

LNG-kuljetukset

- säiliö-, laiva- ja moottoritekniikasta
- erityisvaatimukset pohjoisilla merialueilla

Kaasualan neuvottelupäivät 20.-21.5.2015

Helsinki-Tallinna, m/s Viking XPRS ja Tallinna Nordic Hotel Forum

Mauri Lindholm
Aker Arctic Technology Oy



SISÄLTÖ

■ Yleistä LNG:stä ja sen kuljettamisesta

- LNG:stä ja sen tuottamisesta
- LNG – mitä se on, koostumus
- LNG – verrattuna muihin polttoaineisiin
- LNG – mistä minne
- LNG – kuljetusmääristä
- LNG-laivat, laivojen lukumäärästä
- CNG-laivoista

■ Tankkikonsepteista, LNG-laivoista

- LNG:n kuljetuslaivoista
- LNG-laivojen historiaa – 50 vuotta
- Eri tankkityypeistä, tavallisimmat ratkaisut
- Esimerkkejä LNG-laivoista

■ Tankkiratkaisuista

- Moss-pallotankki
- SBP-tankki
- Prismaattiset membraanitankit
- Paineastiatankit
- Erikoistapauksia, varasto- ja polttoainetankkeja



"Mubarak", 135.000 m³, Kvaerner Masa-Yards 1996

SISÄLTÖ (jatkoa)

■ Erikoisratkaisuja ja -aluksia

- Kelluvat varastoalukset, kaasutus-alukset
- Kelluvat tuotanto- ja varastolaitokset

■ Lisää LNG-tankkeja

- Maatankkeja
- Kelluvat varastotankit
- Pohjaan tukeutuvat varastotankit
- LNG-polttoainetankit

■ LNG-laivojen koneistoista

- Höryturbiinikoneisto
- Diesel-sähköinen koneisto
- Konventionaalinen hidas 2-tahtidiesel
- Kaasukäyttöinen hidas 2-tahtidiesel
- Muita, hybridikoneistoista



SISÄLTÖ (jatkoa)

■ Talvimerenkulun vaatimuksia laivoille

- Talviolosuhteiden vaikutuksista, suunnittelusta
- Kylmä ilmasto, arktiset olosuhteet

■ Yamal LNG

- Sabetan LNG-laitos ja satama rakenteilla
- Jamalin LNG-laivoista

■ Aker Arctic

- Toiminnasta, historiasta
- Mallikoelaitoksesta ja asiakaskunnasta



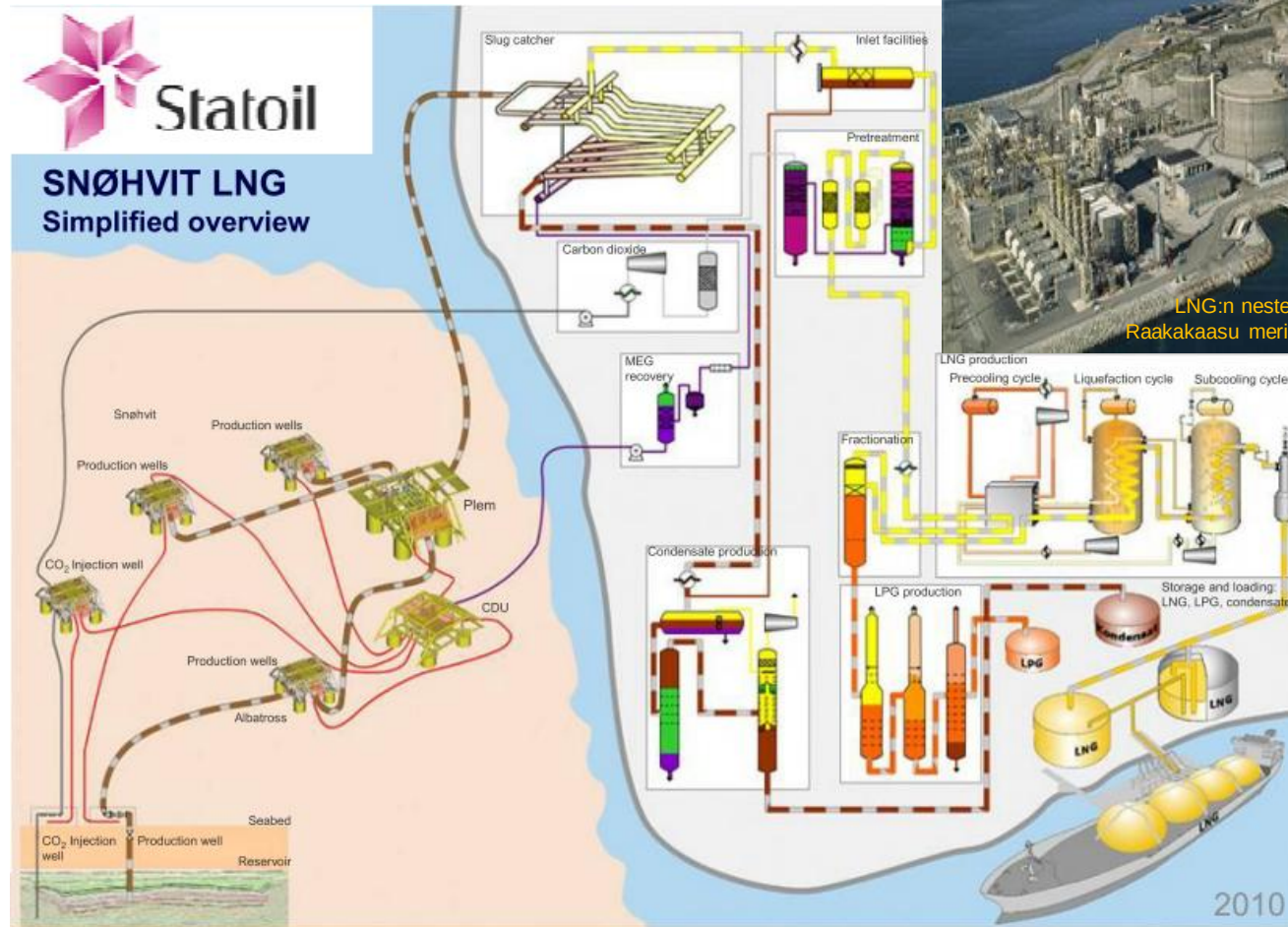
Jään kertyminen kannelle voi heikentää laivan vakavuutta ja estää laitteiden käytön.



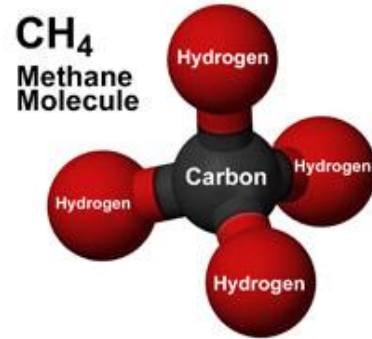
Vuosaaren uusi satama, keskellä atualalla Aker Arcticin toimitilat: jäämallilaboratorio, toimistotilat vuodesta 2005.

LNG:stä ja sen tuottamisesta

- esimerkki tuotantolaitoksesta



Mitä LNG on?



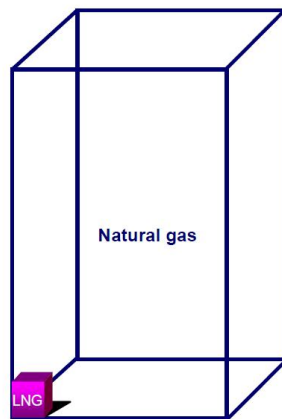
- Maakaasua nesteytetyssä muodossa, -160°C (norm. ilmanpaineessa)
- Kaasua tiivistetyssä muodossa, tilavuus 1/600 kaasufaasiin verrattuna
- Pääkomponentti metaani CH_4
- Väritön, hajuton, myrkytön kaasu, ei aiheuta korroosiota
- Kevyt neste, $0.42 \dots 0.45 \text{ t/m}^3 \Rightarrow$ varastointi vaatii tilaa
- Kaasumainen metaani on ilmaa kevyempää $\Rightarrow$ kaasuvuoto haihtuu ilmaan
- Energiasisältö painoyksikköä kohti $>20\%$ raskasöljyä suurempi
- Metaani syttyy ilman kanssa sekoittuneena, kun sen konsentraatio on 5-15%
- Syttyvä, syttyy itsestään vasta yli 595°C :een lämpötilassa.

Mitä LNG on?

- koostumus

Origin	Nitrogen %	Methane %	Ethane %	Propane %	C4+ %	LNG density kg/m ³	Gas density kg/m ³	Expansion	GCV		LHV
									MJ/nm ³	MJ/kg	MJ/kg
Indonesia	0,1	90,6	7	2	0,3	454	0,8	567	43,9	54,9	49,4
Malaysia	0,3	89,8	5,2	3,3	1,4	463	0,822	563	44,7	54,4	48,9
Australia	0,1	89,3	7,1	2,5	1	459	0,813	565	44,4	54,6	49,1
Brunei	0,1	90,1	4,8	3,4	1,6	463	0,824	562	44,9	54,5	49,0
Algeria-Arzew	0,6	87,6	9	2,2	0,6	464	0,819	567	44,3	54,1	48,6
Algeria-GL1Z	1	87,9	8,5	2	0,6	464	0,814	570	43,9	53,9	48,4
Algeria-GL2Z	0,6	91,3	7,5	0,6	0	448	0,776	578	42,3	54,5	49,0
Algeria-Skikda	1,4	91,2	6,7	0,6	0,1	452	0,777	582	41,8	53,8	48,3
Abu Dhabi	0,4	85,2	13,2	1	0,2	463	0,82	565	44,6	54,4	48,9
Qatar	0,4	89,9	6	2,2	1,5	458	0,815	562	44,3	54,4	48,9
Libya	0,9	83,2	11,8	3,5	0,6	479	0,853	561	45,8	53,7	48,2
Nigeria	0,1	91,6	4,6	2,4	1,3	456	0,801	569	43,9	54,8	49,3
Oman	0,2	87,7	7,5	3	1,6	469	0,834	562	45,4	54,4	48,9
Alaska	0,1	99,3	0,3	0,2	0,1	425	0,725	586	40,2	55,4	50,0
Trinidad	0	96,9	2,7	0,3	0,1	430	0,763	582	40,9	53,6	48,1
k.a.	0,4	90,1	6,8	1,9	0,7	456,5	0,804	569	43,7	54,4	48,9

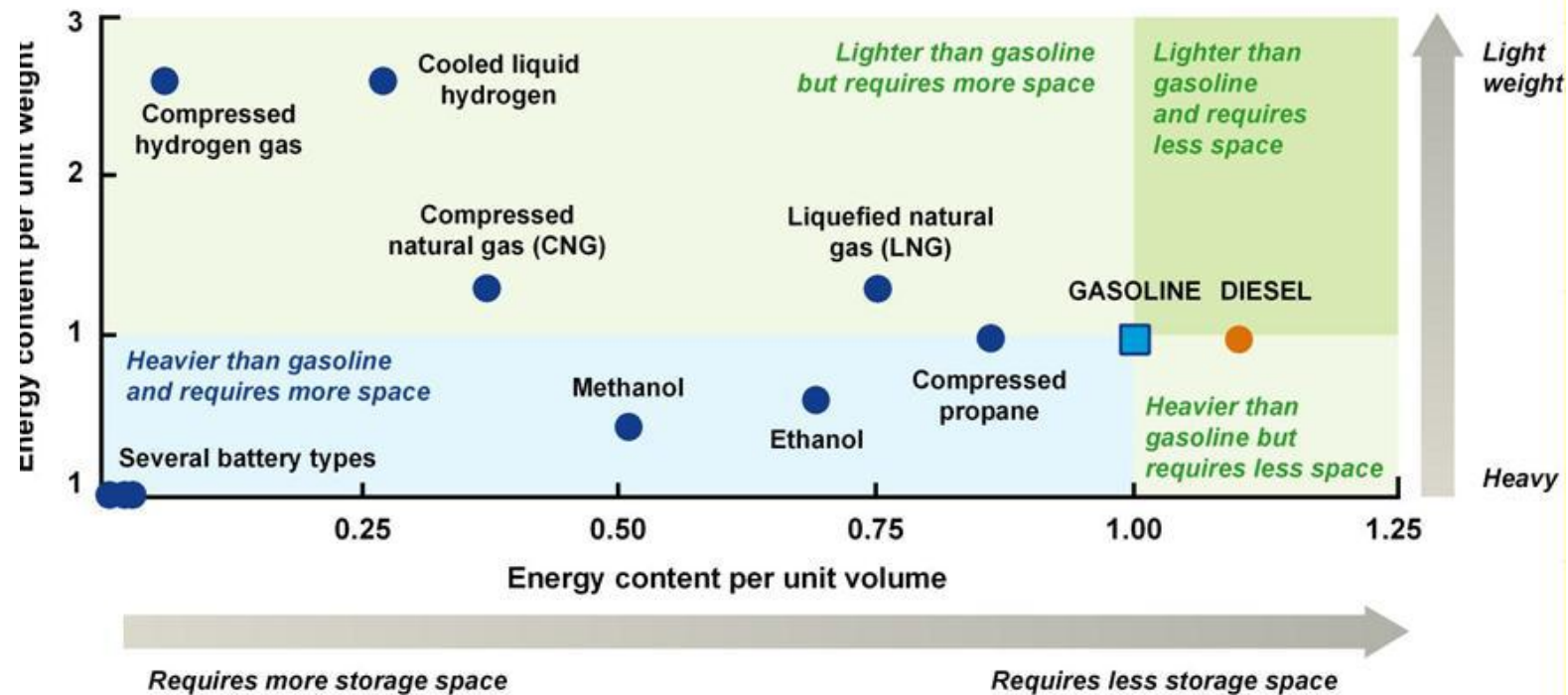
Esimerkkejä LNG:n koostumuksesta



Maakaasu koostuu pääasiassa metaanista (85-95%).
Mukana sitä pitkäketjuisempia hiilivetyjä sekä typpeä.

LNG on nesteytettyä maakaasua, sen tilavuus on
noin 1/600 maakaasun tilavuudesta.

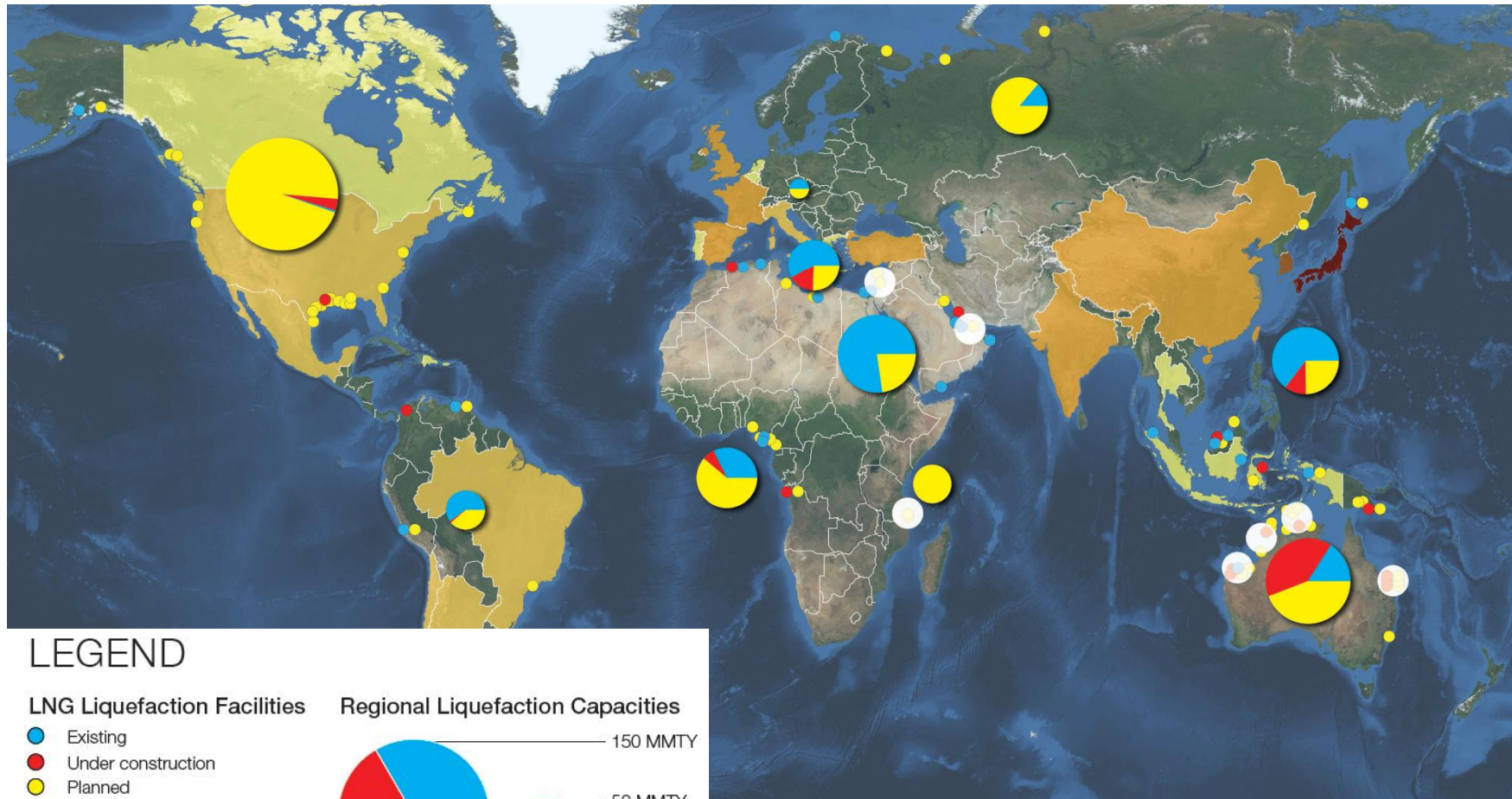
LNG verrattuna muihin polttoaineisiin



IHS CERA reproduced based on US EIA, "Few transportation fuels surpass the energy densities of gasoline and diesel", *Today in Energy*, February 14, 2013.

- Sisältää >20% enemmän energiaa painoa kohden kuin raskas polttoöljy (HFO)
- LNG:n on 'rikasta' mutta kuitenkin kevyttä polttoainetta, ⇒ säilytys vaatii paljon tilaa
- Huom: LNG:tä ei käytetä sellaisenaan polttoaineena vaan se tulee ensin höyrystää

LNG-tuotannon maailmankartta (2013)



LEGEND

LNG Liquefaction Facilities

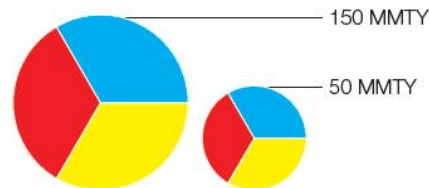
- Existing
- Under construction
- Planned

2012 LNG Imports

- Greater than 40
- 20 - 40
- 5 - 20
- 2 - 5
- Less than 2

* in MMTY

Regional Liquefaction Capacities



* Volumes are proportional to circle area

Sininen: olemassa oleva nesteytyskapasiteetti
Punainen: Rakenteilla oleva kapasiteetti
Keltainen: Suunnitteilla oleva kapasiteetti

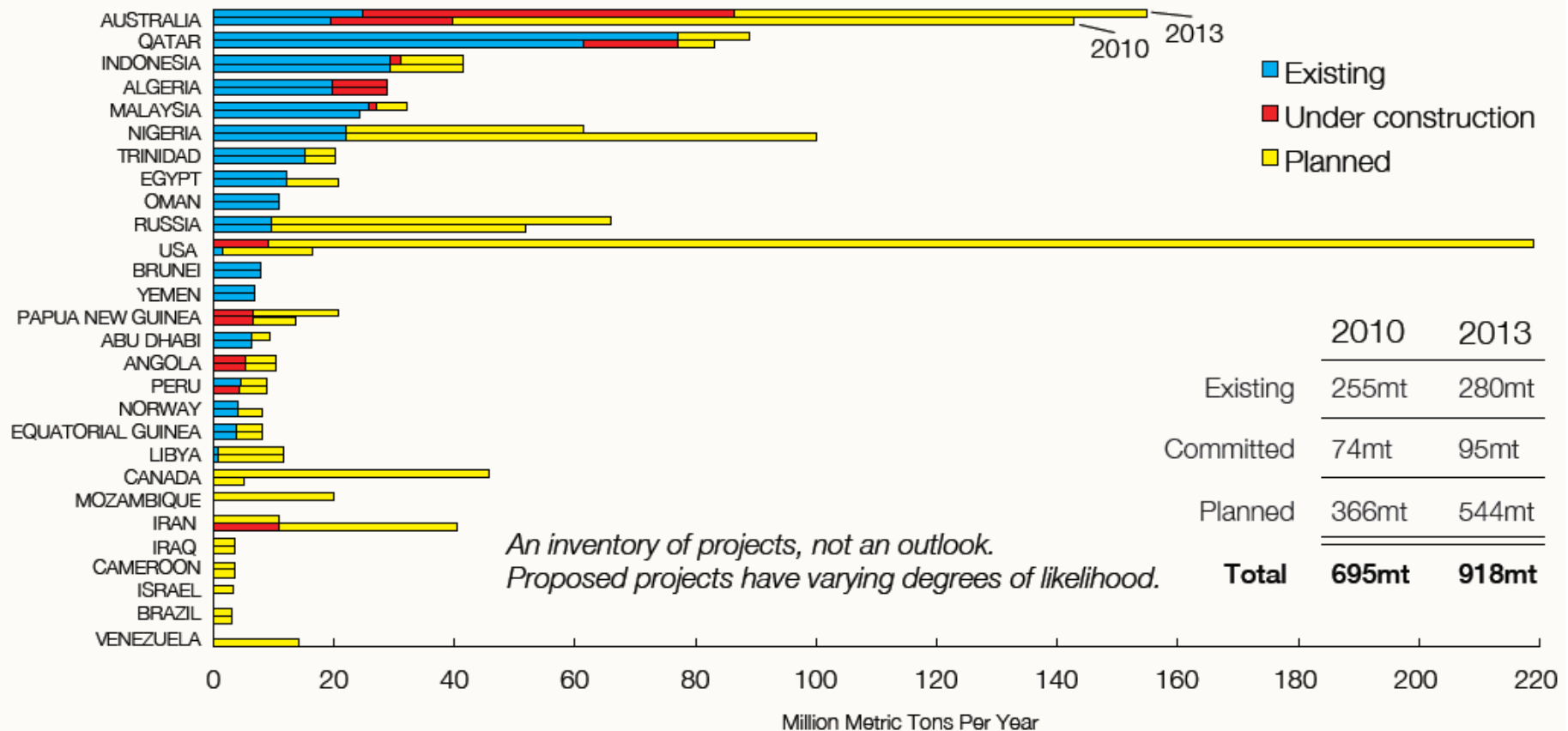
Aker Arctic

The Ice Technology Partner

Slide 9

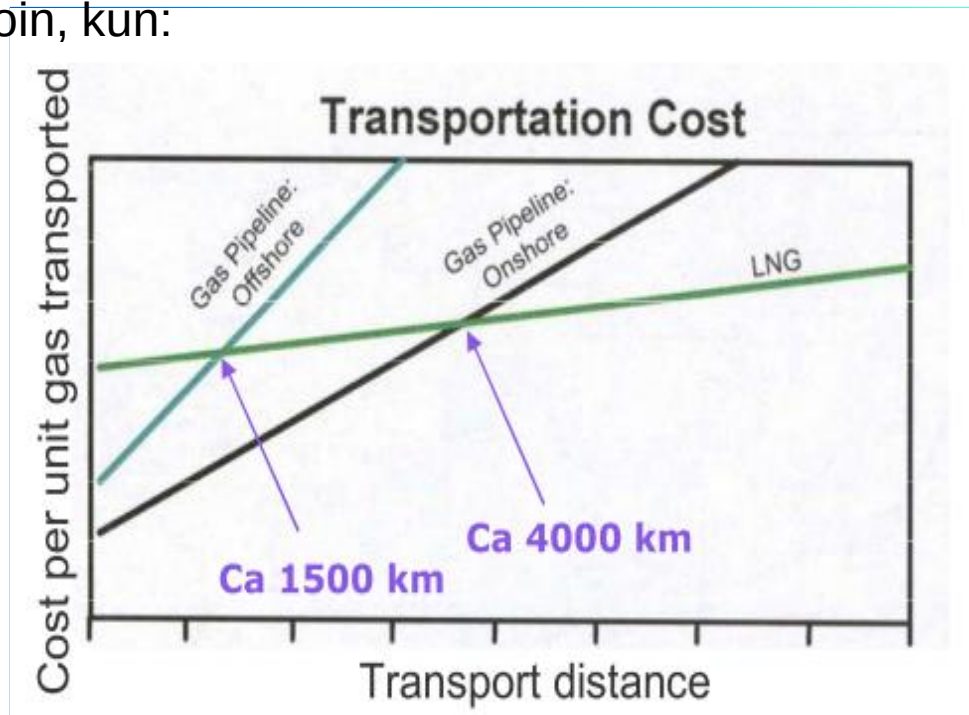
LNG-tuotanto, nesteytyskapasiteetti (2013)

Liquefaction Comparison



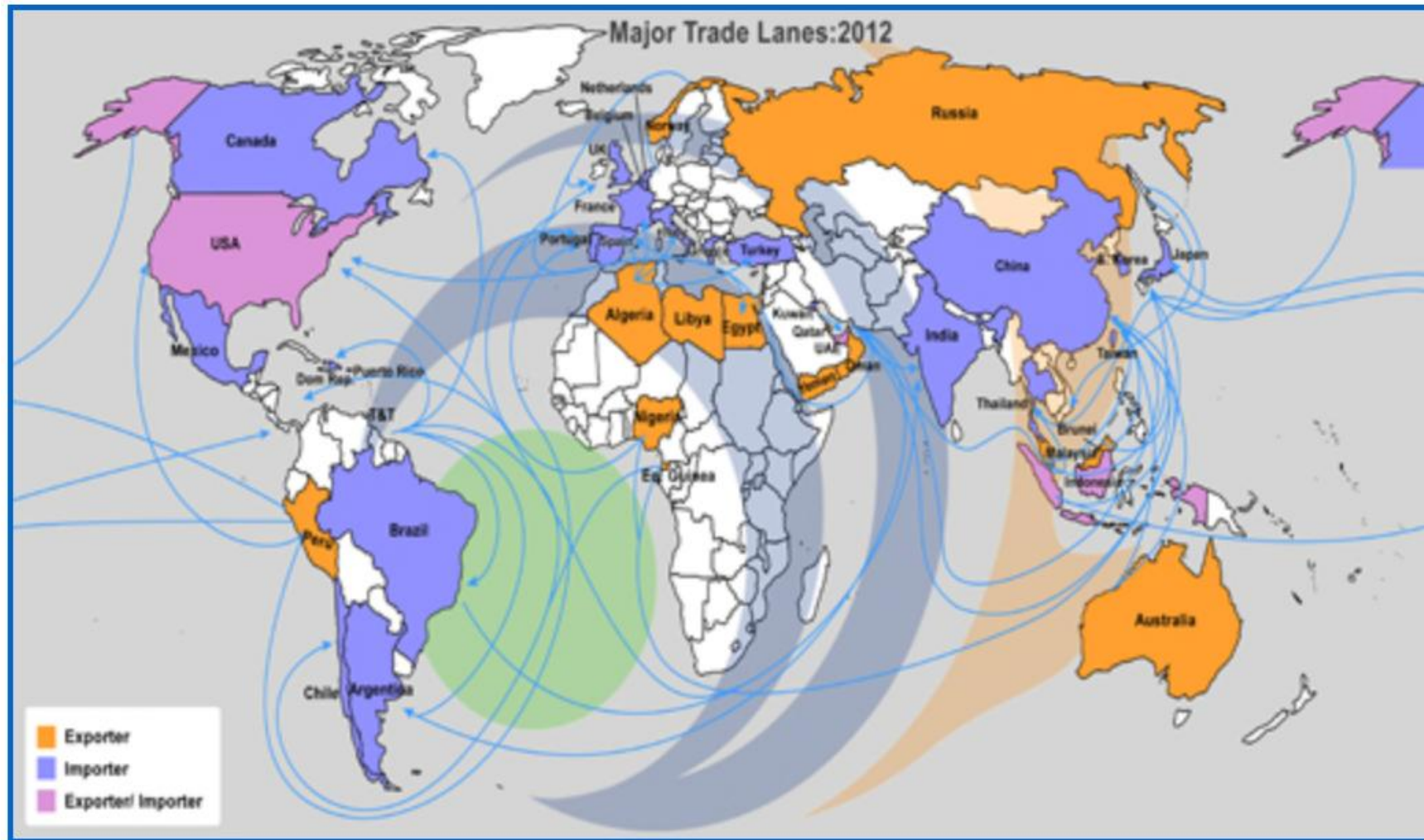
LNG:n kuljetus - miksi meritse?

- Tuotantoalueet sijaitsevat usein kaukana kuluttajista
- Maakaasua kuljetetaan ensisijaisesti kaasumaisessa muodossa putkiverkostoa pitkin
- Maakaasua nesteytään LNG:ksi vain sen tehokkaan merikuljetuksen vuoksi
- Kuljetus meritse on mielekästä silloin, kun:
 - kuljetusmatka on pitkä
 - putkilinjan rakentaminen on vaikeata tai mahdotonta
 - halutaan jakeluun joustavuutta (laivat voivat palvella vaihtelevilla reiteillä)
 - Kaasua halutaan varastoida tuotanto- tai vastaanottopäässä
 - geopoliittiset syyt estävät putkiyhteyden rakentamisen



LNG – mistä mihin

- merikuljetukset



Source: LNG OneWorld

Aker Arctic

The Ice Technology Partner

Slide 12

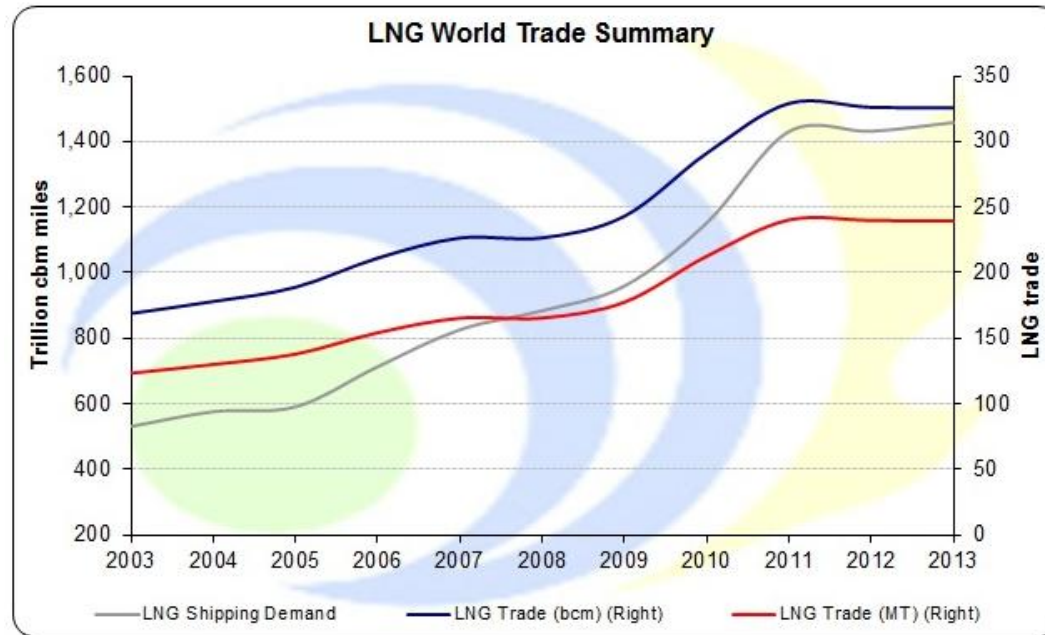
LNG:n maailmankauppa (2012, milj. tonnia/a)

	Qatar	Malaysia	Australia	Nigeria	Indonesia	Trinidad	Algeria	Russia	Oman	Brunei	Abu Dhabi	Egypt	Yemen	Peru	Equatorial Guinea	Norway	United States	Re-Exports*	TOTAL IMPORTS
Japan	16.7	14.6	16.8	4.8	6.2	0.3	0.2	8.3	4.0	6.9	6.6	1.0	0.3	0.8	2.8	0.4	0.3	0.7	87.4
Korea	10.3	4.1	0.8	1.8	7.4	0.8	0.1	2.2	4.1	0.8		0.6	2.6		0.4			0.2	36.2
China	6.0	1.9	3.6	0.3	2.4	0.2	0.1	0.4	0.1			0.3	0.6						14.7
India	10.9			1.4			0.4					0.6	0.4			0.0		0.3	14.0
Spain	2.8			4.0		1.6	2.7					0.6		2.0		1.1		-1.1	13.7
Taiwan	6.0	2.9	0.3	1.2	1.8	0.1	0.1					0.2			0.1	0.1		0.1	12.8
United Kingdom	9.9			0.1			0.1					0.1				0.2			10.3
France	1.1			1.9			3.4					0.7				0.1		-0.2	7.0
Turkey	0.9			1.0			3.1					0.4				0.1		0.2	5.7
Italy	3.0						0.7					0.1						0.1	3.9
Argentina	0.1					2.7						0.1				0.2		0.8	3.8
Mexico	1.3			0.8	0.2	0.1							0.3	0.9					3.5
United States	0.7					2.3						0.1	0.4			0.1		-0.4	3.2
Chile						2.3						0.1	0.2		0.3	0.1			3.0
Brazil	0.8			0.3		0.9										0.1		0.1	2.3
Kuwait	1.2		0.1	0.4		0.2						0.1				0.1			2.1
Portugal	0.1			1.3		0.1						0.1						-0.0	1.5
Dubai	1.1					0.1					0.1								1.3
Canada	0.7					0.6													1.2
Belgium	2.4																	-1.3	1.1
Thailand	0.2			0.1		0.1							0.4	0.3					1.0
Caribbean	0.1			0.0		1.7										0.1			1.9
Greece				0.1			0.6					0.1			0.1	0.2		0.0	1.0
Indonesia					0.7														0.7
Netherlands				0.1		0.1	0.1									0.4			0.6
TOTAL EXPORTS	74.2	23.4	20.5	19.6	18.8	13.8	11.4	10.9	8.1	6.7	5.6	5.2	5.2	4.0	3.6	3.4	0.3	-0.7	234.1

*Re-exports — negative indicates total re-exports out of a market and positive indicates total volumes imported from re-export markets

LNG:n kuljetussuorite vuodessa

- tonnimalia (vasen asteikko)
- miljardia m³ kaasuekvivalenttina ja miljoonaa tonnia (oikea asteikko)



Source: LNG OneWorld

- Tällä hetkellä laivakapasiteetti ja kuljetustarve ovat melko hyvin tasapainossa (mutta kasvussa).
- Valtaosa kuljetuksista perustuu yhä pitkäaikaisiin sopimuksiin.
- Pitkänä ajanjaksona LNG:n kauppaa ja kuljetukset ovat kasvaneet 6 to 7% vuodessa.
- Jatkuessaan öljyn alhainen hintataso vaikuttaa myös LNG:n hintaan; kaasun hinnoittelun hintakoreissa tavallisesti mukana öljyn hinnasta riippuva komponentti.

LNG-laivat – laivakaluston kehityksestä

- 1970-luvun alussa LNG-laivoja oli vielä vähän, mutta niiden koko kasvoi ja vakiintui nopeasti pitkäksi ajaksi **125.000 m³**:n kokoluokkaan
- 1990-luvulla **135.000 m³** uusien laivojen uusi vakiokoko
- 2000-luvun alussa uudet laivat tyypillisesti kooltaan **150.000 m³** ja 2010-luvulla **160...170,000 m³**
- Poikkeuksellisia laivasarjoja: 31 Qatarin “Q-Flex”-laivaa (**210...216.000 m³**) ja 14 “Q-Max” -laivaa (**266.000 m³**), kaikki valmistuivat vuosina 2007-2010, rakentajana kolmella korealaista suurtelakkaa.
- Yksittäisiä pienempiä LNG-laivoja on rakennettu pitkin aikaa, mutta viime vuosina on tilattu tai luovutettu useita **8.000-30.000 m³**:n kokoisia aluksia



LNG-laivat – laivakaluston kehityksestä

Tällä hetkellä käytössä on 397 LNG-laivaa (1Q/ 2015)

- Niiden yhteiskapasiteetti on **60.108** miljoonaa m³
⇒ Lastikapasiteetin keskiarvo **151.400** m³ per laiva

Tällä hetkellä tilauksessa on 142 LNG-laivaa (1Q/2015)

- Tilattujen laivojen yhteiskapasiteetti **23.600** miljoonaa m³
⇒ Lastikapasiteetin keskiarvo noin **166.200** m³ per laiva
– valtaosa laivoista 170.000...174.000 m³
- Uusista 2-4 LNG-laivan tilauksista uutisoidaan liki kuukausittain

Vuoden 2014 aikana:

- 3 LNG-laiva romutettiin (60- ja 70-luvulla rakennettuja)
- 5 LNG-laivaa poistettiin liikenteestä (70- ja 80-luvulla rakennettuja)



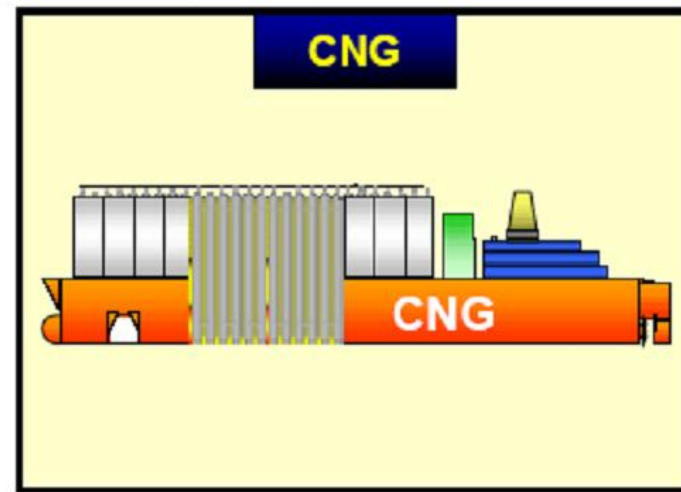
Paineistetun kaasun kuljetusalukset (CNG, PLNG)

- CNG (Compressed Natural gas) tai PLNG (Pressurized LNG) on maakaasua, joka on paineistettu pienempään tilavuuteen tehokkaamman kuljetuksen mahdollistamiseksi.
- Kaavaillut CNG-ratkaisut perustuvat jopa 250 bar paineeseen, ja tilantarve pienenee normaalipaineiseen kaasuun verrattuna vastaavasti. Puristetun kaasun tiheys on kuitenkin varsin alhainen. Yhdistetty paine + matala lämpötila tiivistävät lastia. Esimerkkejä:

<u>Pressure</u>	<u>Temp.</u>	<u>Density</u>	<u>Referred as</u>
250 bar	(amb.)	0.25 t/m ³	CNG, PNG
80 bar	-59 C°	n.a.	CNG
32 bar	-100 C°	0.32 t/m ³	PLNG
14 to 17 bar	-115 C°	n.a.	PLNG, Medium Condition LG
1 bar	-162 C°	0.46 to 0.47	LNG

- Vielä nykyisin maakaasua kuljetetaan vain putkikaasuna tai nesteytettynä LNG:nä.
- Monilla tahoilla on suunniteltu aluksia, jotka kuljettaisivat paineistettua maakaasua. Vaihtoehto sopisi pienten syrjäisten kaasuesiintymien hyödyntämiseen, prosessi yksinkertainen ja vaadittava infrastruktuuri vähäinen.
- Hyödyt: Kaasun käsittelyn yksinkertaisuus: kaasun nesteytys voidaan välttää, ja lasti voidaan purkaa määränpäässä suoraan putkiverkkoon. Lyhytkestoinen toiminta mahdoll.
- Haitat: Kevyttä lastia ⇒ tankkien suuri tilantarve ja raskas rakenne; Käytännössä ei voi varastoida maissa paineistettuna ⇒ laivan purettava putkiverkkoon, mikä vaatii aikaa.

CNG- ja PLNG-lastitankkiratkaisuja



- Erillisiä korkeapainetankkeja lukuisasti, pitkänomaisia painetankkeja sijoitetaan laivaan kymmenittäin tai sadoittain, pitkittäin, poikittain tai pystyasentoon
- Painetankki voi koostua myös yhdestä pitkästä kelalle kierretystä kaasuputkesta ("Coselle")
- Ensimmäiset CNG-painetankilaivat valmistumassa (*)



*)

The world's first ever carrier vessel for compressed natural gas is to be powered by an integrated Wärtsilä propulsion system.

The vessel is being built at the Jiangsu Hantong shipyard in China ordered by CIMC ENRIC and designed by CIMC ORIC for end user Perusahaan Listrik Negara, the Indonesian state-owned energy company. The order with Wärtsilä was placed during the fourth quarter, 2014, the company informed in a statement. The 110 m long carrier is scheduled to be in operation in May 2016 and will transport CNG from Gresik in East Java to the Indonesian island of Lombok where the gas will be used to fuel a power plant.



LNG:n kuljetusalukset



LNG-laivat (= LNG:tä kuljettavat laivat)

- Valtaosa suurikokoisia laivoja, jotka kuljettavat lasteja merentakaisista tuotantolaitoksista maailmanmarkkinoille, keskimääräinen laivakoko on ajan myötä kasvanut (laivoja liikenteessä yli kolmesataa)
- Pienemmät LNG-laivat toimivat lyhyemmillä reiteillä ja jakelevat LNG-lasteja isommista kaasutermiinaaleista lähialueelle (liikenteessä kymmeniä laivoja)
- Pieniä jakelu- ja LNG:n bunkrauslaivoja (muutamia laivoja).

LNG-laivojen lyhyt historia – onko se lyhyt?

LNG:n prototyyppitankkeja sekä LNG-laivoja on rakennettu 50/60-lukujen taitteesta alkaen

Membraanitankit ja Moss-pallotankit käyttöön 60/70-lukujen taitteessa, esikuvana nykyajan laivoille

Laajamittaiset LNG-kuljetukset alkoivat 60- ja 70-luvuilla, kasvu laantui 80-luvulla

Nykyajan LNG-laivat ovat tyypillisesti suuria, nopeita, kalliita erikoislaivoja, joiden käyttö- ja elinikä on pitkä. Romuttamisen sijasta useita vanhoja laivoja on muutettu kelluviksi kaasuvälikkeiksi ja jälleenhöyrystyslaitoksiksi (floating storage & regasification units = FSRU).

Useat uudet LNG-tankkikonseptit ja -keksinnöt eivät menesty ja katoavat – eri syistä; vain harvat käyttökelpoisimmat ratkaisut ovat käytössä laivasovelluksissa.

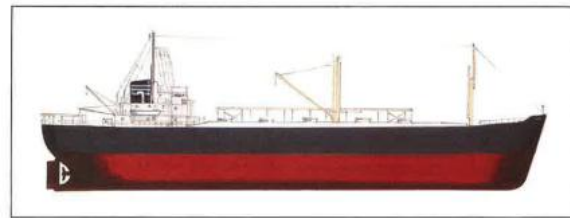
Uudenlaisten tankkikonseptien kehittäminen jatkuu, mutta niiden hyväksyttäminen ja tie menestykseen on vaikea; Useimpien uusien konseptien tie kariutuu korkeisiin kustannuksiin tai niiden detaljien ratkaisemattomiin teknillisiin ongelmiin, usein myös ennakkoluuloihin.

Esimerkkejä sitkeistä onnistujista ja epäonnistujista (muuta kuin valtatyyppien tankkiratkaisuja): Japanilainen “**SPB**”-tankkiratkaisu; monikymmenvuotinen kehitystyö johti 20 vuotta sitten kahden pienehkön laivan toteutukseen, sen jälkeen ratkaisua on sovellettu vasta aivan lähiaikoina parissa kohteessa. Ranskalaisen GTT:n “**CS-1**”, kahdesta eri membraanitankkiratkaisusta yhdistetty konsepti, sovellettu 3 laivassa 2000-luvun alussa, mutta lupaava alkua katkesi pieniin materiaalivirheisiin, jotka onnistuttiin korjaamaan, mutta maine oli mennyt!; Korealainen yhteishanke “**KC-1**” pitkään kehitteillä ollut membraanitankkisolus, ensimmäiset laivat tilattu hiljalleen.

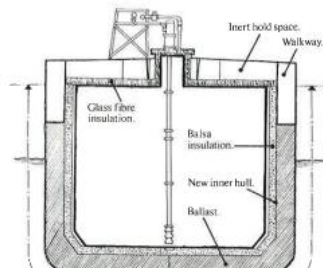
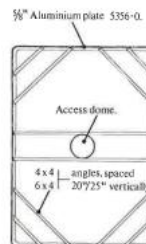
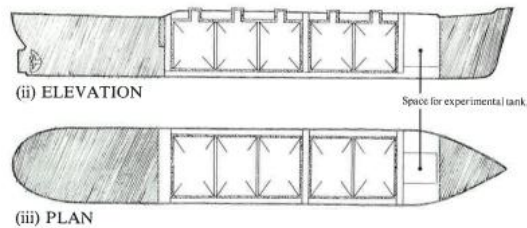


LNG-laivojen lyhyt historia, kaupallisia laivoja 50 vuotta

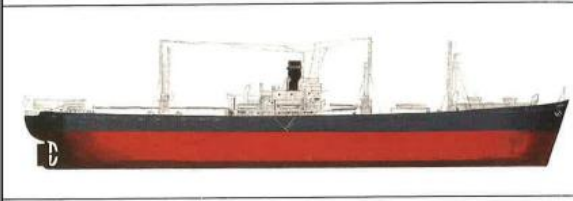
— eräitä merkittäviä prototyyppilaivoja



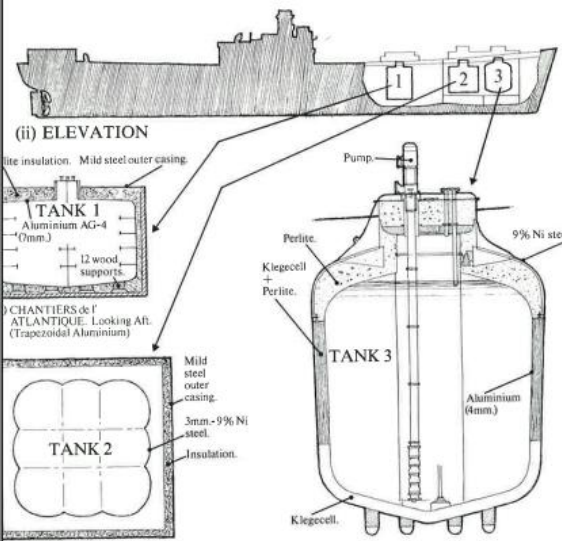
(i) GENERAL VIEW



"Methane Pioneer" 1958 Great Britain

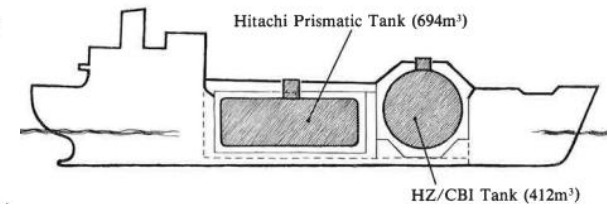


(i) GENERAL VIEW



"Beauvais" 1962, France

"Sankyo Ethylene Maru" 1974
Hitachi, Japan



LNG-tankin tyyppi = laivan tyyppi

Käytössä olevia vaihtoehtoisia tankkityyppejä :

- ◆ Prismaattine membraanitankki (kaksi valtatyyppiä, "No.96" ja "Mark III" uusine parannettuine alaversioineen)
- ◆ Moss-pallotankki (nykyään myös "venytankkiversioina")
- ◆ "SPB" japanilainen massiivinen jäykistetty laatikkomainen metallitankki (Alumiinia tai myös nikkeliteräksestä valmistettu)
- ◆ Paineastiatyyppiset tankit (nk. C-tyyppin tankki, sylinterimäisiä tai "bilobe"-kaksoissylintereitä)
- ◆ Muita uusia, vielä yksittäisiä tankkikonsepteja.

Yleensä kukin rakentajatelakka valmistaa vain yhdenlaiseen tankkikonseptiin perustuvia laivoja, koska tankkien rakentaminen vaatii merkittäviä investointeja ja erikoisia materiaaleja; tankkikonseptien käyttö edellyttää yleensä lisenssimaksuja.



Membraanitankki sisältä nähtynä



Pallotankkia nostetaan laivaan

Uleisimmät LNG-tankkiratkaisut laivoissa

Isot ja keskisuuret LNG-laivat:

- Lasti kuljetetaan nestemäisenä atmosfäärissä paineessa, lämpötila n. $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lasti säilyy kylmänä ilman jäähdytystä, sillä se kiehuu hallitun hitaasti; Höyrystyvä kaasu (boil-off) ohjataan ulos tankista ja hyödynnetään laivan kuljetuskoneistossa (tai, se voidaan joissakin laivoissa nesteyttää uudelleen ja palauttaa lastitankkiin)
- Valtaosa uusien LNG-laivojen tankkiratkaisuista on nk. membraanityyppiä; Laivojen runkotankeissa kaksi sisäpuolista eristekerrosta, joissa molemmissa nestetiivis ohut kalvo lastia vasten.
- Toinen päätyyppi on paksusta alumiinista konstruoitu pallomainen, nk. Moss-tankki, jossa ulkopuolinen lämpöeriste. Ratkaisu on menettänyt aiemman valta-asemansa membraanitankkien hyväksi.

Pienemmät uuden ajan laivat:

- Kooltaan $1.000\ldots 30.000\text{ m}^3$ sovelletaan nykyisin puolipaineisia sylinteritankkeja, käyttöpaine $4\ldots 9\text{ bar}$, LNG:n lämpötila korkeampi kuin $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ paineesta ja lastintilasta riippuen; Tällaisia laivoja rakennettu harvakseltaan ja yksittäin v. 2003 alkaen, mutta tällä hetkellä niitä on rakenteilla lukuisia.



Esimerkkejä erilaisista LNG -laivoista



Maailman pienin 1100 m³ LNG-laiva "Pioneer Knutsen", jossa kaasukäyttöinen diesel-sähköinen propulsiokoneisto. Ison LNG-laivan rinnalla, 2004.



Moss-laiva "Senshu Maru" jossa venyttyt tankit ja jatkuvarakenteinen suojakuori, 2014.



Joukko maailman suurimpia 266.000 m³:n "Q-Max" LNG-laivoja.



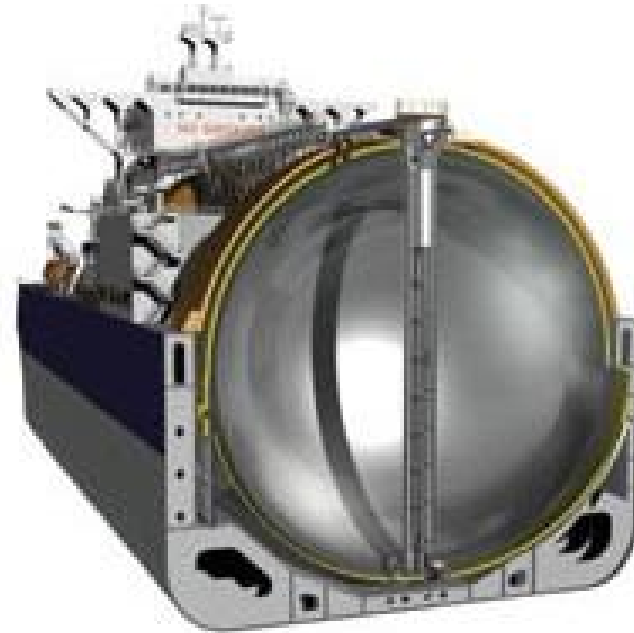
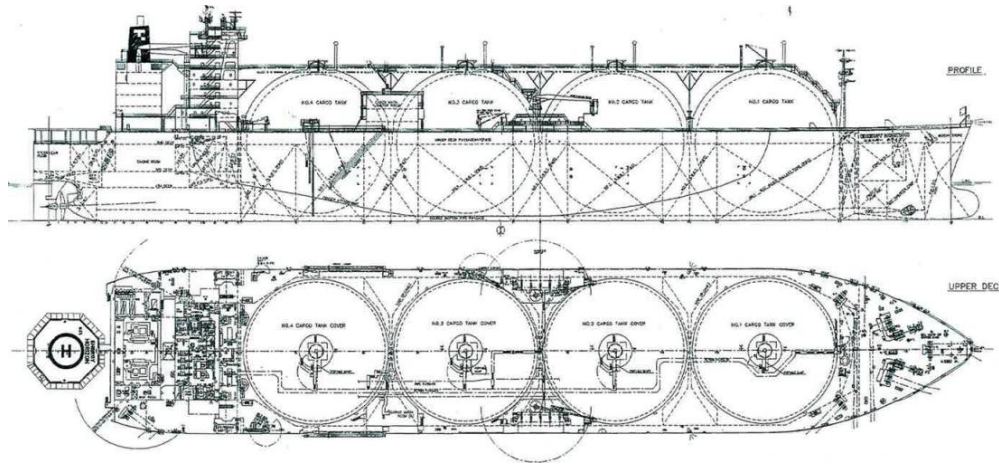
Toistaiseksi suurin Moss-laiva "Grace Dahlia" 177.000 m³. Kawasaki, 2014. Rakenteilla on samaan runkoon perustuva venytankkiversio

LNG-tankeilla asetetuista vaatimuksista

- Kaasulaivat muistuttavat ulkoisesti säiliöaluksia, joista ne on kehitetty
- Lastitankkien ja aluksen rungon liittyminen toisiinsa on poikkeava, mikä johtuu lastin erittäin alhaisesta lämpötilasta tai paineesta - tai molemmista yhtä aikaa.
- Yleisesti lastitankkijärjestelmään kuuluu:
 - Primäärinen, sisempi tiivis pinta, "tankki"
 - Sekundäärinen toinen tiivis ulompi pinta, jos sellainen kuuluu rakenteeseen (membraanitankit), pystyy pidättelemään primäärikerroksen vuodon. Voi olla nk. osittainen (Moss, SPB)
 - Tankin lämpöeriste, tankin sisäinen tai ulkoinen
 - Eristeen ja tankin välitila(t), jonka atmosfääriä valvomalla tankin mahdollinen vuoto paljastuu
 - Tankin tukirakenteita
- Laivan teräsrunko voi toimia sekundäärisenä vuotoa rajoittavana rakenteena, jos lastin lämpötila on -10 to -55°C (esim. LPG-lastit, ei sovellu LNG-lastien tapauksessa)
- Tankin ja sen tukirakenteiden, eristeiden ja lastiputkiston komponenttien (putket, pumput, lämmönvaihtimet, instrumentointi jne.) tulee kestää matalia lämpötiloja ja lämpötilan suuria vaihteluita (lämpökutistumat ja lämpölaajeneminen voimakasta).

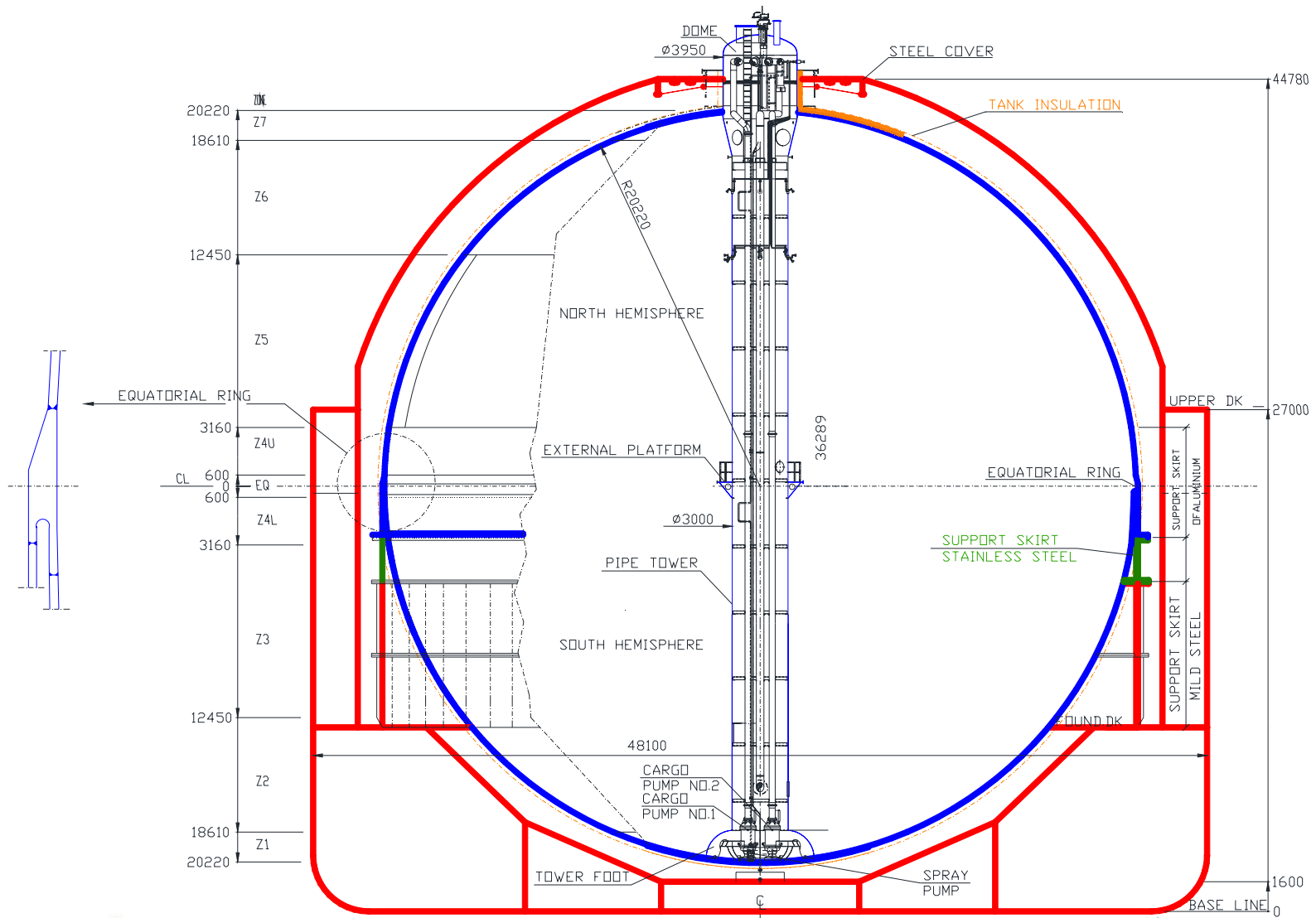


Moss-pallotankit

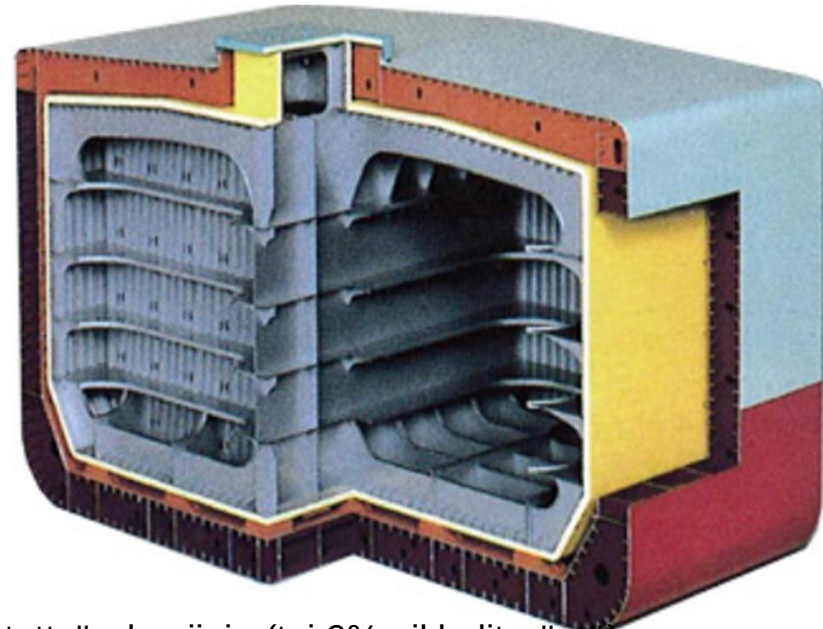
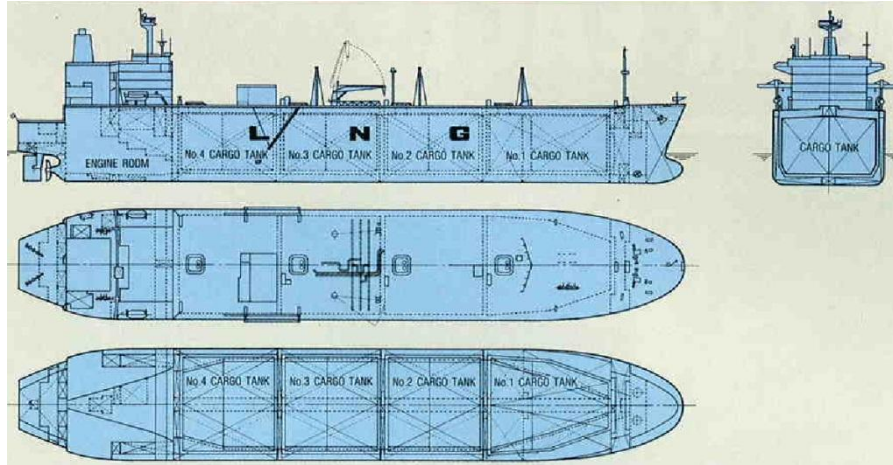


- Primäärinen tankki paksua alumiinia, ei jäykisteitä, päällä runkoon kuuluva tankkikohtainen suojakuori
- Ulkoinen lämpöeriste, joka toimii 'osittaisena' sekundäärisenä vuotoja rajoittavana pintana
- Eriste uretaani- tai polystyreenoavaahtä, siinä joustavia liikuntasauvoja jotka sallivat suuret lämpötilan muutokset, ulkopinta tiivis; Toteutettu nk. "small leak system", jossa eriste ohjaa mahdolliset pienet vuodot vuotoastiaan tankin alapuolella. Myös jatkuva typpikaasun läpivirtaus tankin ja eristeen välitilassa vuodon paljastamiseksi.
- Pallotankki liittyy laivan runkoon sylinterimäisen tukilieriön avulla, rakenne alumiinia ja terästä, pitää tankin ja laivan rungon muodonmuutokset erillään toisistaan.
- Moss-perustankista kehitetty "venytetty" tankki, jossa sen tilavuutta kasvatetaan lisäämällä palloon sylinterimäinen korotus-rengas. Myös: Tankeille yhteinen jatkuva suojakuoriratkaisu $\Rightarrow$ rungon jäykkyys kasvaa, paino laskee. (Suomalaiskeksintöjä).
- Pallotankit eivät hyödynnä laivan rungon volyymiä tehokkaasti $\Rightarrow$ rungossa paljon painolasti- kapasiteettia mutta myös paljon hukkatilaa. Kansirakennuksesta tehtävä korkea (ohjaamon näkyvyys)!
- Tankin pyöreä muoto sietää lastin loiskumisen, sallitaan vajaa täyttö, rakenne vankka, alumiinin lujuus kasvaa lämpötilan laskiessa (missään Moss-tankissa ei ole ilmennyt koskaan vuotoja tai loiskevaurioita, tankkien elinikä runkoa suurempi)
- Moss-tankin rakentaminen edellyttää telakalta merkittäviä investointeja ja korkeaa työn laatua ja valmistustarkkuutta.

Moss-laivan ja -tankin poikkileikkaus

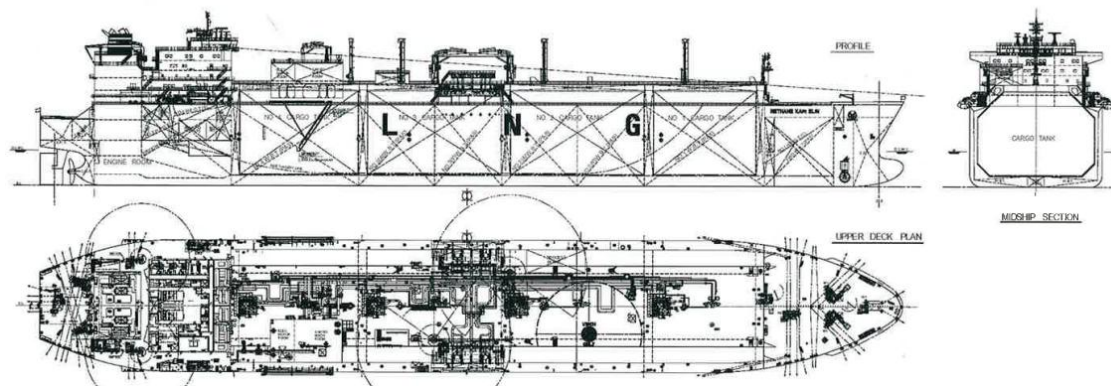


SPB-tankki



- Irrallinen tankki, jonka rakenne paksua vahvasti jäykistettyä alumiinia (tai 9% nikkeliterästä)
- Tankeissa ulkopuolinen eriste, toimii myös osittaisena sekundäärisenä pintana
- Eristemateriaali uretaani- tai polystyreenivaahtoa, liikuntasaumoin, pinta tiivis (vrt. Moss-tankit)
- Tankki lepää irrallisena puisten tukielementtien varassa laivan kaksoispohjan päällä, ankkuroitu/rajoitettu pysymään paikoillaan, irrallisuus sallii lämpökutistumisen ja laajenemisen
- Ainut konsepti "SPB", jonka on kehittänyt japanilainen IHI, esikuvana samantyyppiset LPG-tankit
- Tankki voidaan konstruoida laivan sisätilojen muotoa mukailevaksi, eriste oltava tarkastettavissa
- Sisäisten jäykisteiden ja laipioiden ansiosta SPB-tankki sietää lastin loiskimisen ja vajaan täytön
- Rakenteet ja niiden jäykistys tyypiltään kuten laivan runkorakenne $\Rightarrow$ sopii tavalliselle laivatelakalle
- Haittapuolia: raskasrakenteinen $\Rightarrow$ kallis. Referenssejä niukasti, uusi tuleminen kelluvissa laitoksissa.

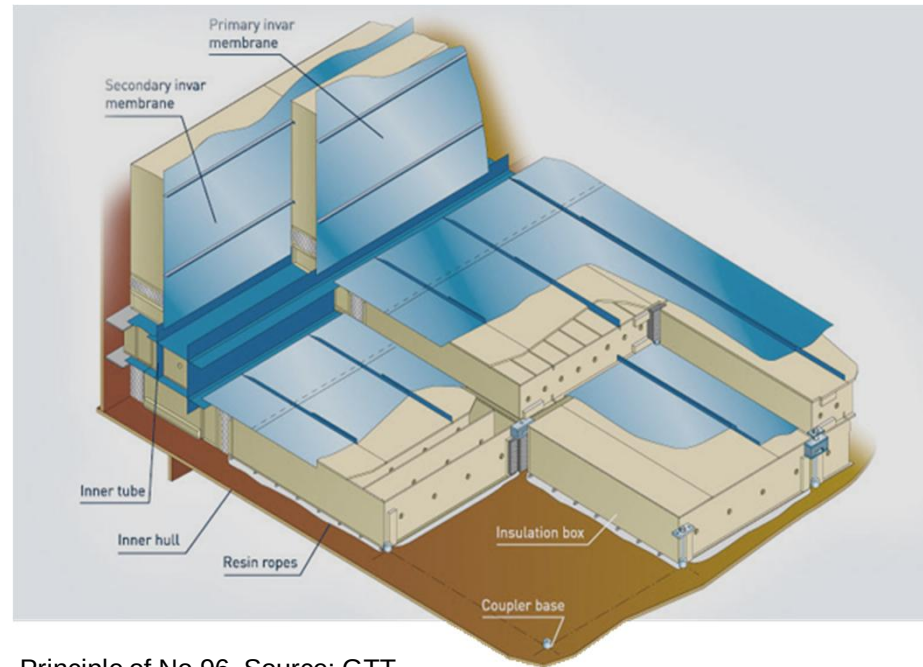
Prismatiset membraanitankit



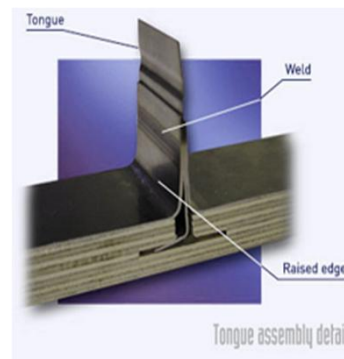
- Koostuu kahdesta samanlaisesta tai hieman toisistaan poikkeavasta eriste- ja nestetiiviistä kerroksesta (ei ole tankki alkuunkaan vaan laivan runkotankin sisäpuolinen eristeratkaisu)
- Primääripinta (sisäpinta) ohutta erikoisterästä, sekundääripinta (toinen tiivis ulompi kerros) samanlainen metallikalvo tai "triplex"-kolmikerroskangasta (kangas-alumiinikalvo-kangas)
- Lämpöeristekerrokset perliittipurulla täytettyjä vanerilaatikoita ja/tai kuituvahvisteisia uretaanivaahtoelementtejä; Eristekerrokset tiiviine pintakalvoineen lepäävät laivan sisärunkoa vasten, johon ne on kiinnitetty
- Yleisesti käytössä kaksi ranskalaisen GTT-lisenssifirman pääratkaisua: "No.96" ja "Mark III"
- Päätyypit toistensa kaltaisia, erona eriste-elementtien ja kalvojen rakenne ja materiaalit
- Tankin muodon on koostuttava suorista pinnoista ilman [koveria] taitteita,
- Uhkana loiskevauriot; tankit eivät siedä vajaatäyttöä merenkäynnissä (tankit joko tyhjiä tai täysiä)
- Rakentajatelakalta vaaditaan hyvää logistiikkaa, ihmistyövoimaa, korkeaa työn laatua ja tarkkuutta.

Prismaattinen membraanitankki "No.96"

- GTT:n "No.96" koostuu kahdesta eristelaatikko-kerroksesta, joiden kummankin pinnalla ohut tiivis pintapelti, 'kalvo' "Invar" -erikoisterästä, paksuus $t=0.7$ mm
- Invar 35%:sta nikkeliteräseosta, jonka lämpölaajeneminen on poikkeuksellisen vähäistä
- Pitkittäiset teräslevykaistojen oltava jatkuvia tankin päästä päähän, sisätaiteita ei saa olla, vain suoria pintoja
- Eristelaatikat esivalmisteita, lukumäärä useita tuhansia 4- tai 5 – tankkisessa laivassa; suurin osa standardikokoisia, mutta paljon myös erikoismuotoisia eristeosia
- Eristelaatikat vankkarakenteisia vanerilaatikoita, suunniteltu kantamaan lastin aiheuttamat staattiset ja dynaamiset kuormitukset
- Laatikat täytetty perliittipurulla, laatikoiden läpi johdetaan typpikaasua, jota monitoroimalla vuodot havaitaan
- Eristelaatikat kiinnitetty kulmistaan laivan runkoon erityisillä vetotangoilla, joissa lämpösillan katkaisu
- Tiiviit taräspinnat rakennettu kuin peltikatto, taitetut reunat hitsattu jatkuvalla hitsillä toisiinsa, välissä kiinnitysliuska vanerilaatikkossa oleviin uriin
- Eristelaatikat valmistettava mittoihinsa ja asennettava tarkasti niin, että muodostavat tasaisen tukipinnan
- Valmis membraanikerros ei kestä isoa pistekuormaa; kaikki tankin sisäpuoliset vähät rakenteet riippuvat ja on tuettu erikoisratkaisuin tiiviiden kerrosten läpi runkoon
- Tankin putkiyhteissä ja tankin pienissä kaasukuvuissa lukuisasti detaljiratkaisuja $\Rightarrow$ erilaisia rakenneosia tuhansia
- Eristysominaisuudet lisenssoidun rakenteen mukaiset, kehitetty lujuempia ja paremman eristyksen suovia ratkaisuja.



Principle of No.96. Source: GTT



A ready wooden insulation box. Source: ML

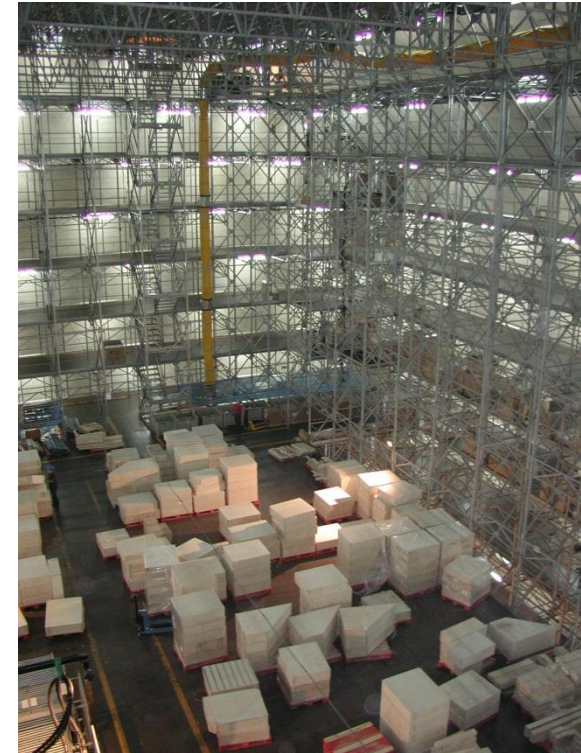
Prismaattinen membraanitankki ”No.96”



Eristelaatikoiden esivalmistusta. Kuva: ML.



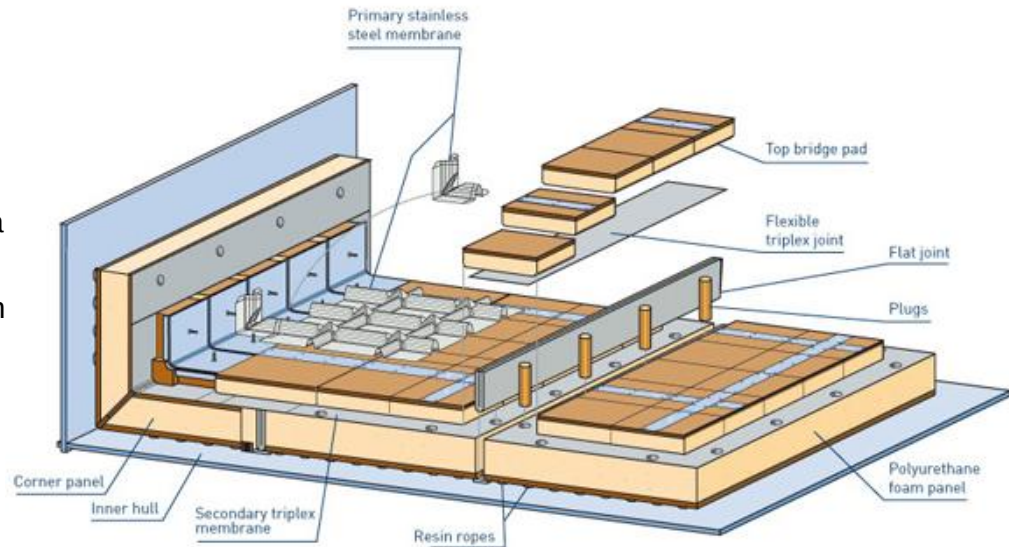
Myös erikoisen muotoisia eristelaatikoita tarvitaan runsaasti, ja ne on valmistettava erikseen käsityönä. Kuva: ML.



Sekundäärikerros rakenteilla, keskellä eristelaatikoita asennustaan odottamassa. Tankkitila on rakennusvaiheessa sisältä kauttaaltaan rakennustelinein vuorattu. Kuva: ML.

Prismattinen membraanitankki "Mark III"

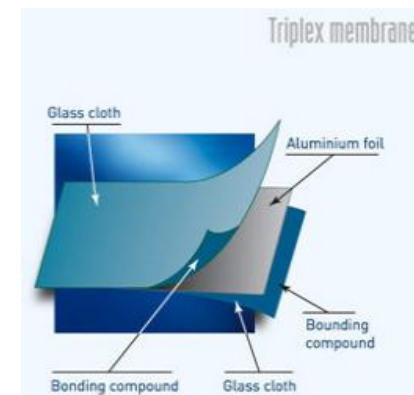
- GTT:n "Mark III" koostuu kahdesta eriste ja pintakerroksesta
- Primäärimembraani korrugoitua jaloterästä
- Teräksiset pintalevyt yhdistetty toisiinsa hitsaten
- Eriste-elementit esivalmistettu kuituvahvistetuista uretaanivaahdosta, enimmäkseen standardikokoa, mutta myös paljon erikoiskokoja ja -osia
- Sekundäärikerros trplex-kangasta, joka liimattu ulomman eristekerroksen päälle
- Ulomman eristekerroksen välit täytetty muulla eristeellä ja pinnoitettu tiiviiksi trplex-kangasliuskoilla
- Korrugoitu levypinta kiinnitetty hitsaamalla erityisiin taustateräskaistoihin, joita upotettu eristeeseen
- Eristekerrokset asennettu erityisen tarkasti tukemaan metallista pintakerrosta
- Valmis membraanikerros ei kestä isoa pistekuormaa; kaikki tankin sisäpuoliset vähät rakenteet riippuvat tai on tuettu erikoisratkaisuin tiiviiden kerrosten läpi laivan runkoon
- Tankin putkiyhteissä ja tankin pienissä kaasukuvuissa lukuisasti detaljiratkaisuja ⇒ erilaisia rakenneosia tuhansia
- Eristysominaisuudet lisenssoidun rakenteen mukaiset, kehitetty lujempia ja paremman eristyksen suovia ratkaisuja.



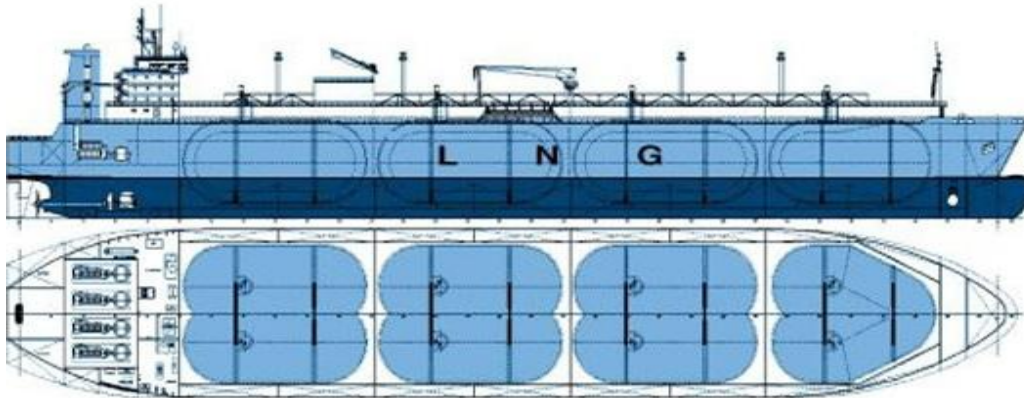
"Mark III", periaate. Lähde: GTT



Yksityiskohtia "Mark III" -rakenteesta. Lähde: GTT



C-tyypin tankit



30.000 m³:n LNG-laiva, jossa paineastiatankit (Lähde: TGE)

- Tankit paineastioita, sovelletaan eri tyyppisille lasteille, nykyisin myös LNG-lasteille
- Tankit sylinterimäisiä tai kaksoissylintereitä ("bilobe")
- Puolipaineisia tankkeja jäähdytetyille kaasuille (LNG: 5 to 7 bar) tai täyspaineisia tankkeja (aina 18 bar saakka, ei LNG)
- Kylmien nestelastien tankeissa ulkopuolinen eristys
- Pienissä tankeissa kaksoisrakenne ja tyhjoeristys (LNG-bunkrauslaivat ja mm. LNG-polttoainetankit)
- Jäähdytetyille lasteille käytetään materiaalina nikkeliterästä tai ruostumatonta terästä
- Tyypillisiä materiaali- ja lämpötilakategorioita: -48°C (LPG, ammoniakki, VCM), -104°C (etyleeni), -163°C (LNG)



Bilobe-tankki, osin avattuna (Lähde: TGE)



Sylinteritankkien nosto laivaan

Erityissovelluksia

- kelluvat LNG:n tuotantoalukset (FLNG) ja varasto/kaasutuslaivat



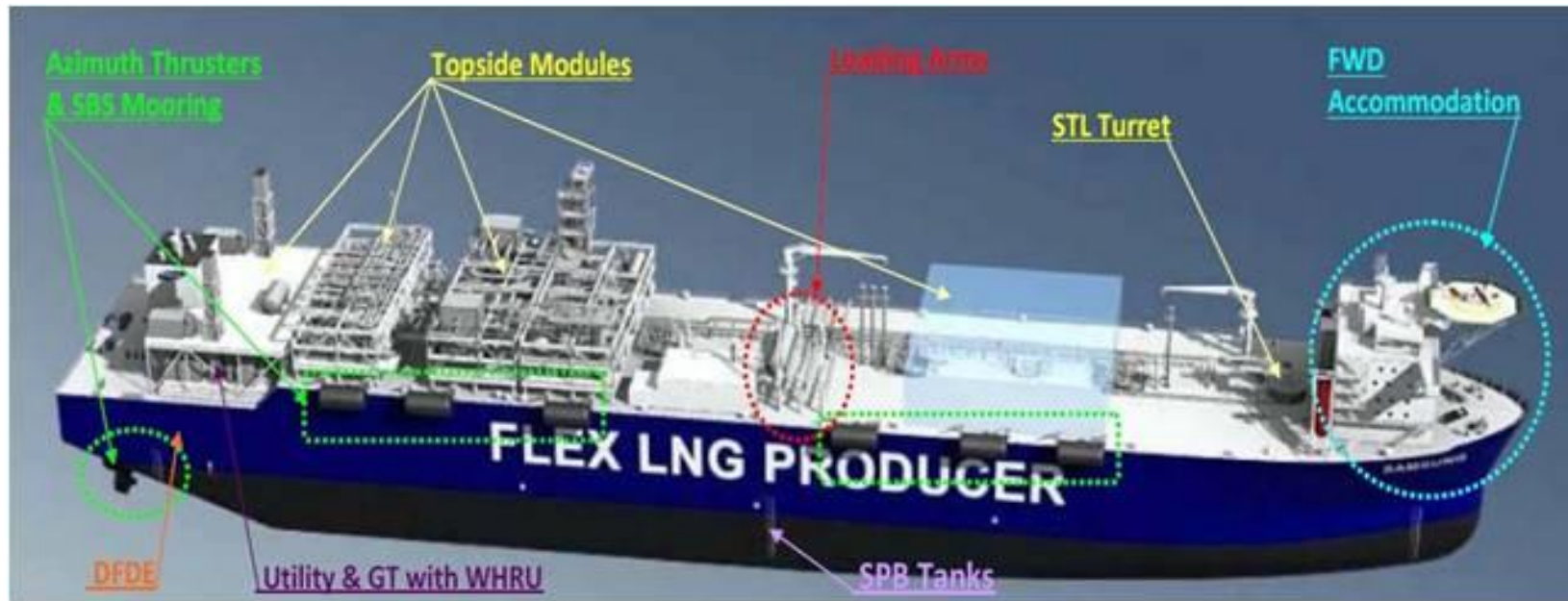
- Paikalleen ankkuroidut kelluvat LNG-tuotantoyksiköt nesteyttävät ja varastoivat LNG:tä, jota LNG-laivat noutavat ja kuljettavat markkinoille.
- Korvaa maihin rakennettavan tuotantolaitoksen.

- Joidenkin ikääntyneiden LNG-laivojen elinkaari jatkuu laiturin ääreen paikalleen sijoitettuina vastaanotto- ja varastoaluksina.
- Liikenteessä olevat LNG-laivat tuovat lastinsa varastolaivan viereen tai laiturin 'toiselle puolelle', josta lasti siirretään laivasta laivaan.
- Putkikaasuksi LNG muutetaan paineistamalla ja höyrystämällä se. Höyrystysenergia saadaan joko aluksen höyrykattiloista tai merivedestä.



Erityissovelluksia

- kelluva LNG:n tuotantoalus, (Floating Production & Storage Units, FPSU)



Source: Flex LNG

- Paikalleen ankkuroitu kelluva offshore-tuotantoalus merialueella jossa kaasukenttä; Ei ole varsinaisesti laiva, vaikka on asennettu pienitehoinen kuljetuskoneisto koneisto siirtelyä varten
- Samaan alukseen on sijoitettu raakakaasun puhdistus- ja nesteytyslaitos, pyörivä ankkurointilaitteisto, jonka kautta kaasuputket nousevat alukseen, suuritehoinen kaasuturbiinivoimalaitos, jalostustuotteiden varastotankit, lastin purkauslaitteet (laivasta laivaan) ja henkilökunnan asuintilat
- Rungon sisällä varastotankita LNG:lle sekä sivutuotteille, kuten LPG:lle ja kaaasukondensaatile
- Kaikki kansitila on käytössä, ja rungon sisään on sijoitettu SPB-tyyppiset laatikko- tai membraanitankit

Erityissovelluksia (jatkoa)

- kelluva LNG:n tuotantoalus, (Floating Production & Storage Units, FPSU)

Name	Country	Status	Capacity (mtpa)
Bonaparte FLNG	Australia	Cancelled	2.4
Santos FLNG	Brazil	Planned	2.7
Tamar FLNG	Israel	Planned	3
Triton FLNG	Canada	Planned	2.3
Browse FLNG	Australia	Speculative	
Delfin FLNG	USA	Speculative	13
Prelude FLNG	Australia	Under Construction	3.6

Table of some Floating LNG projects. Source: LNG OneWorld



SPB tank application of Ni steel. Source: Flex LNG

KAKSI VAIHTOEHTOISTA VARASTOTANKKIRATKAISUA

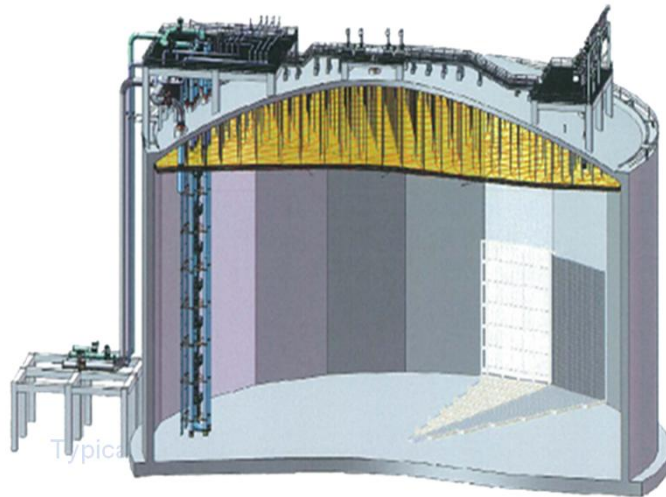


Twin membrane tank for FLNG. Source GTT

- ◆ Poikkileikkaus rungon sisään sijoitetuista SPB-tankista, kuva ylempänä
- ◆ Vasemman kuvan varastotankit membraanitankkeja, joita pareittain, jotta aluksen leveää kantta voidaan tukea keskeltä – myös siksi, että loikintavoimat pysyisivät alhaisina (membraanitankit konstruoidaan erikoisvahvoiksi)

Erilaisia paikoilleen sijoitettuja LNG:n varastotankkeja

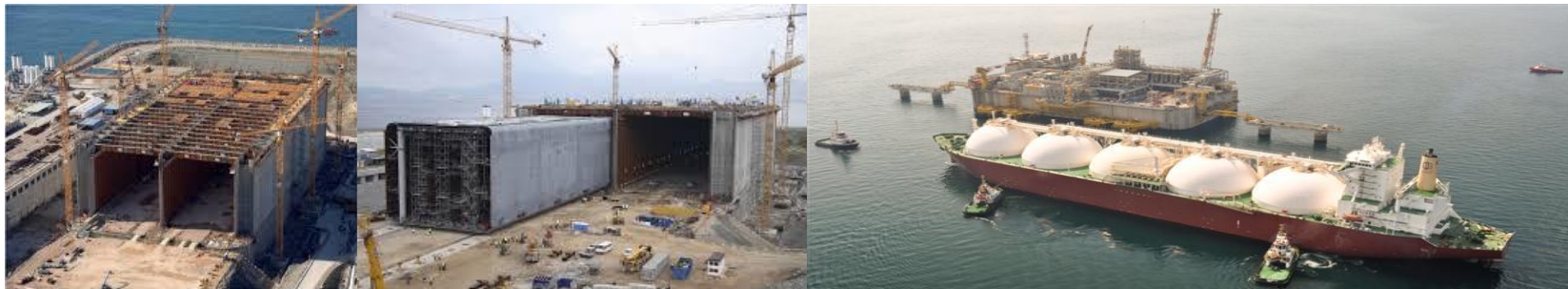
Tavanomainen varastotankki kaasuterminalissa, vanha laiva kelluvana varastona, merenpohjaan tukeutuva betonirunkoinen varastoyksikkö merialueella



Tyypillinen LNG:n varastotankki maissa (tankki nikkeli-terästä tai membraanityyppinen, vaippa betonivalua).



LNG-laiva siirtää lastinsa kelluvaan varastolaivaan, jossa LNG muutetaan kaasumaiseksi ja toimitetaan maihin putkiverkostoon.



Merenpohjaan tukeutuva LNG-varasto eri rakennusvaiheissaan, rst-tankit , ympäröivä kasuuni teräsbetonia. Lähde: Adriatic LNG.

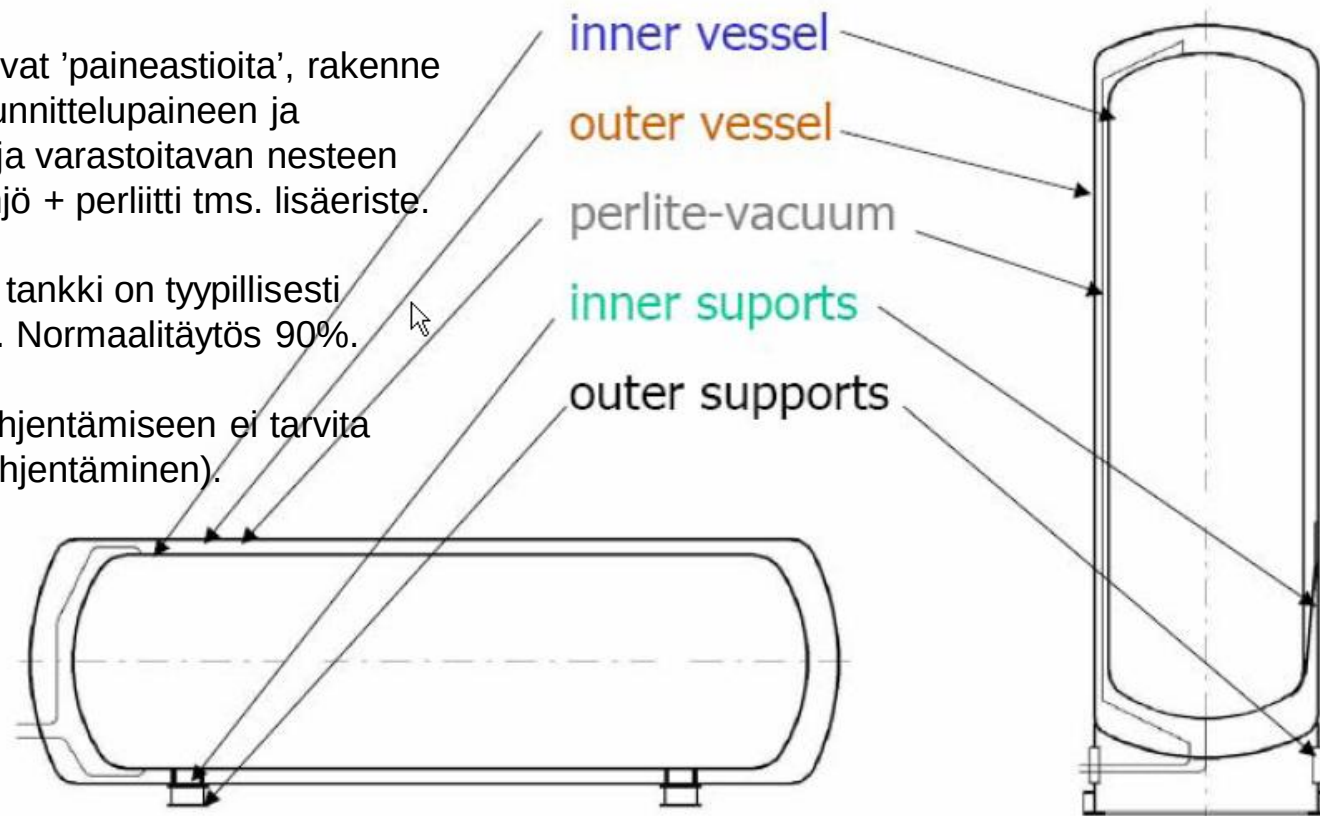
Lisää tankkivaihtoehtoja - LNG-polttoainetankit

Tyhjöeristettyjä tankkeja on käytetty kautta aikojen kryogeenisten nesteiden säilyttämiseen.

Kaksoissäiliön tankit ovat 'paineastioita', rakenne määräytyy halutun suunnittelupaineen ja materiaalit lämpötilan ja varastoitavan nesteen mukaan. Eristeenä tyhjö + perliitti tms. lisäeriste.

LNG-tankissa sisempi tankki on tyypillisesti ruostumatonta terästä. Normaalitytös 90%.

Etuja: Huoltovapaa, tyhjentämiseen ei tarvita pumppua (paineella tyhjentäminen).



Tyhjöeristetyn LNG-tankin periaatteellinen rakenne (Chart Ferox)

Lisää tankkivaihtoehtoja - LNG-polttoainetankit

Tyhjöeristettyjä LNG-polttoainetankkeja

- Paineastia tavanomaisin tankkityyppi LNG-polttoaineelle
- Tankki tankin sisällä, välissä tyhjä + lisäeristysmateriaalia
- Periaate yksinkertainen, ei liikkuvia osia
- LNG siirretään höyrystettäväksi tankin kaasutilan omalla paineella, höyrystin tavallisesti tankin päähän liitetyssä laitetilassa, höyrystysenergia saadaan aluksen koneiston hukkalämmöstä
- Polttoaineikaasu saadaan LNG:tä höyrystämällä+ hyödyntämällä syntyvä boil-off -kaasu



Maailman ensimmäiseksi mainittu LNG:n bunkraus-
alus "Seagas", muunnettu saaristolautasta,
kannella 187 m³:n LNG-tankki (AGA, Tukholma)



200 m³:n LNG tankkia nostetaan matkustaja-
autolautan aluksen peräkannelle, STX Finland, 2012



Pieni polttoainetankki (28 m³), norjalaista
vuonolossia varten, Linde-AGA Cryo

LNG-laivojen koneistoista

Höyryturbiinikoneisto

- Yhä yleinen mutta väistynyt koneistovaihtoehto (aikaisemmin vallitseva koneistotyyppi)
- Höyrykattiloiden polttoaineena voi käyttää yhtä aikaa raskasöljyä ja kaasua
- Boil-off –kaasun vaivaton hyödyntäminen (myös ylimääräisen kaasun tuhoaminen)
- Asennetaan nykyisin vain harvoin uusiin LNG-aluksiin, hyötysuhde huono!

Diesel-sähköinen koneisto

- Tavanomaisin koneistovaihtoehto, perustuvat keskinopeisiin dual-fuel –moottoreihin, käyttö yleisty nopeasti 2000-luvun alusta lähtien
- Monikoneasennus, voimalaitosperiaate $\Rightarrow$ vain tarvittava määrä generaattorimoottoreita kulloinkin käytössä $\Rightarrow$ melko hyvä kokonaishyötysuhde
- Ylimääräisen boil-off –kaasun tuhoamiseen tarvitaan vaihtoehtoinen tapa, tavallisesti yksinkertainen polttolaite (tai joskus harvoin jälleennesteytyslaitos, joka on kallis)

Perinteinen öljykäyttöinen hidas 2-tahtidiesel

- Poikkeuksellinen ratkaisu, käytössä vain kahdessa suuressa laivasarjassa (Q-Flex, Q-max)
- Boil-off –kaasu joudutaan nesteyttämään, oltava ainakin osaksi tuplattu laitteisto

Kaasukäyttöinen 2-tahtikone

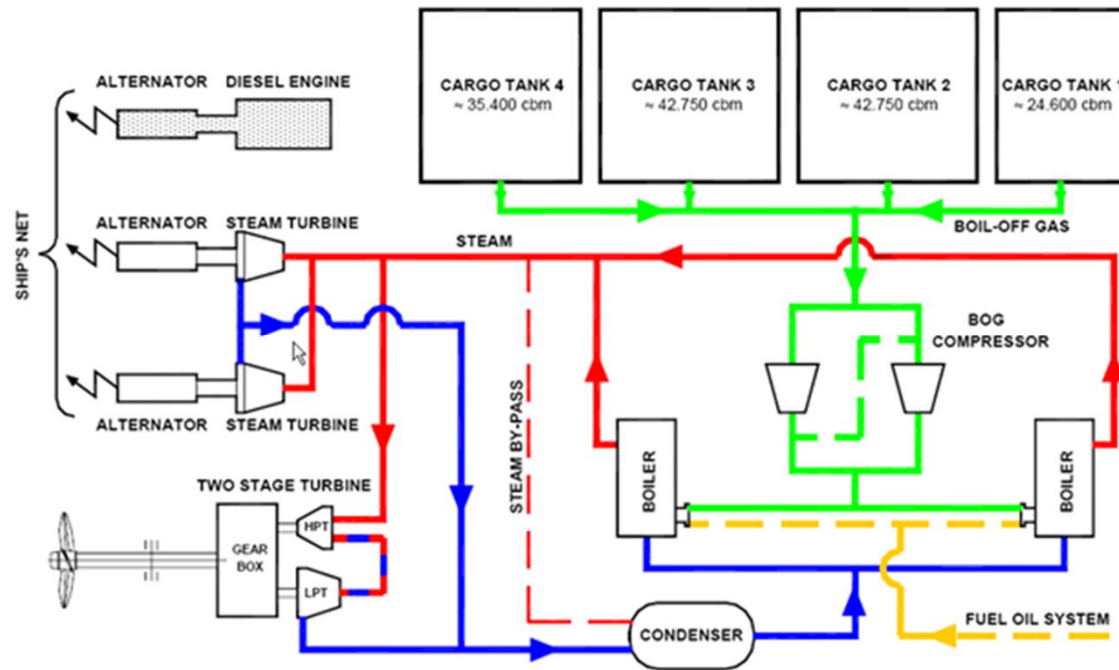
- Uusi tulokas, korkea mekaaninen hyötysuhde, valtaa nopeasti sijaa, häviäjänä dieselsähköiset koneistot; kaksi päävalmistajaa, toisella korkeapaine- toisella matalapaine-kaasukäyttö

Muita

- Joitakin kaasu/sähkömoottorihybridejä pienemmissä aluksissa
- Muunlaiset sekakoneistot ja mm. polttokennoratkaisut jääneet kokeilujen asteelle, suuriin aluksiin kaavaillut kaasu+höyryturbiinilaitokset jääneet unelmiksi.



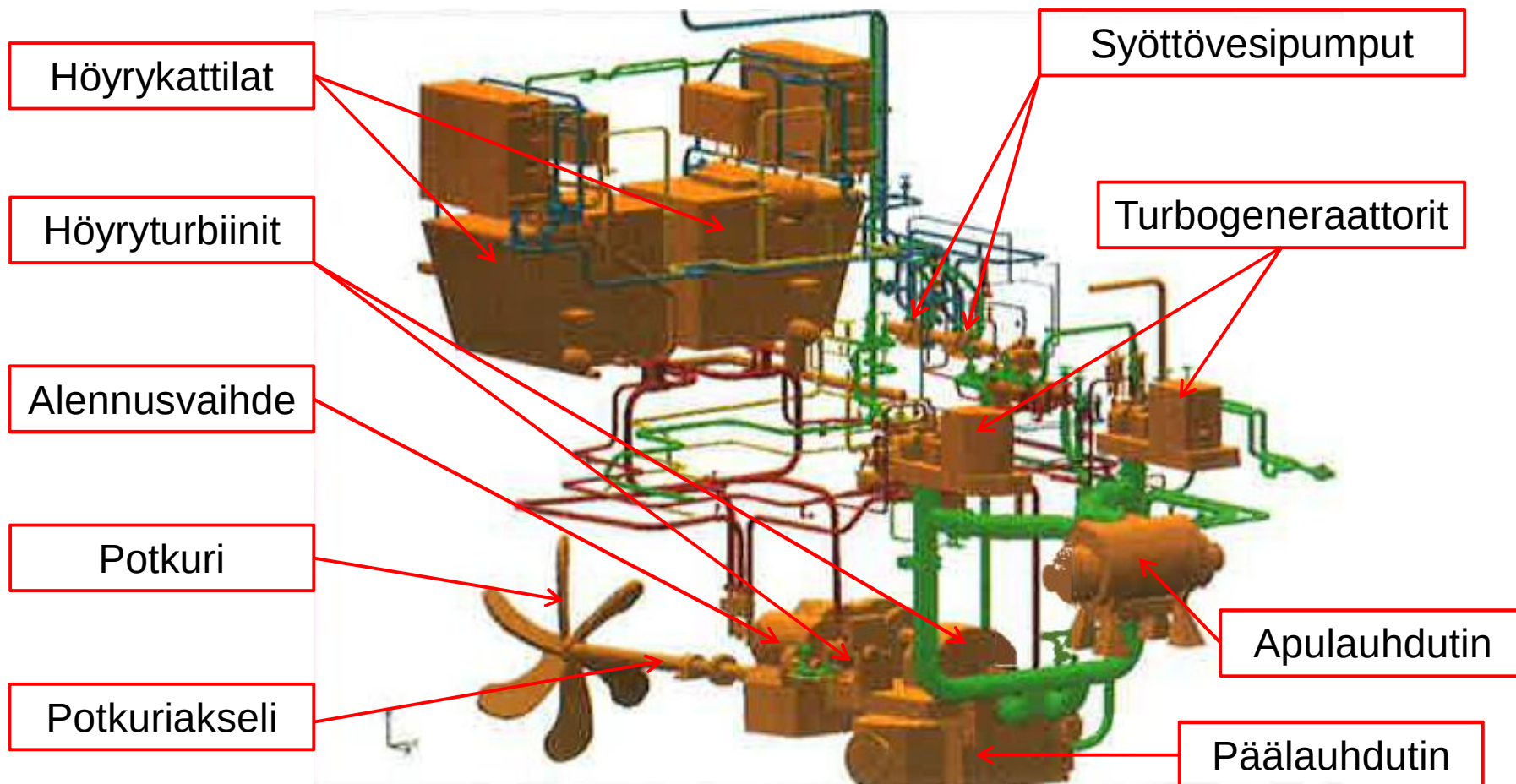
Höryturbiinikoneisto LNG-laivassa



Turbiini-alennusvaihtopaketti

- Höryturbiinilaitos on perinteinen LNG-laivan koneistovaihtoehto
- Propulsioteho, sähköntuotto sekä lämmitystarve – kaikki tuotetaan höyryllä
- Hyödyt: Luotettavuus, kattiloissa voidaan käyttää kaasua ja öljyä yhtä aikaa, vähäinen huoltotarve, kuluminen vähäistä
- Haittoja: kokonaishyötysuhde huono (ominaiskulutus ~280 g/kW/h öljypolttoainetta); Koneisto suurikokoinen ja käyttö vaatii erityisosaamista
- Viime vuosina otettu käyttöön parannettuja höryturbiinikokoonpanoja, joissa hyötysuhdetta pystytty parantamaan jopa -15%, jää edelleen kauas dieselistä.

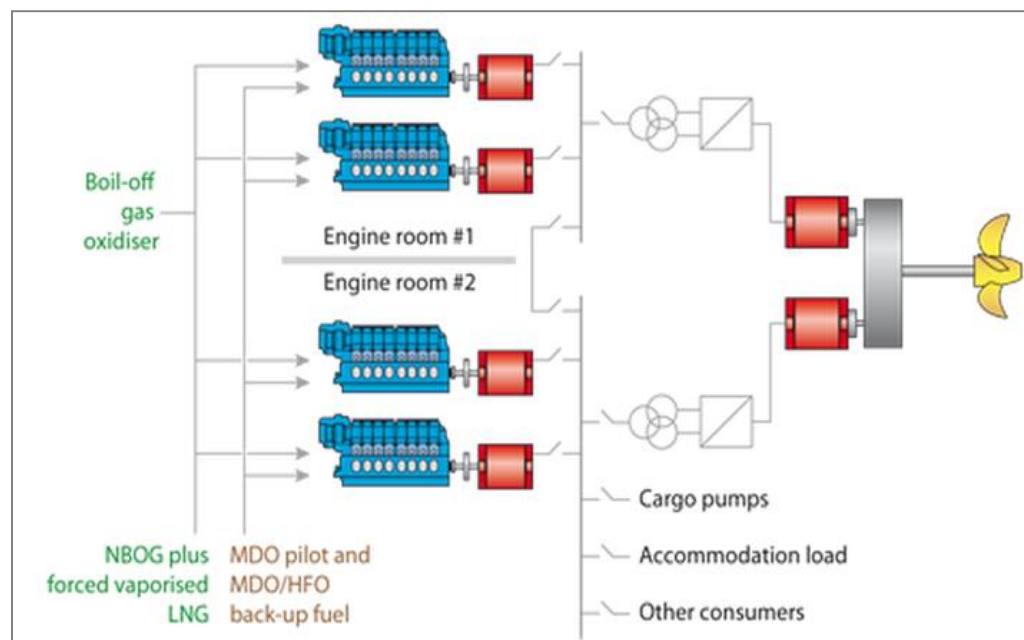
Höyryturbiinikoneisto LNG-laivassa



Keskeisimmät turbiinikoneiston osat

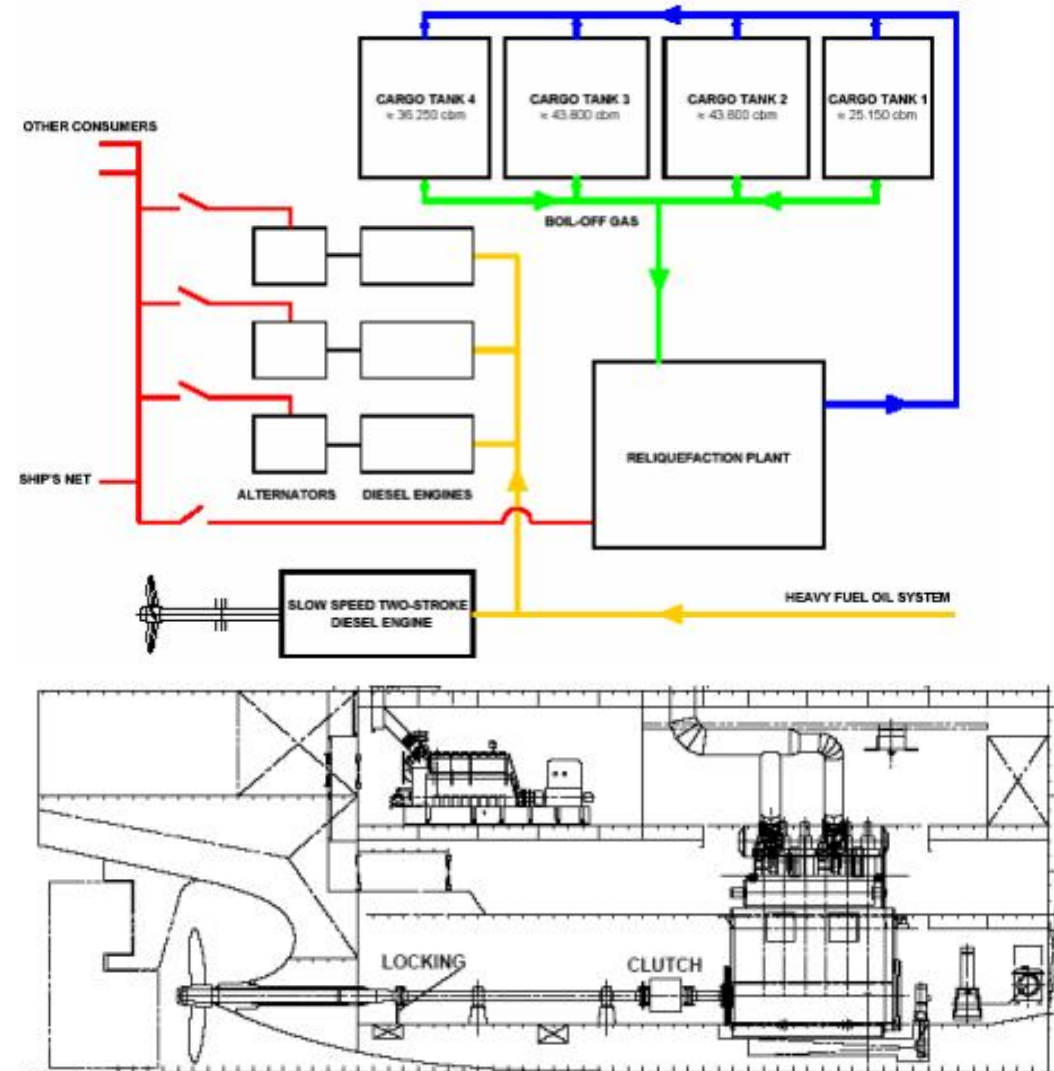
Dieselsähköinen koneisto (LNG-laivassa)

- Kuljetuskoneisto hyödyntää lastitankkien boil-off –kaasun, lisäpolttoaine lastia höyrystäen (= 'LNG forcing vaporisation')
- Laivan kaikki sähköenergia tuotetaan keskinopeilla DF-dieselgeneraattoreilla
- Propulsio sähkömoottorein
- Monikoneasennus, voimalaitosperiaate, vain tarvittava määrä generaattoreita käynnissä
- Kaasun syöttö matalapaineisena
- Moottoreiden hyötysuhde korkea, kokonaishyötysuhde kärsii energiamuodon muuntamisesta
- Jos boil-off -kaasua ylimäärin, liika tuhotaan erillisellä polttimella (= 'gas oxidiser', 'gas combustion unit')
- Ylivoimaisesti tavanomaisin nykyaikaisten LNG-laivojen koneistovaihtoehto, valtasi nopeasti markkinoita 2000-luvulla höyryturbiinikoneistoilta.



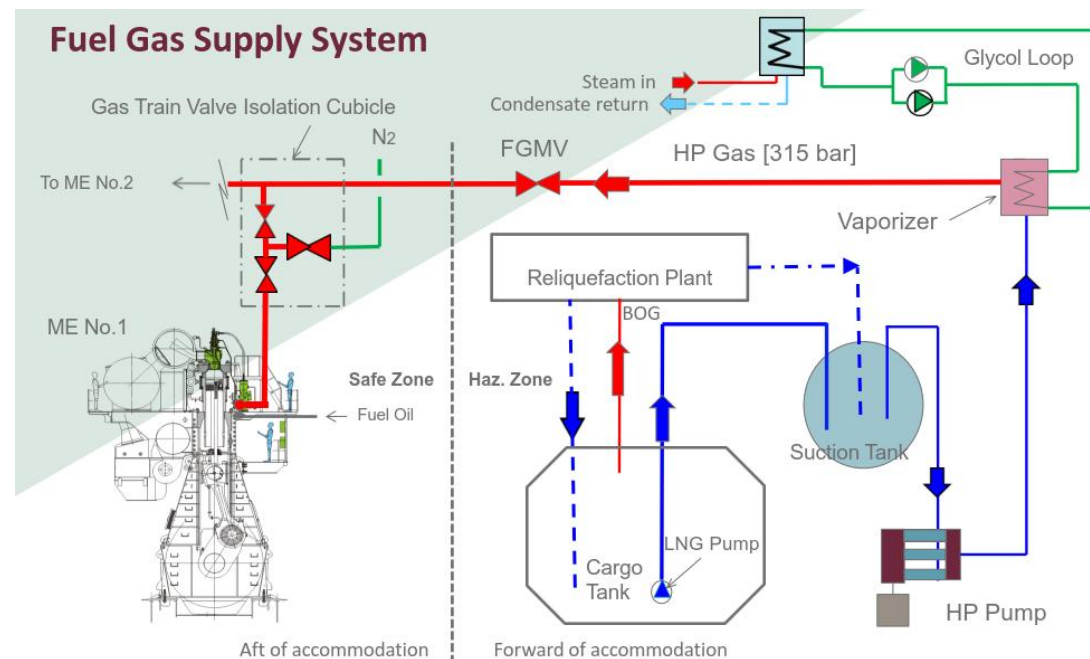
Hidas 2-tahtinen dieselkoneisto (öljypolttoaine)

- Propulsiokoneisto öljykäyttöinen, lastinkäsittelyllä (=kaasulla) ja kuljetuskoneistolla ei ole mitään yhteyttä
- Lastitankkien boil-off -kaasu nesteytetään, ja palautetaan tankkeihin
- Laivan sähköenergia tuotetaan erillisillä öljykäyttöisillä dieselgeneraattoreilla
- Kuljetuskoneisto ulkoisesti yksinkertainen, kuin bulkki- tai tankkilaivoissa
- Mekaaninen hyötysuhde korkea (mutta jälleennesteytys vie paljon energiaa)
- Toistaiseksi vain sovellettu vain "Q-Flex" ja "Q-Max" –laivasarjoissa.

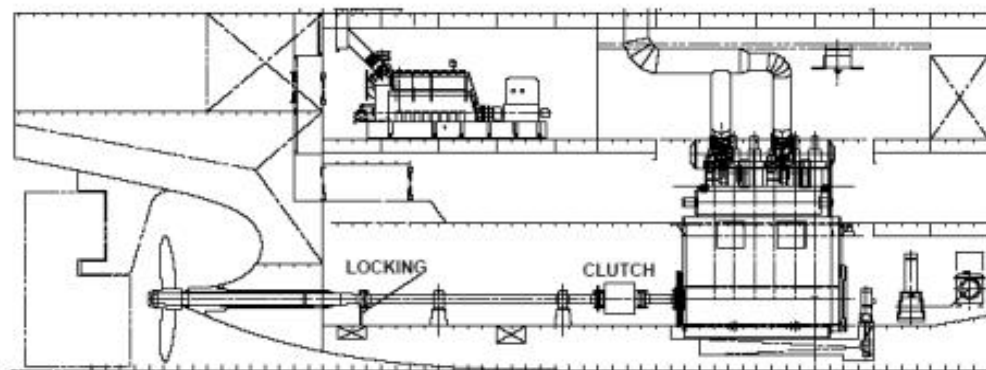


Hidas 2-tahtinen dieselkoneisto (kaasupolttoaine)

- Kuljetuskoneisto kaas- ja/tai öljykäyttöinen (dual-fuel)
- Kuljetuskoneisto hyödyntää lastitankkien boil-off –kaasun, lisäpolttoaine lastia höyrystäen
- Laivan sähköenergia tuotetaan erillisillä DF-dieselgeneraattoreilla
- Kuljetuskoneisto ulkoisesti yksinkertainen, poikkeaa öljykäyttöisestä dieselkoneistosta vain kaasun käsittelyn (tai paineistuksen) osalta
- Kaasun syöttö korkealla paineella (MAN Diesel) tai matalapaineisena (Wärtsilä)
- Mekaaninen hyötysuhde korkea
- Valtaa nopeasti markkinoita uudislaivoissa keskinopeilta diesel-sähköisiltä koneistoilta.



Source : Qatargas



Talvimerenkulun vaatimuksia laivoille

- Arktikassa kulkevat laivat suunnitellaan ja rakennetaan korkeisiin jääluokkiin – vankka runkorakenne, suotuisa rungon muoto ja suuri koneteho
- On kehitetty erityisiä toimintatapoja, mm. kaksitoiminen laiva, jossa laivan ajo takaperin vaikeissa jääolosuhteissa ja eteenpäin helpoissa jääolosuhteissa ja avovedessä
- Laivojen järjestelyt ja varustus huomioiden matalat lämpötilat ja jään kertyminen rakenteisiin sekä miehistön turvallisuus
- Kaiken tulee toimia kylmissä olosuhteissa
- Pitkät pimeät jaksot ja suuret etäisyydet sekä päiväkausien jääajo voivat olla myös psyykkisesti rasittavia miehistölle
- Korkean jääluokan laivat kalliita erikoisaluksia



Suomalainen säiliöalus "TEMPERA", jossa sovelletaan nk. kaksitoimista rungonmuotoa (Double Acting Ship, DAS): Avovedessä ja helpoissa jääoloissa kuljetaan keula edellä, paksussa jäässä ja ahtojäässä perä edellä. ABB Azipod® -potkurilaitteet ympärikääntyvät, potkurin yhteyteen integroitu sähkömoottori, toimivat aina 'vetävinä' potkureina. DAS-konsepti: Aker Arctic.

Kylmä ilmasto, arktiset olosuhteet

- **Matalan lämpötilan vaikutuksia:**

Laitteiden toiminta
laivajärjestelmät
miehistö (turvallisuus, toiminta, luoksepääsy)
materiaalien ominaisuudet

- **Haasteena rakenteiden peittyminen lumeen ja jäähän (arktisilla vesillä)**

- **Ympäristöolosuhteista:**

Meriveden lämpötila alimmillaan -2 °C
Ilman lämpötila (riippuu toiminta-alueesta)
tuuli ⇒ merenkäynti ⇒ roiskevesi ⇒ jäätä
Jäinen vesi- ja lumisade lisää jäänmuodostusta

- **Jäänmuodostus voi edetä 2...4 cm/h**

- **Aluksen vakavuus heikkenee:**

Luokitusyhtiöillä sääntöjä laivan kansille ja rakenteisiin kertyneen jään huomioimiseksi

- **Jään kertyminen rakenteisiin on vähäisempää kiintojäissä (meren pinta jään peitossa), pahinta avovedessä tuulen ja pakkasen vallitessa.**



Jäänmurtajat avustavat rahtilaivasaattueita



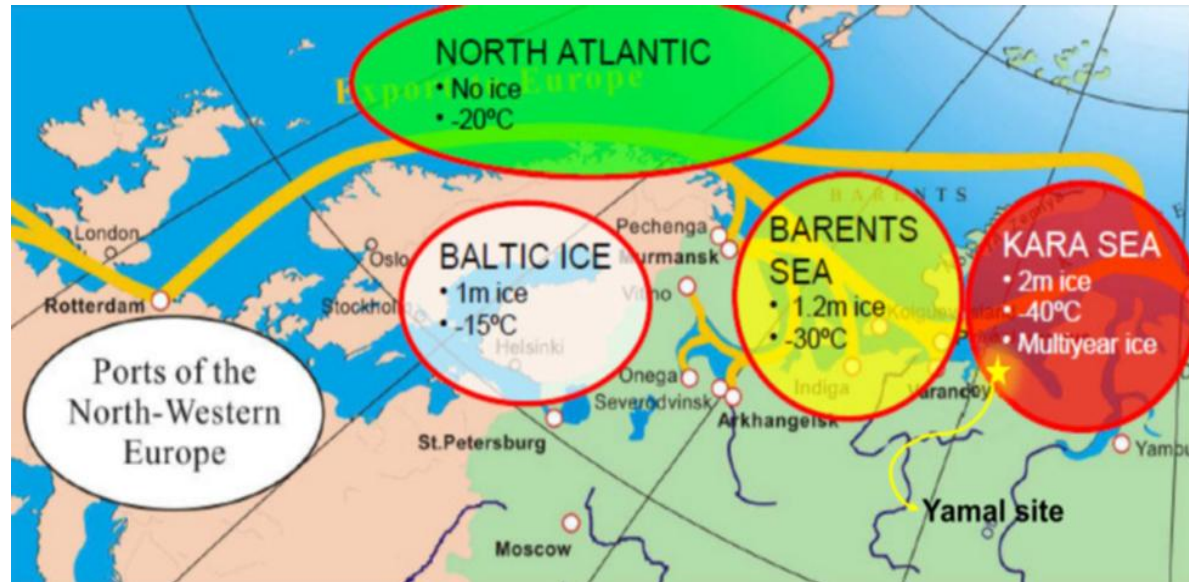
Jos jään kertymiseen ei ole varauduttu, voi laivalaitteiden toiminta käydä mahdottomaksi

Vaatimuksia Arktikassa toimiville aluksille - tyypillisiä



- ◆ Russian Maritime Register of Shipping (RMRS) luokitussäännöt, tai muun luokitusyhtiön vastaavat talvimerenkulun vaatimukset tai nk. kaksoisluokitus
- ◆ Tietyn jääluokan tarkoituksena turvata riittävä konetehto, kuljetuskoneiston lujuus, jäävahvistettu runkorakenne, laivalaitteiden erikoisratkaisut, materiaalivalinnat, lämmitysjärjestelmät ym. – ylipäättään aluksen toimiminen kylmissä olosuhteissa ja jäissä
- ◆ Vaatimuksia materiaaleille ja laitteille sekä niiden toiminnalle ja järjestelyille
- ◆ Jään kertyminen rakenteisiin huomioitava, jäänmuodostuksen välttäminen (anti-icing) ja jään poisto (deicing)
- ◆ Pohjoisen meritien säännöt (Northern Sea Route rules), Polar Code
- ◆ Ympäristön suojelun vaatimukset ankarat, tyypillisesti mereen ei saa laskea minkäänlaisia päästöjä (esim. 30 päivän "zero discharge principle")
- ◆ Venäjän kansallisia sääntöjä ja ohjeita
- ◆ Tavanomaiset laivojen kansainväliset säännöt sekä laivatyyppikohtaisia suosituksia ja ohjeita (kymmenittäin)

LNG-hankkeista ja Venäjän Arktikan ympäristöolosuhteista



- Kaasuntuotantoa kaavailtu mm. Barentsin merialueelle (Shtokman-projekti, toteutus ei alkanut), Barentsinmeren etelärannikolle (mm. Indiga LNG ja Pechora LNG) sekä Jamalin niemimaalle, jossa parhaillaan rakenteilla Sabettan LNG-laitos
- Laitosten ja laivojen rakennusmateriaalien tulee sietää jopa -50 asteen lämpötiloja – sama pätee myös toiminnan käyttöolosuhteille!
- Osan vuodesta meri on jäässä kauttaaltaan, ja laivojen tulee pystyä liikennöimään jopa yli 2 m paksussa kiintojäässä tai yli 15 metrin ahtojäässä – omin avuin tai jäänmurtajien avustamana.
- Jamalin niemimaa on alavaa suistoaluetta, rantavedet ja Obin lahti idän puolella ovat matalia, maaperä hienojakoista ja soista, ikiroudan aluetta, infrastruktuurin rakentaminen haasteellista.

The ice technology partner

Aker Arctic
Side 49
The Ice Technology Partner

27-May-15

Yamal LNG – Sabetan LNG-laitos ja satama

- LNG:n nesteytyslaitos ja kaasutermiinaali rakenteilla, sijaitsee Jamalin niemimaan itärannalla, merkittäviä väylätöitä Obin lahdella
- Kaasulähteet maissa, yli 200 porausreikää
- Kapasiteetti 16,5 Mt vuodessa (3×5,5 Mt/a)
- 15 laivan sarja 170.000 m³:n kokoisia jäissä-kulkevia LNG-laivoja tilauksessa, jotka tarvitaan kuljettamaan LNG Eurooppaan ja Aasiaan
- Hankkeet osakkaat: Novatek, Venäjä 60%, Total; Ranska 20%; CNPC, Kiina 20%



- Tuotanto on jatkuvaa ja LNG tulee pystyä kuljettamaan ympäri vuoden
- Laivakuljetukset kesäaikana pohjoista meritietä pitkin Aasiaan, läpi vuoden Eurooppaan ja edelleen kauemmas Intiaan ja Kauko-Itään siirtämällä osa lasteista Euroopassa tavallisiin LNG-laivoihin
- Tuotantolaitoksen on määrä valmistua 3 vaiheessa, tuotanto alkuun 2017, täysi kapasiteetti viimeistään v. 2021
- Valmis laitos tuottaa 220 laivalastia vuodessa, eli täysi laivalasti lähtee matkaan useammin kuin joka toinen päivä!

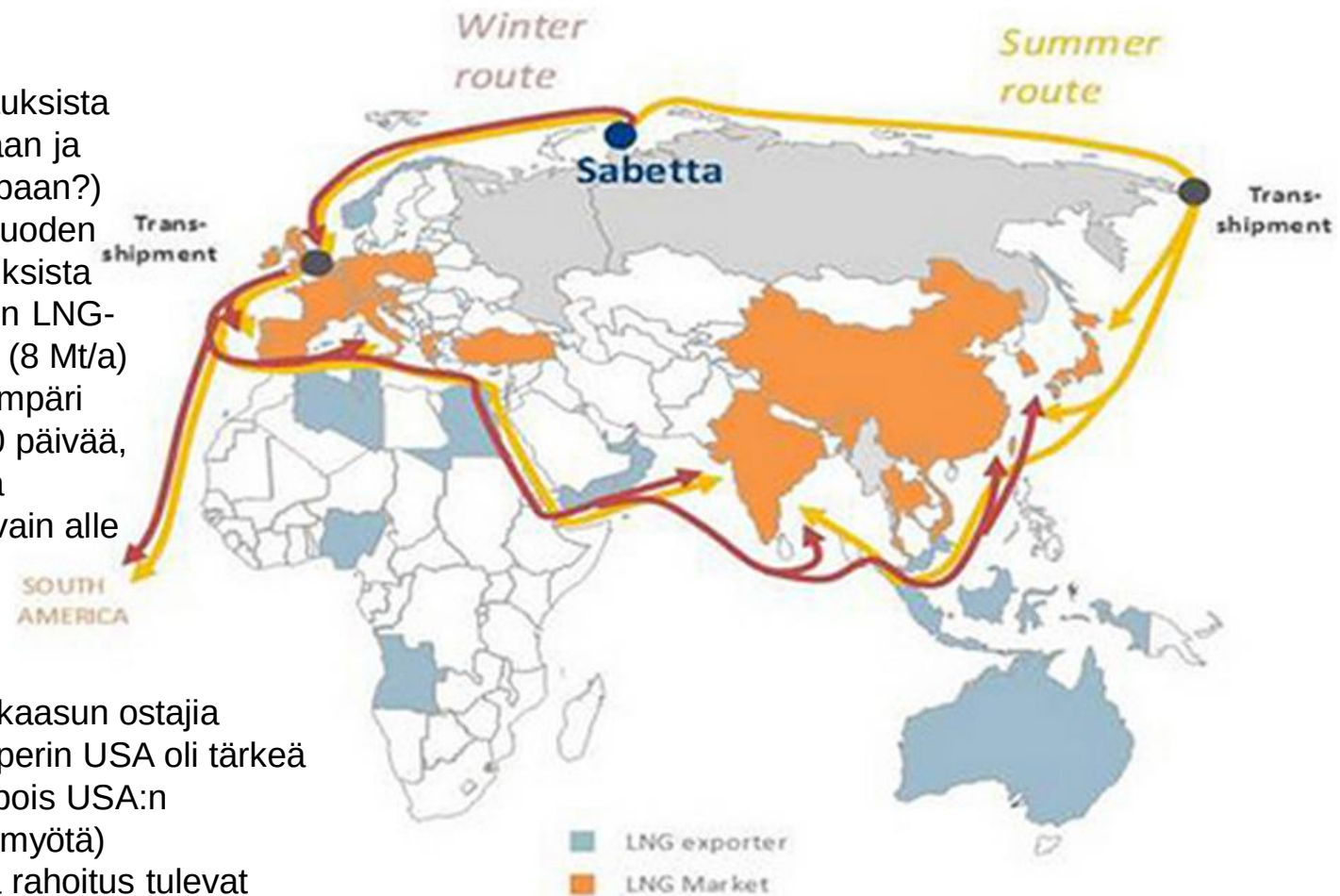
The ice technology partner

Aker Arctic
Side 50
The Ice Technology Partner

27-May-15

Yamal LNG –projektin kaavaillut laivareitit (muuttuvia)

- V. 2014 LNG-toimituksista sovittu ainakin Intiaan ja Kiinaan (ja Eurooppaan?)
- V. 2015 syntyi 20 vuoden sopimus välilastauksista Belgian Zeebrüggen LNG-terminaalin kanssa (8 Mt/a)
- Matka Euraasian ympäri Kiinaan kestää >50 päivää, Koillisväylän kautta kesäkautena jopa vain alle 20 päivää!

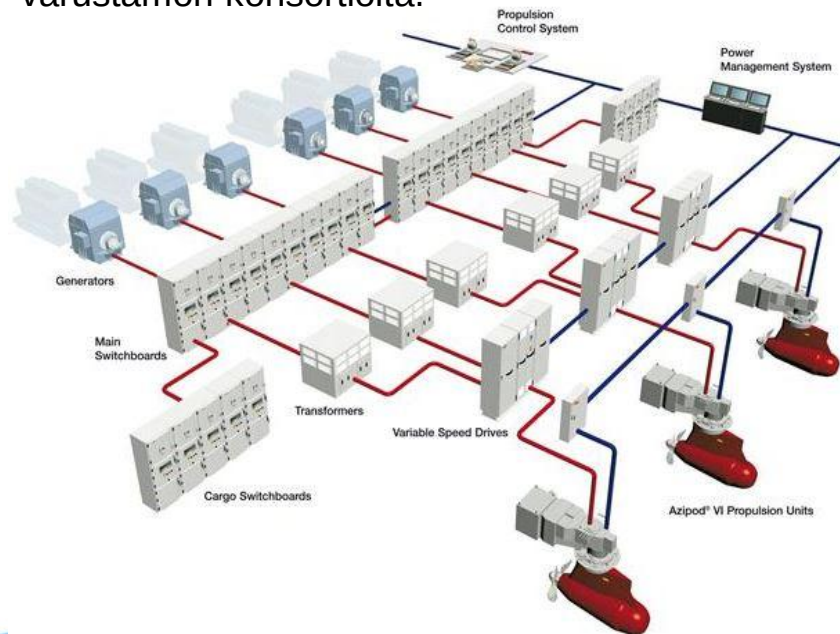


- Uusia osakkaita tai kaasun ostajia odotettavissa (alun perin USA oli tärkeä vientikohde, putosi pois USA:n liuskekaasubuumin myötä)
- Toteutusaikataulu ja rahoitus tulevat pysymään haasteellisina nykyisessä maailmantilanteessa.

- Jäissäkulkevia suuria arktisia LNG-laivoja 15 kpl
- Jatkokuljetuksiin tarvitaan arviolta toiset 15 suurta LNG-laivaa, jotka 'tavanomaisia'.

Yamal LNG -laivat 15 kpl, koko 170.000 m³ (tilauksessa)

- Avovesinopeus 19,5 solmua
- Korkea jääluokka "Arc7", itsenäinen toiminta jääoloissa (liikennöinti paksuissa jäävalleissa ja yli 2 m kiintojäässä, 1,5 m kiintojäässä yli 5 kn nopeus)
- Kolme kääntyvää potkurilaitetta, 3×15 MW
- Diesel-sähköinen koneisto, kuusi dual-fuel dieselgeneraattoria, yht. n. 64 MW
- Rakentajatelakka DSME, Etelä-Korea
- Laivojen omistus ja operointi: 3-4 eri varustamon konsortioita.



Hankkeessa paljon suomalaisosaamista, mm:

- LNG:n reitti- ja olosuhdetarkasteluja, laivakoon ja koneistovaihtoehtojen vertailuja, laivakonseptin suunnittelua, satamatekniikkaa, rungonmuodon ja propulsiolaitteiden vaihtoehtoja, laajat mallikokeet, DAS-konsepti (Aker Arctic)
- Potkurilaitteet, pääsähköjärjestelmä (ABB)
- DF-moottorit (Wärtsilä)
- Muutamien muiden hankkeessa tarvittavien laivojen konsepti- ja perussuunnittelua: jäänmurtaja, satamahinaaja, moduulien raskaskuljetuslaivoja (Aker Arctic).

Aker Arctic Technology Inc.

- Toiminut vuodesta 2005 itsenäisenä yhtiönä, on jatkumoa Kvaerner Masa-Yardsin ja sen edeltäjien talvimerenkulun tutkimus- ja kehitysorganisaatioille (oli osa ex-Wärtsilän Helsingin telakan organisaatiota)
- Työllistää n. 50 henkeä, laivainsinöörejä, muiden alojen suunnittelijoita ja arktisen tekniikan asiantuntijoita ja työntekijöitä
- Liikevaihto n. 10 miljoonaa euroa vuodessa
- Aker Arcticin omistajat (2015):

Suomen teollisuussijoitus Oy	66,4 %
ABB Oy, Suomi	16,8 %
Aker Solutions ASA, Norja	16,8 %

- Asiakaskunta kansainvälistä ja maailmanlaajuista: Energiayhtiöitä, teollisuusyrityksiä, telakoita, varustamoita, valtiollisia organisaatioita, laitevalmistajia, luokitusyhtiöitä ym.
- Pääasialliset palvelut jäissäkulkevien laivojen suunnittelu ja jäämallikokeet, muuta arktista konsultointia ja suunnittelua, offshore-konseptien suunnittelua, mallinnusta ja simulointia.



Aker Arctic - peruspalvelut

Laivasuunnittelu

- Kuljetussuunnitelmat
- Laivojen konsptikehitys
- CFD- ja FEM-mallinnus
- Jäissäkulun simulointi
- Laivojen perussuunnittelu

Arktinen teknologia

- Ratkaisuvaihtoehtojen vertailu
- Pre-FEED -suunnittelu
- Offshore-konseptien suunnittelu
- Simuloinnit

Kenttätutkimukset

- Jääolosuhteet,
- Jään ominaisuudet
- Ympäristötarkastelut
- Suunnitteluperusteiden kehittäminen

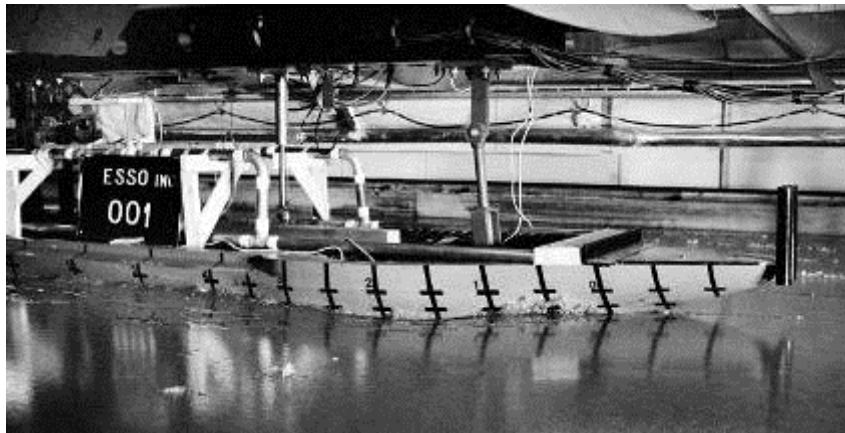
Malli- ja täysmittakaavakokeet

- Laivat
- Meriteknilliset rakenteet
- Lastaus ja purkaus merellä
- Pelastautuminen ja evakuointi

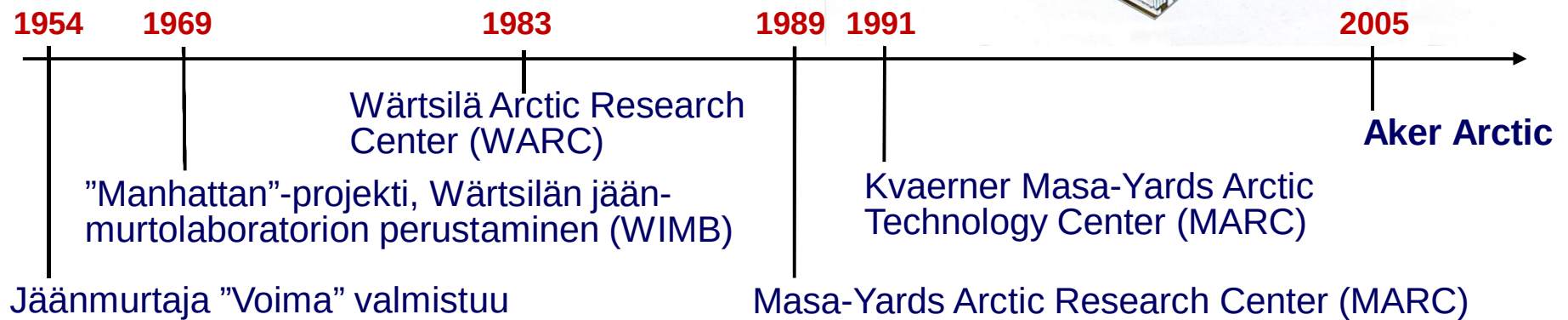
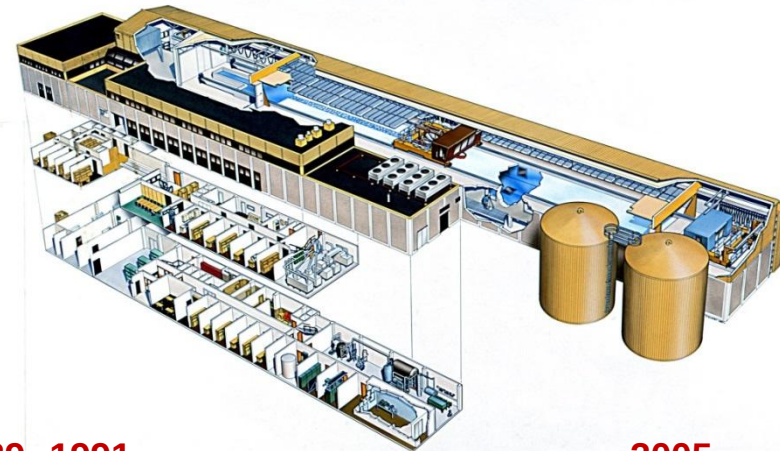


45 vuoden kokemus jäämallikokeista

Exxonin aloitteesta jäämallikokeita alettiin tehdä Vallilassa v. 1969

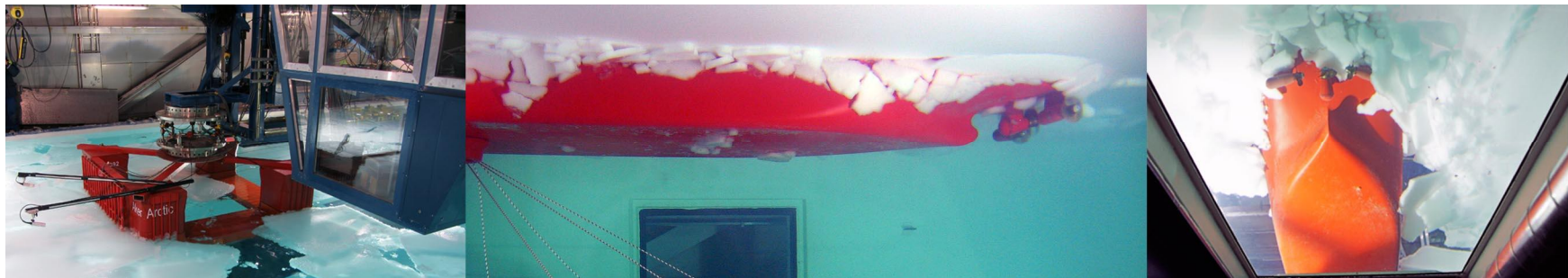


Toisen sukupolven mallikoelaitos vv. 1982-2005



Aker Arcticin jäämallikokeiden laboratorio, Vuosaari

- Kolmannen sukupolven mallikoelaitos, toiminta alkoi 2006
- Jääallas 76 m x 8 m x 2,5 m
- Altaan pohjassa ja laidoilla lasiikkunoita
- Vedenpäälinen mallivaunu
- Vedenalainen mallivaunu
- Matalan veden kokeita
- CO₂ -jäähdytysprosessi
- Voidaan valmistaa ominaisuuksiltaan monentyyppistä mallijäätä kulloisenkin tehtävän mukaan



27-May-15

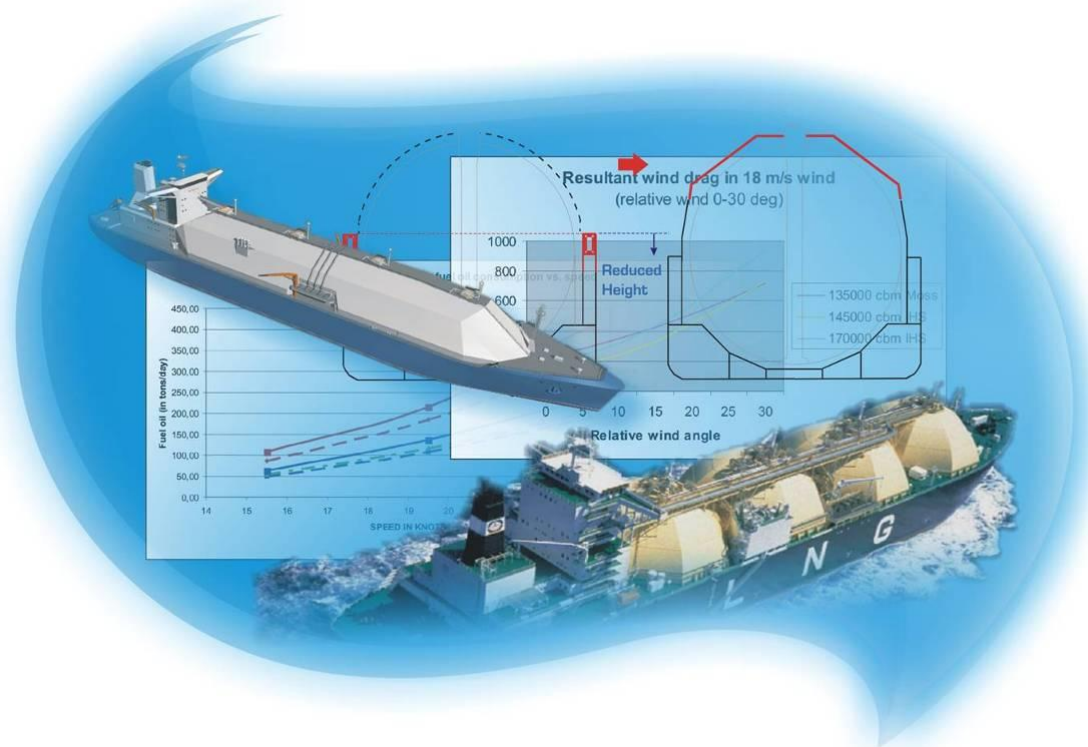
Aker Arctic
The Ice Technology Partner

Esimerkkejä asiakaskunnasta 客户名单举例



Aker Arctic Technology Inc.

...your partner regarding ice technology and gas ship technology



- Copyright of all published material including photographs, drawings and images in this document remains vested in Aker Arctic Technology Inc. and third party contributors as appropriate. Accordingly, neither the whole nor any part of this document shall be reproduced in any form nor used in any manner without express prior permission and applicable acknowledgements. No trademark, copyright or other notice shall be altered or removed from any reproduction.