http://wartsila.com/fi_FI/tiedotteet/wartsilalle-sopimus-lng-terminaalin-toimittamisesta-tornioon) [viitattu 16.6.2014]

Öljynjalostusanimaatio. 2014. Neste Oilin julkaisuja. Neste Oilin internetsivut. Saatavissa: [www.nesteoil.fi/oljynjalostusanimaatio](http://www.nesteoil.fi/oljynjalostusanimaatio) [viitattu 13.6.2014]