



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Optimering af LNG/batteridrift for dansk indenrigs færefart

Miljøprojekt nr. 1647, 2015

Titel:

Optimering af LNG/batteridrift for dansk indenrigs færgefart

Redaktion:

Hans Henrik Simonsen, Danske Færger A/S
Johannes Johannesson, Johannesson ApS
Jens Karlsson, Wärtsila
Erik Styhr Petersen, SAM Electronics

Udgiver:

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K
www.mst.dk

År:

2015

ISBN nr.

978-87-93283-71-8

Ansvarsfraskrivelse:

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord	4
Konklusion og sammenfatning	5
1. Indledning	7
1.1 Baggrund	7
1.2 Formål.....	9
1.3 Forventede miljømæssige effekter.	9
1.4 Miljømæssige sidegevinster ved drift på LNG.....	13
2. LNG forsyning	14
2.1 LNG udbud og efterspørgsel.....	14
2.2 Prisudvikling for LNG.....	15
2.3 Logistik for LNG på LangelandsFærgen	17
2.4 LNG forsyningsaftaler	19
3. Valg af teknologi	21
3.1 Driftsprofil.....	21
3.2 Motor/batteriløsning.....	22
4. Ombygning	25
4.1 Skibets indretning med tankrum og maskinrum	25
4.2 Komponentleverandører	26
4.3 Driftssikkerhed	26
4.4 Sikkerhed ombord ved drift på LNG.....	28
4.5 Værft og ombygning.....	31
5. Økonomi	33
5.1 Omkostningsstruktur ombygning	33
5.2 Investeringsanalyse	34
Referencer	36

Forord

Under Miljøministeriets Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrations-program (MUDP), som har til formål at styrke danske virksomheder i en grøn omstilling - til demonstration, udvikling og test af nye innovative miljø-teknologiske løsninger, undersøges i nærværende projektrapport, muligheden for omstilling af eksisterende danske færger fra drift på marine gasolie til LNG/Batteri drift.

Projektarbejdet er gennemført af en projektgruppe bestående af Driftschef Hans-Henrik Simonsen, Danske Færger A/S, Johannes Johannesson, Johannesson ApS, Jens Karlsson, Wärtsila, Erik Styhr Petersen, SAM Electronics.

Miljøstyrelsens følgegruppe varetages af Mariane T. Hounum, Miljøstyrelsen, Dorte Kubel, Miljøstyrelsen og Per Winter Christensen, Danmarks Rederi-forening.

Vejledning og assistance vedrørende myndighedsområder og regelgrundlag, er givet af Hans-Jørgen Jensen, Søfartsstyrelsen, Flemming Kjeldsen, Lloyds Register og Jesper Aagesen, Lloyds Register.

Konklusion og sammenfatning

Ønsket om at implementere en transport infrastruktur som energimæssigt tilgodeser miljøet bedst muligt, og samtidigt bygger bro til fremtidens brug af grøn bæredygtige energi i form af biogas, så er drift på flydende naturgas (LNG) en brugbar og mulig løsning til bl.a. færgedrift.

På trods af, at LNG er et fossilt brændstof skal man ikke underkende den betydelige miljømæssige positive effekt dette giver, når man sammenligner det nuværende alternativ, som er drift på diesellole (MGO). Ved omlægning til drift på LNG reduceres udslippet af kvælstofilter "NO_x" med 80 %, svovl forbindelser "SO_x" med 100 %, og partikeludslippet (PM) med 90-100 %. Dertil kommer ligeledes en "CO₂" reduktion på ca. 20 %.

Forsyningssikkerheden globalt af LNG og andre naturgasser som Shale gas mv. synes meget høj med de stigende forekomster som der globalt er registreret de seneste år, og som til stadighed afdækkes. Disse forhold sammenholdt med at LNG leveres af et bredt antal aktører ud over de etablerede olieselskaber, kan betyde at der vil ske et brud på prisafhængigheden mellem olie og LNG, således at der over tid, kan ske et relativt fald i LNG priser, i forhold til olie.

Nærværende rapport undersøger muligheden for om en omlægning til drift på LNG af de danske færger M/F Langeland og M/F Lolland, som besøger Spodsbjerg – Tårs ruten mellem Langeland og Lolland. Færgerne drives i dag på konventionel diesel (MGO), og det er undersøgt, om det teknisk og økonomisk er muligt at gennemføre en omlægning til drift på LNG. Til brug for analysen er der gennemført en fuld projektering af installationen ombord, hvor alle nu kendte driftsmæssige forhold er indarbejdet, og disse er diskuteret med myndigheder og klassifikationsselskab. Afslutningsvis er der indhentet tilbud fra komponent-leverandører og værfter, således at de økonomiske beregninger bliver baseret på et så realistisk grundlag, som muligt.

Af denne rapport fremgår det, at der med de tekniske erfaringer som siden år 2000 er indhøstet i skandinavisk færgefart sammenholdt med nyeste hybridløsninger ved brug af batterier, kan skabes en implementerbar løsning, som energiteknisk er 10-12 % bedre end den nuværende, og samtidigt er drevet på LNG.

Økonomisk kræver omstillingen til LNG drift store investeringer, bl.a. til indkøb af LNG motorer, LNG tank og ikke mindst ombygning af færgerne. Den samlede investering som medgår til ombygning af de to færger andrager kr. 96.105.000. Beregningerne viser, at med indregning af omkostningerne til ombygningen af færgerne og den forbedrede energitekniske hybridløsning, vil det med den nuværende prisforskel mellem diesel (MGO) og LNG betyde; en nutidsværdi (NPV) på kr. -68.918.000. baseret på en forventet levetid på 25 år. For at opnå en NPV på kr. 0,- over levetiden på de 25 år, kræves et kapitaltilskud til projektet modsvarende kr. 60,- mio.

Skal det være økonomisk muligt at kunne drive LNG færger, og ikke mindst ombygge eksisterende færger til drift på LNG i fremtiden, kræver dette en vilje og engagement fra rederierne, energileverandører og ikke mindst fra politisk side.

Det bør tilskyndes, at den geografiske tilgængelighed til LNG bliver forbedret i forhold til i dag. Den fastlåste situation med ingen LNG aftager = ingen LNG leverandør og omvendt, er en stor barrierer for udbredelse af LNG til brug for transport infrastruktur. Så snart denne forhindring brydes, vil der over tid komme flere aftagere og leverandører i markedet til gavn for konkurrencen og forsyningssikkerheden. For at fremme udbredelsen i brug af LNG til transport infrastruktur, bør det

ligeledes overvejes, om der kan gives tilskud til operatører, som derigennem får mulighed for at omlægge driften fra diesel til LNG, - til gavn for miljøet.

1. Indledning

1.1 Baggrund

Muligheden for at anvende flydende naturgas (UK: "Liquified Natural Gas" ("LNG")) som brændstof i danske færger i stedet for dieselolie (UK: "Marine Gas Oil" ("MGO")) har været diskuteret og debatteret i en årrække.

LNG som fæргеbrændstof har siden år 2000 været anvendt i Norge i den lokale færgesfære. Frem til i dag har man gode erfaringer med både drift af færgerne samt sikkerheden omkring brug og håndtering af LNG i færgerne.

Siden opstarten i år 2000 har Sjøfartsdirektoratet i Norge løbende fulgt og registreret driftshændelser i færgerne, og følgende kan opsummeres (Lasse Karlsen, Technical Director Norwegian Maritime Authority: "LNG Shipping Fuel – The Future"):

Følgende hændelser er registreret i skibene:

- Ingen registrerede ulykker
- Enkelte tilbageslag i LNG motorens gassystem.
- To gange elektrisk black out på grund af sikkerheds shut down af gassystem.

Følgende hændelser er registreret på land i forbindelse med bunkring:

- Ingen registrerede ulykker.
- Et tilfælde af mindre spild fra ventil på tankbil.
- Et tilfælde af spild ved defekt bunkerslange på land.

Hertil skal det nævnes, at der i de første 12 år med LNG drift af færger i Norge, er udført mere end 60.000 operationer med tømning og fyldning af LNG tankbiler og udover ovenstående, er der sket to hændelser hvor tankbiler er involveret i trafikuheld – uden at dette har medført spild eller lækager af LNG.

I Norge kan den meget udbredte tilgang til brugen af LNG i den maritime kyst- og færgesfære særligt tilskrives den norske NOX fond.

NOX fonden er en selvejende institution hvis formål er at reducere udslip af NOX, hvor indtægterne til fonden kommer fra den norske industri som NOX afgifter.

NOX fonden støtter med indtil 80 % af projektkostningerne eller maksimalt NOK 350,-/kg NOX som bliver bortreduceret. Fondens støtter nye og ombygningsprojekter af skibe hvori der anvendes LNG som fremtidigt brændstof.

I Sverige idriftsætter Viking Line i april 2013 en ny passagerfærg M/S Viking Grace mellem Stockholm og Turku, og i juli 2013 planlægger Fjord Line at idriftsætte den første af to nybyggede LNG færges mellem Hirtshals og Norge.

I Danmark har man af forskellige grunde været mere tilbageholdende med at igangsætte tiltag til LNG drevne indenrigsfærges. Der har været igangsat og gennemført flere undersøgelser, som stort set alle konkluderede, at det vil være en god idé at anvende LNG som drivmiddel for den

indenlandske færgefart, særligt under hensyn til miljø, men også i en forventning til en stabil prisudvikling af brændstoffet i fremtiden.

Prisudviklingen på LNG har vist sig at være mere stabil sammenlignet med MGO, der varierer voldsomt over tid og har en støt stigende tendens.

Det kan naturligvis undre, at med den store interesse for alternativ, miljøvenligt brændstof i danske maritime kredse, at de konkrete projekter hidtil har ladet vente på sig.

Samsø Kommune har i foråret 2013 kontraheret en LNG drevet dobbeltender færge i Polen, som skal indsættes på overfarten mellem Hou og Sælvig den 1. oktober 2014.

Danske Færger A/S har siden 2010, da beslutningen om at bygge nye færger til færgeoverfarten Spodsbjerg – Tårs blev taget, haft en ambition om, at disse færger skulle kunne sejle på LNG.

Besejlingen af overfarten sker på grundlag af en 6-årig kontrakt med A/S Storebælt, der yder et årligt driftsstilskud til besejlingen.

Ruten er omfattet af Storebæltforliget.

De nye færger, som blev leveret og sat i drift i første halvår af 2012, er i forhold til indretning og stålkonstruktion forberedt til at kunne blive ombygget til LNG-drift. I færgernes byggespecifikation og gennem byggefasen på værftet, er der løbende blevet taget bedst mulig hensyn til en mulig kommende konvertering til LNG drift.

Grunden til at LNG løsningen imidlertid blev fravalgt i nybygningsfasen, skyldes tre problemstillinger, som rederiet formentlig ikke er ene om at erkende:

1. Der var og er intet marked for flydende naturgas i Danmark. Det er populært sagt en ”ægget og hønen” situation, idet der ikke findes vilje fra leverandører til at bygge LNG terminaler i Danmark før der er industrielle aftagere, og der kommer ingen maritime aftagere før der er LNG terminaler eller tilgængelig LNG logistik.
2. Det er kapitalmæssigt dyrt at vælge en LNG løsning sammenlignet med en konventionel MGO løsning, og der findes ikke i Danmark – som i Norge, en NO_x fond som præmierer miljømæssige optimale løsninger.
3. Der var i 2010 kun ganske få mindre LNG motorer (<1000 kW) på markedet og ingen der var godkendt af klassifikationsselskaberne til maritim anvendelse i danske skibe.

Af ovennævnte årsager blev det besluttet at færgerne skulle bygges til drift på MGO. Efterfølgende er der så arbejdet på, at finde løsninger på de ovennævnte problemstillinger, der kunne gøre en ombygning af færgerne til LNG drift mulig.

Europa kommissionen udsendte 24. januar 2013 forslag til Europa Parlamentet om etablering af infrastruktur for alternative brændstoffer (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0018:FIN:DA:PDF>) hvori LNG indgår i begrundelsen som et af de vigtigste alternative brændstoffer, og som samtidig er et attraktivt brændstof i forhold til emissioner.

Dette forslag er stillet til at understøtte Europa 2020 strategien i, at udvikle bæredygtig strategi for alternative brændstoffer.

I forslagets artikel 6 nævnes bl.a., at medlemsstaterne skal sikre at der etableres offentligt tilgængelige LNG tankstationer til søtransport senest 31. december 2020, samt at der skal finde en standardisering af tekniske specifikationer sted senest 31. december 2015.

Dette forhold, at EU nu aktivt tager initiativer til at fremme brugen af alternativer, kan betyde at en løsning på en LNG infrastruktur til transport-sektoren er på vej.

1.2 Formål.

Nærværende projekt har til formål at tilvejebringe den fornødne analyse og dokumentation for at kunne belyse muligheden for at ombygge færgerne M/F Lolland og M/F Langeland til et nyt LNG fremdrivningssystem. Fremdrivningssystemet kan udbygges enten med tre LNG gas motorer eller alternativt med en batteriløsning (hybrid), som således skal tilsikre at alle LNG motorer kører på en optimal driftsmæssig last.

Den tekniske dokumentation skal hertil klarlægge alle større tekniske udfordringer og spørgsmål, som skal afdækkes før en ombygning kan finde sted. Projektet skal ligeledes gøre det muligt at fastsætte en pris og beregne driftsprofilen for fremdrivningssystemet, således at de miljømæssige fordele ved et sådan nyt anlæg kan dokumenteres.

Endeligt skal projektet afdække investeringens nutidsværdi over en periode på 25 år, ved en givet omkostning til indkøb af LNG.

Projektet har således til formål, at kunne præsentere et LNG koncept som vil kunne kopieres af andre interesserede indenfor dansk færge- og kystfart.

Den endelige beslutning om udvikling af dette nye LNG fremdrivningssystem vil afhænge af forholdet mellem de dokumenterede kapitalomkostninger og fordelene ved den bedre miljøprofil og de forventede lavere fremtidige brændstofomkostninger ved at bruge LNG frem for MGO.

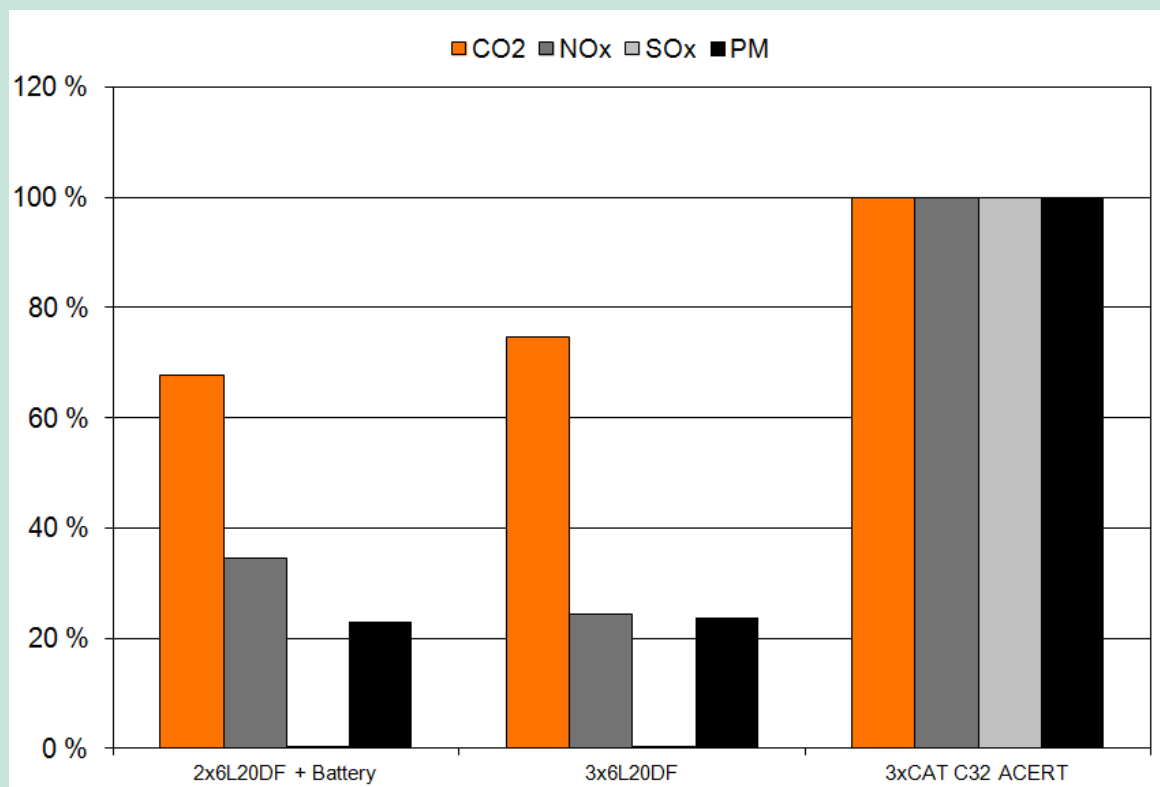
1.3 Forventede miljømæssige effekter.

Anvendelsen af LNG frem for MGO giver betydelig reduktion af emissionerne – reduktioner til niveauer som ligger langt under de krav, der fremover stilles med henblik på at reducere udledninger af SO_x, NO_x og partikler (jf. ECA-reglerne). Generelt kan forventes følgende reduktioner:

	CO ₂	SO _x	NO _x	Partikler
Reduktion:	20 %	100 %	80 %	90-100 %

TABEL 1: FORVENTET MILJØMÆSSIG EFFEKT VED SKIFT FRA MGO TIL LNG.

De LNG motorer, som udbydes kommercielt i dag, kan i øvrigt uden omstilling anvende en fremtidig produktion af flydende biogas (UK: "Liquified Bio Gas" ("LBG")), når en sådan produktion bliver tilstrækkelig stor og kvalitetsmæssig sikret.



FIGUR 1

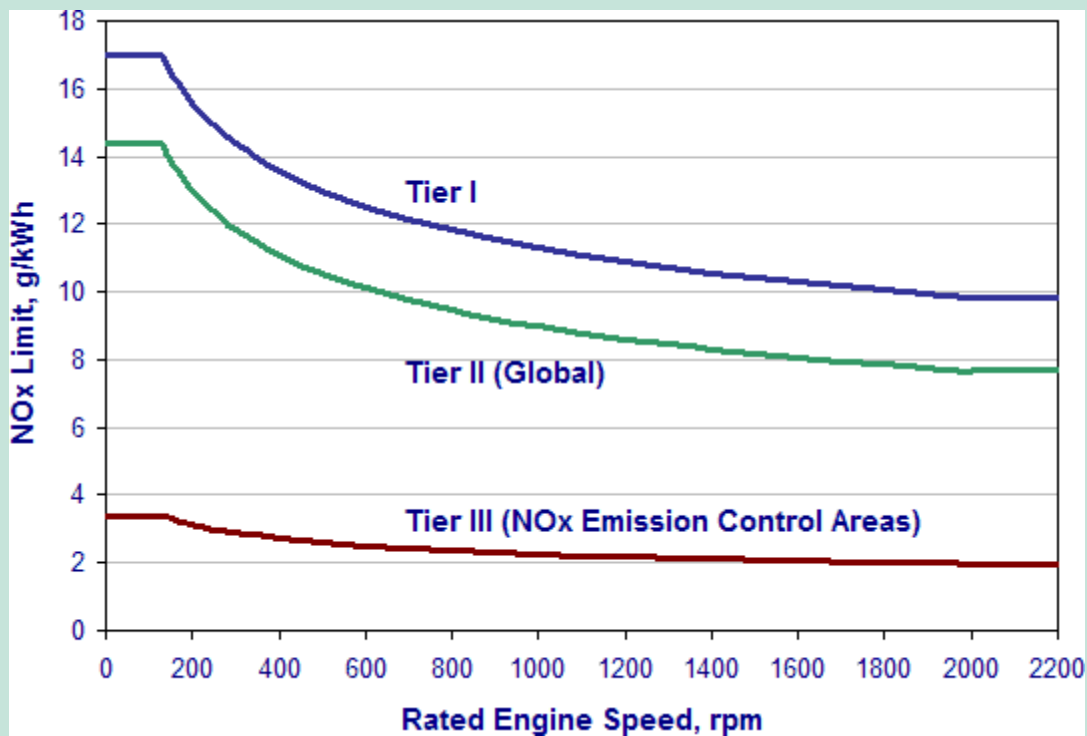
BEREGNET REDUKTION AF EMISSIONER VED OMSTILLING TIL LNG DRIFT (WÄRTSILA).

I ovenstående figur 1 fremgår de beregnede reduktioner af emissioner ved omstilling fra projektets nuværende motorkonfiguration (3xCAT C32 ACERT) med MGO som brændstof, til to alternative motor-konfigurationer til LNG drift – enten hvor der anvendes 3 stk. LNG motorer (3x6L20DF), alternativt en hybridløsning med 2 stk. LNG motorer + batterier (2x6L20DF+Battery).

På figuren fremgår det, at det beregnede CO₂ udslip reduceres med godt 30 % og udledning af svovl (SO_x) bortreduceres helt, da LNG stort set ikke indeholder svovl. Partikler (PM) reduceres med 80 % og årsagen til, at partiklerne ikke er bortreduceret 100 % er, at der stadig forbrændes en begrænset mængde MGO (1%) som pilot brændstof i denne type Dual Fuel motor.

Den samlede beregnede NO_x reduktion i hybridløsningen er ca. 70 % i forhold til den nuværende motorkonfiguration. Det fremgår også af ovenstående figur, at hybridløsningen har en marginal ringere NO_x reduktion end motor-konfigurationen med 3 Dual Fuel LNG motorer alene (3x6L20DF). Årsagen til dette er, at i den valgte motorkonfiguration kører motorerne kontinuerligt ved højere belastning, hvilket medfører højere NO_x udslip.

De til projektet valgte motorer opfylder de kommende IMO Tier III krav. På nedenstående figur fremgår NO_x forbedringen skematisk i forhold til de nuværende motorer som opfylder IMO Tier II emissionskravene.



FIGUR 2 EMISSIONSKURVER FOR IMO KLASSIFIKATIONER (KILDE: MARINTEK)

Metan udslip (CH₄), dvs. udledning af uforbrændt metan ved brug af 4 takt dual fuel motorer har tidligere udgjort et betydeligt miljøproblem, idet metan har en negativ miljømæssig effekt som er ca. 21 - 25 gange værre end CO₂.

Særligt ældre LNG dual fuel motorer havde ret høje udslip af uforbrændt metan, dette primært som følge af uhensigtsmæssige designs af motorernes forbrændingskammer.

Marintek i Norge lavede i 2010 (rapport file code: MT22 A10-199) en lang række undersøgelser af forskellige typer af LNG motorer, med henblik på at kortlægge emissionerne fra motorerne.

Af nedenstående tabel fremgår målinger fra en motor af typen Lean Burn (ren LNG brændstof):

Lean burn engines E2 cycle, specific fuel consumption: 9320 – 7850 kJ/kWh

Load	25 %	50 %	75 %	100 %
Methane emissions [g CH ₄ /kWh]	41.3 – 22.6	9.05 – 7,8	7.34 – 6.9	6.17 – 6
Methane emissions [kg CH ₄ /ton LNG]	134 – 110	41 – 47	37 – 45	32 – 41

TABEL 2 METAN EMISSIONER LEAN BURN MOTORER (KILDE: MARINTEK)

- og målinger fra en motor af typen Dual Fuel (MGO og LNG brændstof):

Dual fuel engine E2 cycle, specific fuel consumption: 8048 kj/kWh				
Load	25%	50%	75%	100%
Methane emissions [g CH ₄ /kWh]	40.40	21.95	13.36	12.70
Methane emissions [kg CH ₄ /ton LNG]	154	105	74	69

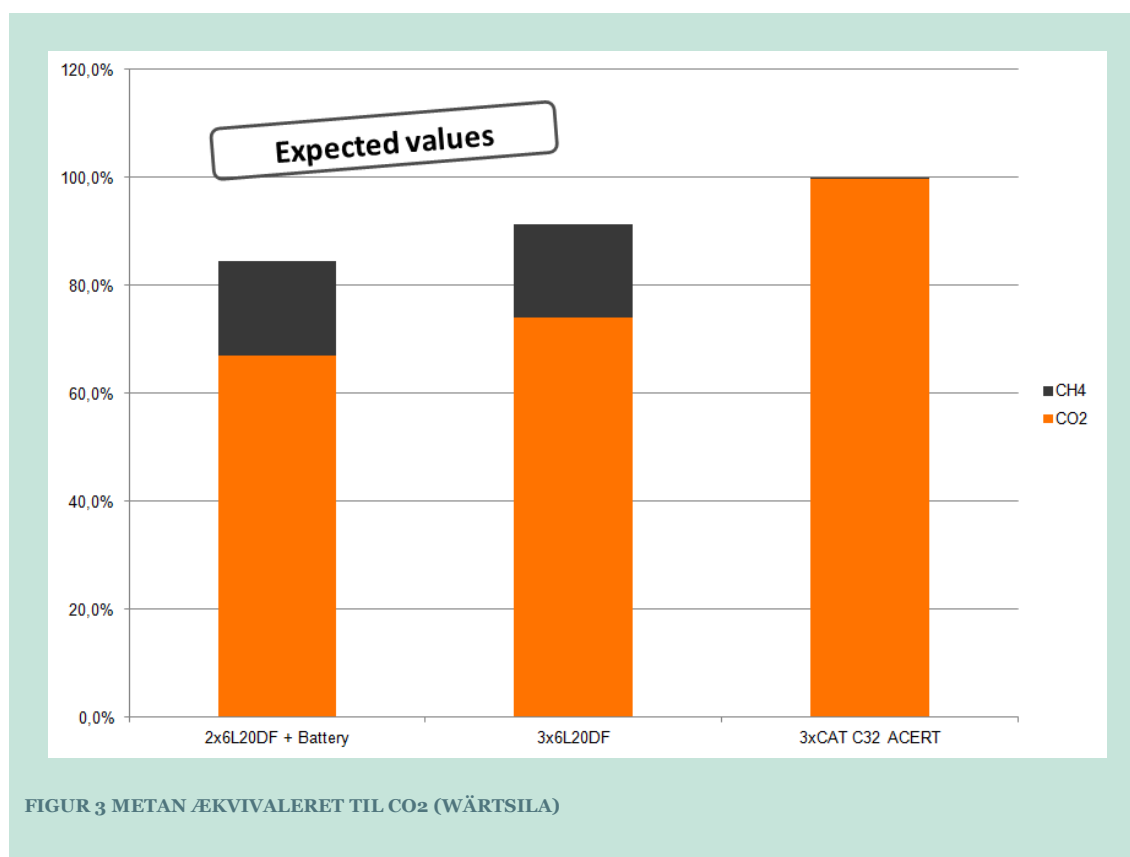
TABEL 3 METAN EMISSIONER DUAL FUEL MOTORER (KILDE: MARINTEK)

Af tabellerne fremgår det tydeligt for begge motortyper, at metan udslippet reduceres betydeligt med stigende belastning af motorerne, hvorfor man skal tilsikre at motorerne kører ved kontinuerlig høj belastning for at opnå mindst mulig miljøbelastning.

Hvad der også fremgår af tabellerne er, at Lean Burn motoren som er optimeret til gasdrift, samtidig har det laveste metan udslip.

Udviklingen på dette område, er gået stærkt de seneste år, og moderne Dual Fuel motorer, som dem der anvendes i nærværende projekt (Wärtsila W6L20DF), har metan udslip ved fuld belastning på ca. 6 gram pr. kWh.

I nedenstående figur ækvivaleres det beregnede metan udslip til CO₂ i samme opstilling som tidligere, og dermed vil den samlede CO₂ belastning reduceres med 20 % i forhold til udslippet fra den nuværende motor-konfiguration:



FIGUR 3 METAN ÆKVIVALERET TIL CO₂ (WÄRTSILA)

1.4 Miljømæssige sidegevinster ved drift på LNG.

Af miljømæssige sidegevinster ved omstilling fra drift på MGO til drift på LNG kan nævnes følgende:

- a) Vedligeholdelsesterminer (driftstimer) på LNG motorerne er betydeligt længere end nuværende MGO motorer, da motorernes indre dele forurenes mindre med restpartikler fra brændstoffet.
- b) Brugt smøreolie fra skibets motorer reduceres med op til 50 %, da smøreolien forventes at kunne køre længere (flere driftstimer) ved drift på LNG, da forureningen af smøreolien med uforbrændte kulstofpartikler og andre restprodukter fra motorens forbrænding næsten er bortreduceret.
- c) Mulighed for udeladelse af centrifuger til rensning af olie brændstof. Herfra bortreduceres produktion af olieholdig slam samt energi til at drive centrifuger og tilhørende pumpe-systemer samt tankopvarmning,
- d) Olieholdigt spildevand fra rendestene i skibets maskinrum reduceres betydeligt, grundet den begrænsede håndtering og tilstedeværelse af smøreolie og olie-brændstof.
- e) Kuldebehov til skibets air condition anlæg og andre kølebehov ombord, kan dækkes ved forgasningsenergi af LNG i systemets coolbox.

2. LNG forsyning

2.1 LNG udbud og efterspørgsel

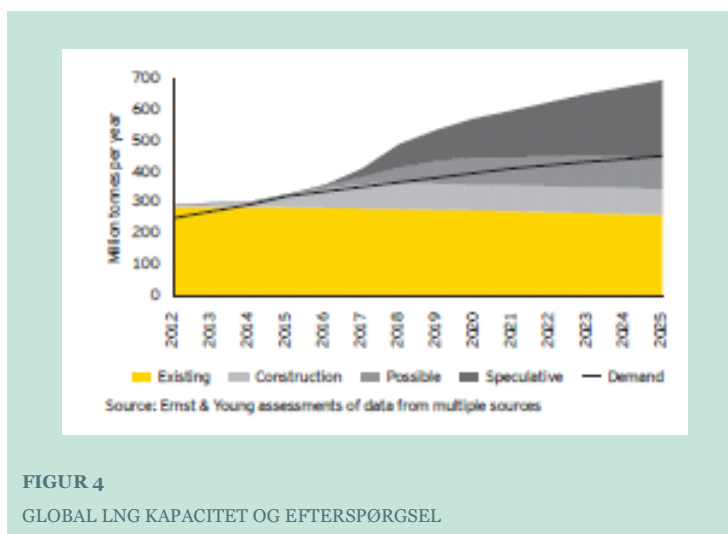
Det Internationale Energi Agentur (IEA) forudser at den globale efterspørgsel på LNG vil vokse i verdens samlede energimix over de kommende år, med en andel på 21 % i 2010 til 25 % i 2035, og samtidig være det eneste fossile brændstof som vokser i efterspørgsel (*International Energy Agency, World Energy Outlook 2012, oktober 2012*).

Særligt er det Japan, Korea og Taiwan som traditionelt er de store aftagere af LNG grundet omfattende tung industri, og samtidig er det lande som ikke er rige på egne energireserver.

Hertil kommer nye fremtidige storaftagere såsom Kina og Indien, som må forventes at supplere deres nuværende energianvendelse af kul og olie, med LNG.

Den stigende globale efterspørgsel på LNG modvejes af eksisterende og nye LNG reserver.

Nye produktionsmetoder i eksisterende forekomster sammenholdt med afdækning af nye og ikke ubetydelige forekomster ved Australien, Qatar og Østafrika (Mozambique og Tanzania) formodes at dække den globale efterspørgsel af LNG langt ind i fremtiden.



FIGUR 4
GLOBAL LNG KAPACITET OG EFTERSPØRGSEL

Til de globale reserver af LNG kommer de øvrige forekomster af naturgasarter ("*Unconventional Gas Resources*") som kan anvendes til brændstof. Disse gastyper består bl.a. af Shale Gas, Tight Gas og Coal Bed Gas, som på lignende vis med LNG, har udvinding af disse gastyper gennemgået en rivende udvikling og nye forekomster er afdækket, således at det må forventes, at de allerede kendte forekomster kan dække efterspørgslen af disse gastyper de næste 200 år (*The Economist, Special Report: "An Unconventional Bonanza", 14 July 2012*).

Det Internationale Energi Agentur (IEA) forventer, at denne gruppe af naturgasser vil dække 25 % af den globale naturgas efterspørgsel i 2035, hvor den i dag dækker 8 % (*International Energy Agency, Golden Rules for a Golden Age of Gas, June 2012*).

2.2 Prisudvikling for LNG

Historisk har LNG prisen været koblet til prisen på olie, og nærmere bestemt til destillater f.eks. Gasolie (MGO) med en lav svovlprocent.

Det forventes at LNG, efterhånden som det globale energi marked ekspanderer og produktet finder større anvendelse i industrien, vil skabe sit eget marked baseret på udbud og efterspørgsel.

Prissætningen på LNG kan derfor i stigende grad forventes at frigøre sig fra tilknytningen til olieprisen, og vil derfor i fremtiden basere sig mere på lokalt spot og hub-baseret prissætninger.

For de fleste rederier og industrier der overvejer at skifte til LNG drift vil den fremtidige prisudvikling af LNG være af afgørende betydning og specielt vil den være interessant i forhold til den forventede prisudvikling for diesel (MGO).

Med udgangspunkt i dagens (juni 2013) priser, og markedets forventninger til udviklingen i den globale efterspørgsel og priser, kan følgende prissammen-ligning udarbejdes:

	Year 2014	Year 2015	Year 2016	Year 2017	Year 2018
ICE MGO \$/ton	957	974	995	1016	1041
Logistik	50	51	52	53	54
Total MGO \$/ton	1007	1024	1045	1066	1091
Total MGO EUR/MWh (LCV*)	65,6	66,8	68,2	69,7	71,4
NBP – LNG Produktpris	29,7	29,1	28,3	27,9	27,4
Logistik	33	33,7	34,3	35,1	35,7
Total LNG EUR/MWh (LCV*)	62,6	62,7	62,6	62,9	63,1

TABEL 4
BEREGNET MED UDGANGSPUNKT I LCV – LOWEST CALORIFIC VALUE

Som det fremgår af ovenstående tabel, så forventes der en forskydning i pris over tid mellem diesel olie og LNG på næsten 10 % til LNG's fordel allerede fra 2018.

Der noteres, at der for LNG er en faldende pris over tid, og det er en typisk prisudvikling for sådanne produkter når der tales terminskontrakter.

Stigningen der er tale om for leveringsomkostninger er blot den almindelige forventning til prisudviklingen for transport, lønninger etc.

Kilde: the Societe Generale Class Asset Research May 21st, 2013 “Long term price forecast vs. forward prices”

Prisen på LNG i det nordeuropæiske område fastsættes med basis i flere noteringer på markedet. Det kan være:

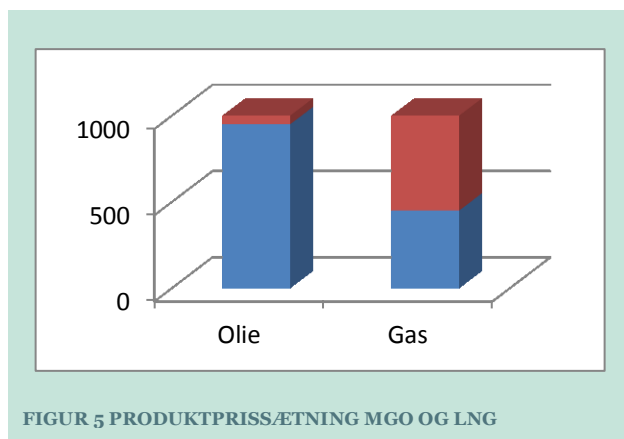
- ICIS Heren Report - <http://www.icis.com/energy/channel-info-about/european-spot-gas-markets-report/>
- National Balancing Point (NBP) - <http://www.platts.com/price-assessments/natural-gas/uk-nbp>
- Title Transfer Facility, TTF - <http://www.cmeclearingeuropa.com/membership/files/nl-ttf-factsheet.pdf>

Prisdannelsen for LNG er lidt forskellig fra prisdannelsen på olieprodukterne såsom MGO og HFO (Heavy Fuel Oil), som der i dag anvendes. Prisen på olieprodukterne fastsættes i det nordeuropæiske område med basis i noteringerne for Rotterdam (NWE, North West Europe) og disse noteringer udviser den pris der reelt er handlet til for den pågældende vare.

Den pris der noteres er for olien leveret på stedet inklusiv samtlige omkostninger. For vores områder tilkommer leveringsomkostninger til de enkelte havne.

Som det fremgår af nedenstående illustration er produktprisen (blå) en meget stor andel af den endelige pris på olien. Resten (rød) er leveringsomkostninger til de enkelte aftagere.

For LNG forholder det sig således at noteringerne er prisen som den fremstår ved levering til de såkaldte 'hubs', eller knudepunkter. Dette vil typisk være større terminaler. Dertil kommer logistik vederlag som betaling for omkostninger til oplagring, nedkøling, administration, overhead og transport. Disse omkostninger (rød) vil ofte udgøre en lige så stor del af den total pris som prisen på selve produktnoteringen (blå).



Der er på nuværende tidspunkt i Europa cirka 35 skibe der sejler på LNG, dette forventes ved årets udgang 2013, at stige til 50 skibe.

DNV (Det Norske Veritas) forventer at antallet af skibe drevet på LNG, vil ligge på omkring ca. 1.000 i år 2020. De fleste af disse vil sejle i Europa.

Denne øgede tonnage vil dog ikke betyde en øget efterspørgsel på LNG, som vil have indflydelse på markedsprisen af LNG.

Mængderne som i denne sammenhæng efterspørges er relative beskedne, og vil ikke drive prisen på LNG.

Det vil imidlertid betyde, i takt med at der kommer flere skibe som forbruger LNG, og der kommer flere aftagere af LNG, vil der blive en større aktivitet og et behov for flere terminaler. Dette vil igen,

sammenholdt med at leverandørerne får udnyttet deres faciliteter bedre, kunne reducere logistikomkostningerne.

2.3 Logistik for LNG på LangelandsFærgen

LNG produktet lastes fra en terminal til en tankvogn i Hamburg og køres i mængder på 17 tons med tankbil til Spodsbjerg og Tårs, hvor der losses direkte fra tankbil ind i skibenes LNG tank. Losningen fra lastbilen foregår ved at gassen, på grund af forskel i trykket mellem tankvogn og skibets tank, flyder over i skibets tank gennem en slange med en specielt udviklet kobling.



BILLEDE 1 BUNKRING TANKBIL TIL SKIB

Beregningerne viser, at der som udgangspunkt skal anvendes 3.500 ton LNG om året eller cirka 200 lastbilleverancer, med bunkring ca. hver tredje dag.

Bunkringen, som med den nuværende teknologi tager ca. 45 - 50 minutter, kan ikke finde sted i den daglige drift, da havneopholdet maksimalt er 15 minutter. Derfor skal bunkring finde sted om natten og efter oplægning, hvor færgerne ligger stille 6 timer.

Alternativt til en løsning med leverance af LNG direkte fra tankbil til skib er, at etablere en stationær tank i land hvorfra færgerne kan bunkre efter behov. Ligeledes kan LNG leverandøren levere gassen frit på døgnet og i ugen, efter egen planlægning.

Ved denne løsning kan både operatør og leverandør planlægge uafhængigt af hinanden og dermed minimere omkostninger og spildtid.



BILLEDE 2 STATIONÆRT TANKANLÆG

Omkostningerne til etablering af et stationært tankanlæg til færgerne andrager 30,0 – 35,0 mio. kr. pr. havn + løbende driftsomkostninger.

Dette er en betydelig investering, som udelukkende kan forrentes gennem besparelser i leverandørens distributionsomkostninger.

Besparelserne skal begrundes i den ovenstående fleksibilitet som denne løsning repræsenterer.

Er havnene hvorfra færgerne sejler lokaliseret i et område med større havne-installationer som kan modtage LNG tankbåde, og der kan modtages og losses LNG direkte fra et LNG tankskib, ville dette også være en mulighed for at nedbringe omkostningerne til indkøb af LNG – og dermed forrente investeringen af det stationære tankanlæg.

En fremtidig mulighed for forrentning af en stationær tankinstallation er, at etablere en LNG/CNG tankstation til CNG drevne busser, lastbiler og biler. Lignende tankstationer er udbredt i Skandinavien og dele af Europa – og er ligeledes en del af tidligere nævnte Europa Kommissionens forslag til Europa Parlamentet om etablering af infrastruktur for alternative brændstoffer. Dette kræver dog en udbredt efterspørgsel af CNG, hvilket ikke er til stede pt.



BILLEDE 3 LNG/CNG TANKSTATION (LIQUILINE)

En anden mulighed for at etablere et mobilt og samtidigt fleksibelt forsyningsnetværk, er anvendelsen af et system bestående af et antal tank-trailere, som LNG leverandøren opererer og samtidigt løbende tilsikrer, at der til stadighed er fyldte tank-trailere til rådighed ved kunderne, hvor der skal bruges LNG.

LNG kunderne kan i denne sammenhæng være både industri, færger og landtransport kunder, som har et løbende behov for at få leveret LNG, men som er geografisk decentralt placeret i landet.

Trailerne indgår i et logistisk forsyningsnetværk drevet af LNG leverandøren, hvor LNG kunderne løbende modtager fyldte tank-trailere efter behov – og de tomme tanke-trailere afhentes i takt med at de tømmes og logistikken tillader dette.

Denne løsning er fleksibel i forhold til kunde og leverandør og vil blive mere og mere økonomisk rentabel i takt med at flere kunder tilslutter sig forsyningsnetværket.

Når der i fremtiden etableres et LNG hub i Danmark, vil transport-omkostningerne straks forbedre økonomien i projektet.

2.4 LNG forsyningsaftaler

Der vil blive indgået forsynings- og prisaf tale med en leverandør med en indbygget forsyningsikkerhed.

Prisen vil bestå af en variabel del (den daglige prisnotering) og en fast del (logistik omkostninger).

Den variable del vil være et gennemsnit af noteringer over en måned, og den faste del et fast beløb per kubikmeter.

Aftalerne vil typisk blive indgået for en periode med et udløb svarende til udløbet af besejlingsaftalen, men med en gensidig mulighed for opsigelse med et vist varsel, typisk tre måneder.

I den nuværende fase, hvor LNG markedet opbygges, vil det ikke være kloget at være forpligtet til store logistik omkostninger. Dette særligt hvis en alternativ leverandør opretter en terminal i nærområdet og der kan indgås mere attraktive aftaler derfra.

Det er blevet besluttet i forbindelse med dette projekt, at arbejde med Bomin/Linde LNG som leverandør. Dette er et tysk selskab som er 50/50 ejet af Marquard & Bahl og Linde. Marquard &

Bahl er ejere af Bominflot Bunkering, Oiltanking, Skytanking, benzinselskabet OIL og flere andre industrier.

Linde er blandt andet ejer af AGA og har gennem mere end 100 år leveret industrielle gasser.

Selskabet har opført og driver LNG terminalen i Nynäshamn ved Stockholm og leverer dagligt LNG til Viking Grace med verdens første LNG lægter, Seagas. Selskabet har en LNG terminal i Hamburg, hvorfra der kan leveres LNG til LangelandsFærgen, og opfører i løbet af 2013/14 nye terminaler i Rotterdam og Bremen.

En anden mulig leverandør er Skangass som har leverancerne af LNG til Fjord Line i Norge og Hirtshals.

Rederiet har tidligere været i kontakt og dialog med Gasnor (Shell), men interessen i at levere LNG til færgerne har ikke været til stede.

På nuværende tidspunkt er der enkelte andre leverandører som undersøger muligheden for at kunne blive aktører i dette marked.

3. Valg af teknologi

3.1 Driftsprofil

På Spodsbjerg – Tårs er der timedrift i 18 timer af døgnet det meste af året. Dette betyder at færgerne sejler hver mellem 16 og 18 gange i døgnet alle 365 dage om året.

Færgerne er bygget med fire azimut propellere, der drives dieselelektrisk, og der er to maskinrum med 5 uafhængige 850 kW dieselgeneratorer, hvilket medfører at normal drift uden problemer kan opretholdes, selvom der skulle opstå tekniske problemer med en propel eller en generator.

Ved udarbejdelse af en sejladsprofil for overfarten, hvor alle energibehov afdækkes minut for minut, kan den optimale motorkonfiguration kortlægges.

Overfarten Spodsbjerg – Tårs har som mange andre danske færgeruter en meget varieret vanddybde. På en stor del af overfarten skal der derfor sejles på meget lavt vand med nedsat hastighed og motorbelastning.

For en ”normal tur” i stille vejr og ved normal vandstand ser sejladsprofilen ud som vist nedenfor. I modvind og især lavvande kan tallene ændre sig meget.

Manøvre	Varighed (minutter)	Belastning (kW)
Fortøjet (løsning og lastning):	15	150
Afsejling fra havn:	2	650
Acceleration:	2	1.200
Dybt vand:	23	1.880
Lavt vand:	7	1.580
Lavt vand:	8	1.200
Anduvning af havn:	3	650
I alt	60	

TABEL 5 SEJLADSPROFIL SPODSBJERG - TÅRS

Både forbrug og emissioner forværres dramatisk når fremdrivningsmotorerne ikke kører på deres optimale belastning, og dette forhold gælder især for LNG motorer.

På en enkelt tur sejles der derfor med hhv. 1, 2 og 3 motorer alt afhængig af belastningsprofilen som fremgår af ovennævnte skema.

Dette er også årsagen til at motorerne ikke skal være større end de ca. 850 kW, således at den til farvandet nødvendige fleksibilitet opnås.

For yderligere at kunne optimere forbruget, og især emissionerne indgår en LNG motor/batteriløsning (hybrid) sammen med en ren LNG motorløsning i nærværende rapport. Denne løsning går ud på at 1 eller 2 LNG motorer konstant kører på optimal belastning. Alt afhængig af den nødvendige belastningsprofil enten oplades eller aflades batterierne, og supplerer med energi til at drive færgen. Dette vil give en optimal driftsprofil med meget lave emissioner og et meget lavt forbrug til følge.

For de norske færgeruter og skibsfart i almindelighed gælder, at ruterne besejles kontinuerligt på dybt vand. Ved sejlads på dybt vand vil sejladsprofilen ikke variere i samme grad som sejlads på lægt (lavt) vand, eller ruter med varierende vanddybder. Dette betyder, at disse færger kan udstyres med færre og større motorer svarende til forbruget ved normal servicefart. Danske og norske færger har derfor meget forskellige udfordringer i forhold til sejladsprofilen.

3.2 Motor/batteriløsning

I efteråret 2012 blev der foretaget en forundersøgelse angående hvilken motorkonfiguration, som var den bedst egnede.

Kriterierne for undersøgelsen var at finde producenter, som kunne levere motorer af den rigtige størrelse, som både passede til det elektriske system ombord samt fysisk kunne være ombord, og opfylde kravet til belastningsprofilen, som sejladsprofilen kræver, samt opnå den nødvendige driftssikkerhed.

Forskellige producenter blev undersøgt, og det viste sig, at der kun var én producent som havde motorer, der opfyldte alle kravene.

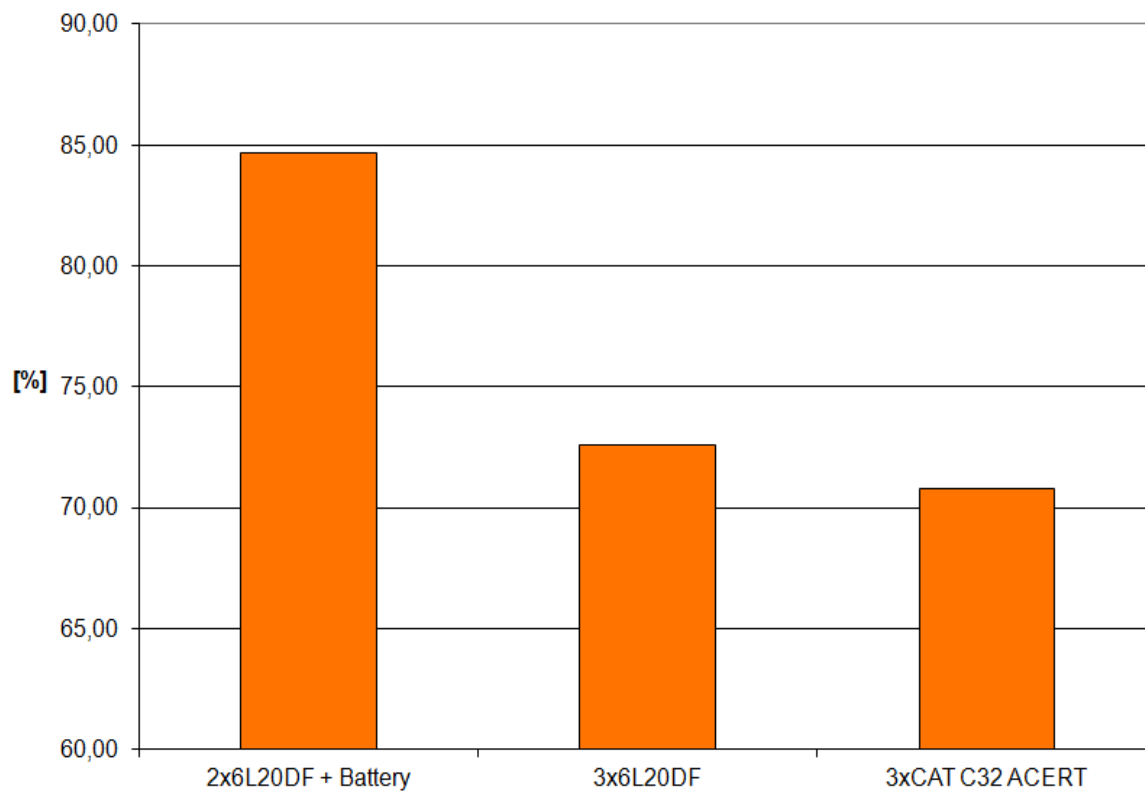
Det var Wärtsilä i Finland som producerer dual fuel motorer, dvs. at motorerne kan enten køre på MGO eller LNG.

Der var forskellige løsninger som blev analyseret, følgende løsninger blev der set på.

1. To motorer på ca. 1.100 kW.
2. Tre motorer på 850 kW (3x6L20DF).
3. Hybridløsning bestående af to motorer på 850 kW supporteret af ca. 500 kWh batteri enhed (2x6L20DF+Battery).

Løsning nummer 1 kan ikke opfylde kriterierne til operationsprofilen, hertil vil løsningen også indebære en omfattende ombygning af det elektriske anlæg i færgerne.

Løsning nummer 2 og 3 kan anvendes og opfylder alle kriterier vedrørende sejladsprofil, driftssikkerhed og fysiske begrænsninger i skibet.



FIGUR 5 ENERGITEKNISK VIRKNINGSGRAD (WÄRTSILA)

I ovenstående diagram fremgår de beregnede totale virkningsgrader afhængig af valgte motor konfiguration.

Hybridløsningen (2x6L20DF+Battery) viser sig at være den markante bedste løsning – ca. 12 % bedre energiteknisk end motorkonfigurationen som skibet er udrustet med i dag (3xCAT C32 ACERT).

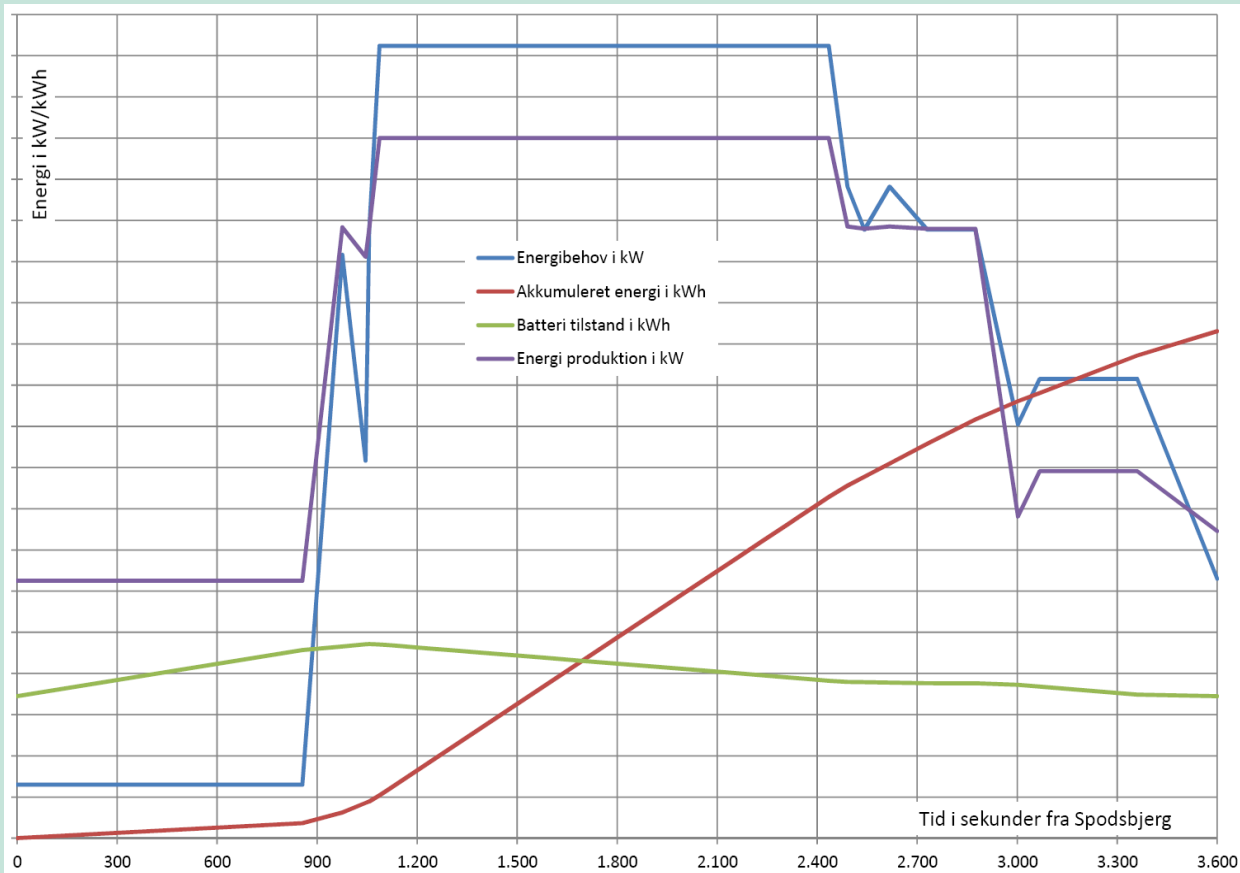
I det følgende arbejdes der derfor videre med denne konfiguration.

Ved hybrid drift med batterier som support til fremdrivningen, vil sejladsprofilen se ud som vist på grafen nedenunder.

Her er der 4 situationer som er specielt interessante, og som grafen viser, er generatorerne altid højt belastede.

1. Havneophold: Her vil kun én generator være kørende hvor hovedforbruget går til opladning af batteri og hvor resten går til hotelenergi og anden drift.
2. Afgang fra Spodsbjerg: Nogle minutter efter afgang skal der startes en generator mere, batteriet leverer energi til acceleration samt variabel forekommende belastning.
3. Sejlads på dybt vand: Her er de to generatorer højt belastede og resten af energibehovet bliver leveret af batterierne.

4. Sejlads på lavt vand i renden til Tårs: Her er der varieret vanddybde, hvor belastningen varierer, og på et tidspunkt kan en af generatorerne slukkes, hvor der bliver sejlet i renden samt manøvreret med energi fra en generator og batterierne.



FIGUR 6 SEJLADSPROFIL VED SEJLADS FRA SPODSBJERG TIL TÅRS MED HYBRIDDRIFT

4. Ombygning

4.1 Skibets indretning med tankrum og maskinrum

Begge færger er, som tidligere nævnt, allerede på konstruktionstidspunktet forberedt for, at kunne ombygges til LNG drift.

Der er reserveret et separat rum midtskibs, mellem de to maskinrum, til en LNG bunker tank.

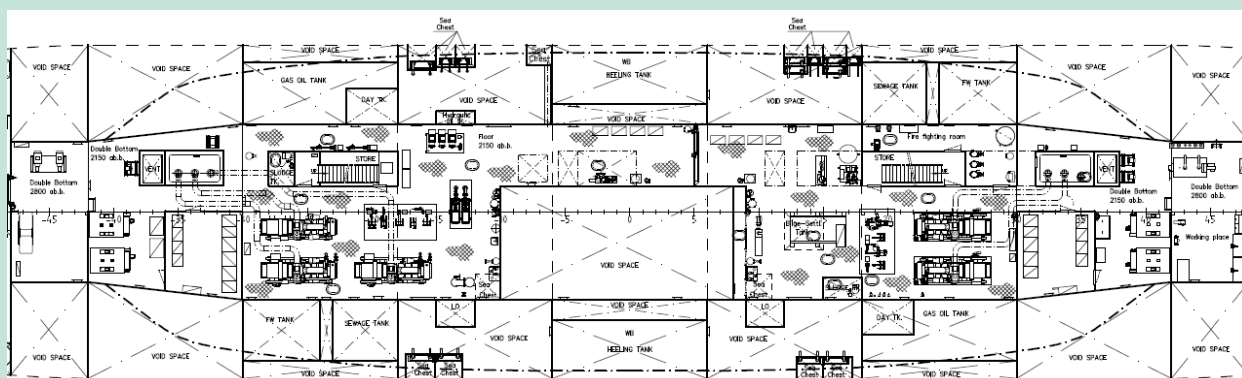
I det ene maskinrum udskiftes de dieselelektriske generatoranlæg med LNG drevne generatorer.

Nedenstående ses arrangementtegning af maskinrummene.

Maskinrummet til venstre på tegningen bliver ombygget til et maskinrum for LNG motorer, hvor maskinrummet til højre bibeholdes som i dag til drift med MGO motorer.

Den fremtidige drift vil herefter kunne udføres alene med LNG motorer fra det ene maskinrum, men samtidig med mulighed for at kunne supplere, eller erstatte driften med de MGO motorer fra det andet maskinrum.

Dette kunne være i tilfældet af, at en eller flere af LNG motorerne er ude af drift, grundet vedligehold, problemer med LNG leverancer eller andet.



BILLEDE 4 OVERSIGTSTEGNING SOM VISER DE TO MASKINRUM MED LNG TANK RUM I MIDTEN

Den påtænkte LNG gas tank bliver på ca. 40 kubikmeter svarende til leverance fra en normal tankbil hver anden til hver tredje dag.

Selve ombygningen omfatter indbygning af en LNG bunker tank med tilhørende udrustning og hjælpesystemer, udskiftning af de tre MGO motorer med to LNG motorer - inklusive alle nødvendige hjælpesystemer til motorerne og generatorer, ombygning af maskinrumsventilation, batteri pakke, elektriske og automatik systemer.

Endvidere skal der af sikkerhedsmæssige årsager opsættes udluftningsmast højt oppe i skibet, således at der kan ske sikker udluftning af gas, i tilfælde af uheld eller lækage på systemerne ombord.

Ved bunkring af LNG vil dette ske fra en tankvogn på kajen, gennem et isoleret dobbelt rør til skibets LNG tank.

4.2 Komponentleverandører

LNG udrustningen som skal indbygges i skibet, er i dette tilfælde valgt som et komplet system, leveret af Wärtsilä i Finland og inkluderer følgende hovedkomponenter:

- To LNG generatoranlæg på ca. 850 kW hver med motor og generator færdigsamlet klar til installation ombord.
- LNGPac som er et hjælpesystem, der sørger for fordampning af gassen til motorerne, samt korrekt tryk i LNG tanken - både under bunkring men også under drift.
- GVU enheden som forsyner LNG til motorerne med den rigtige mængde gas og ved det rigtige tryk.
- Inertgasanlægget som leverer nitrogen, der bliver brugt ved bunkring af LNG, således at det sikres, at der ikke kommer oxygen ind i LNG bunkertanken.
- MGO Pilot brændstofs system som antænder gassen inde i motorernes forbrændingskammer.
- Start lufts system til start af LNG motorerne.

Ombygningen af det elektriske system ombord bliver varetaget af den samme leverandør som har leveret og bygget hele den elektriske installationen ombord, da færgerne oprindeligt blev bygget. Det varetages af SAM elektronik fra Tyskland i samarbejde med deres danske leverandører. Den elektriske udrustning vil omfatte følgende ombygning og programmering:

- Ombygning af to generatortavler.
- Ombygning af generatortavle til batteri drift.
- Installation af batteripakken (ca. 500 kWh).
- Omprogrammering af automatiksystem.
- Omprogrammering af power management system.
- Programmering og installering af energi management system.
- Installering af elektriske forbindelser til nye og ombyggede systemer.

4.3 Driftssikkerhed

Ved en færge operation øst – vest i Danmark som Spodsbjerg – Tårs, er driftssikkerheden en af de vigtigste succes faktorer.

Når nogen ankommer til færgen skal den både sejle og afgå til tiden, således at kunderne kan regne med at ”færgen sejler altid”.

I tilfælde af mangelfuld eller dårlig regularitet finder kunderne alternative løsninger, når dette er muligt. Derfor er det vigtigt i udvælgelsen af leverandører, udstyr samt design af systemer, at der er god driftssikkerhed indbygget, således at ”færgen sejler altid”.

Dual fuel motorer som er valgt i denne rapport, giver den mest brændstof fleksible løsning. En dual fuel motor er en firetakts motor, der kører efter diesel princippet, dvs. at brændstoffet antændes ved kompression, men da naturgas ikke kan antændes ved dette princip (kompression), indsprøjtes en lille mængde (ca. 1 %) diesel olie (pilot olie) sammen med gassen, diesel olien antændes ved kompression som så efterfølgende antænder gassen.

Dual fuel motorer kan, udover at køre på LNG gas, også køre på diesel, og afgive samme motorydelse.

Motoren kan skifte mellem drift på gas og diesel olie og omvendt, alt sammen hurtigt og gnidningsløst under motorens drift og uden stop.

Dette betyder kort fortalt, at der teknisk i motoren er indbygget et komplet system for drift på LNG og et komplet system for drift på MGO.

Dual fuel motorer vil grundet deres indretning med to brændstofs-systemer og hurtige skift mellem systemerne, være det optimale valg til passagerfærger af hensyn til driftssikkerheden.

Ved at introducere en hybrid løsning, med batterier som support til motorerne for at drive færgen, opnås en række fordele:

1. Motorerne kan køre på deres optimale belastningspunkt med det laveste brændstofforbrug per produceret kWh.
2. Når færgen afgår og ankommer til en havn opstår der meget store og hurtige variationer i motorbelastningen, dette medfører stor belastning på motorerne samt dårlig udnyttelse af brændstof med øgede emissioner til følge. For diesel motorenes vedkommende resulterer det mange gange i sort røg.
3. Batterierne vil tage alle belastningsvariationer med reducerede emissioner til følge.
4. Grundet batteriernes evne til at levere effekt, vil der, uanset hvor mange generatorer der er kørende, altid være fuld effekt til rådighed for fremdrivningen.
5. Da der er oplagret energi ombord på færgen er faren for blackout elimineret ved tilfælde af stop af kørende generatorer.
6. Mulighed for at oplagre energi med strøm fra land. Der vil gennem landtilslutning være mulighed for at oplade batterierne under færgens natophold.

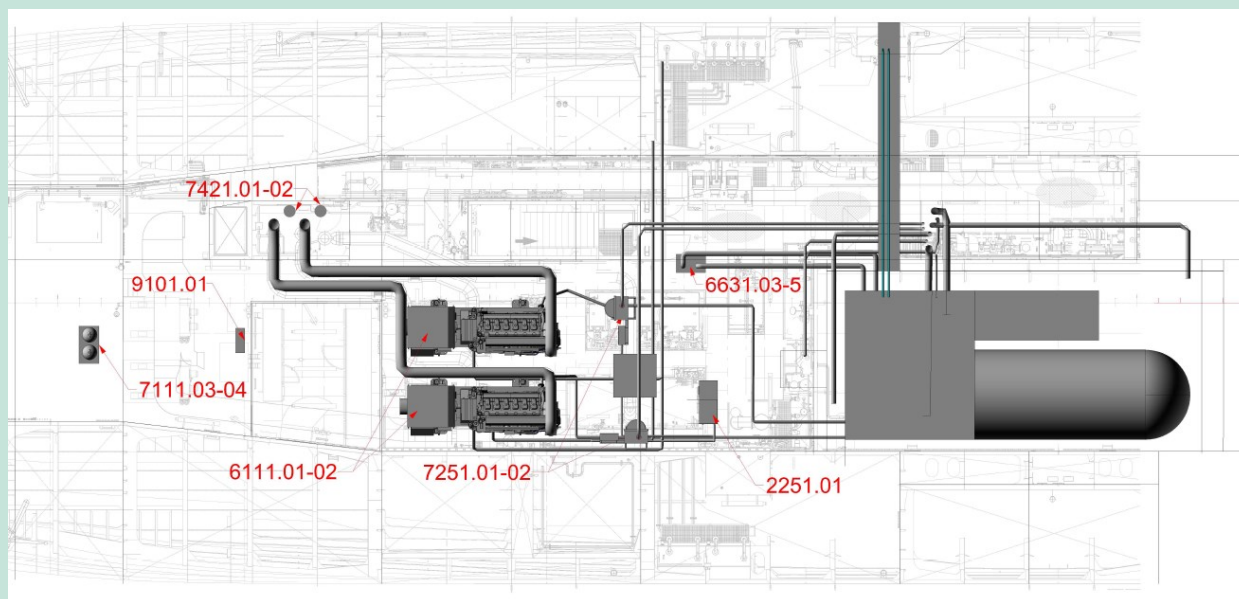
Færgens maskinanlæg er fra begyndelsen designet med stor driftssikkerhed for øje, hvor færgen har to individuelle maskinrum som i princippet betyder, at hver ende kan operere hver for sig og uafhængigt af hinanden. Dette giver også en fordel hvis færgen skal ombygges til LNG drift.

Der kan indrettes et "hvidt" maskinrum i den ene ende som kører på gas og et "sort" maskinrum i den anden ende som kører på MGO.

Begge maskinrum er redundante for hinanden.

I tilfælde af, at den ene gas motor skal overhales, eller der er tekniske problemer, vil den ene af de nuværende diesel motorer tage over og sørge for produktionen af elektricitet.

Navigatoren på broen vil ikke mærke en driftsmæssig forskel.



BILLEDE 5 UDLÆGNINGEN AF DET AGTERSTE MASKINRUM OMBYGGET MED LNG INSTALLATION

4.4 Sikkerhed ombord ved drift på LNG

Da man begyndte at sejle med LNG som brændstof, fandtes der ingen regler eller lovgivning på området, og derfor var der stor opmærksomhed på sikkerheden omkring gasudslip og eksplosionsfare.

Branchen så på hvorledes andre industrier håndterede LNG samt lovgivning og regler for transport af LNG.

Norge er som tidligere nævnt frontfigur på dette område, og havde den første LNG drevne færge i drift i år 2000.

I denne sammenhæng blev der udarbejdet et sæt regler for installation af LNG udrustning i skibene samt drift af samme.

Disse regelsæt er senere blevet udviklet for at højne sikkerheden, således at de er de samme, eller bedre end skibe som drives af konventionelle diesel olie anlæg.

Alt udstyr som skal installeres ombord, eller arbejde som udføres i denne sammenhæng, skal opfylde regler udstedt af IMO, danske myndigheder samt overholde klassifikationselskabernes krav, - følgende regler skal opfyldes.

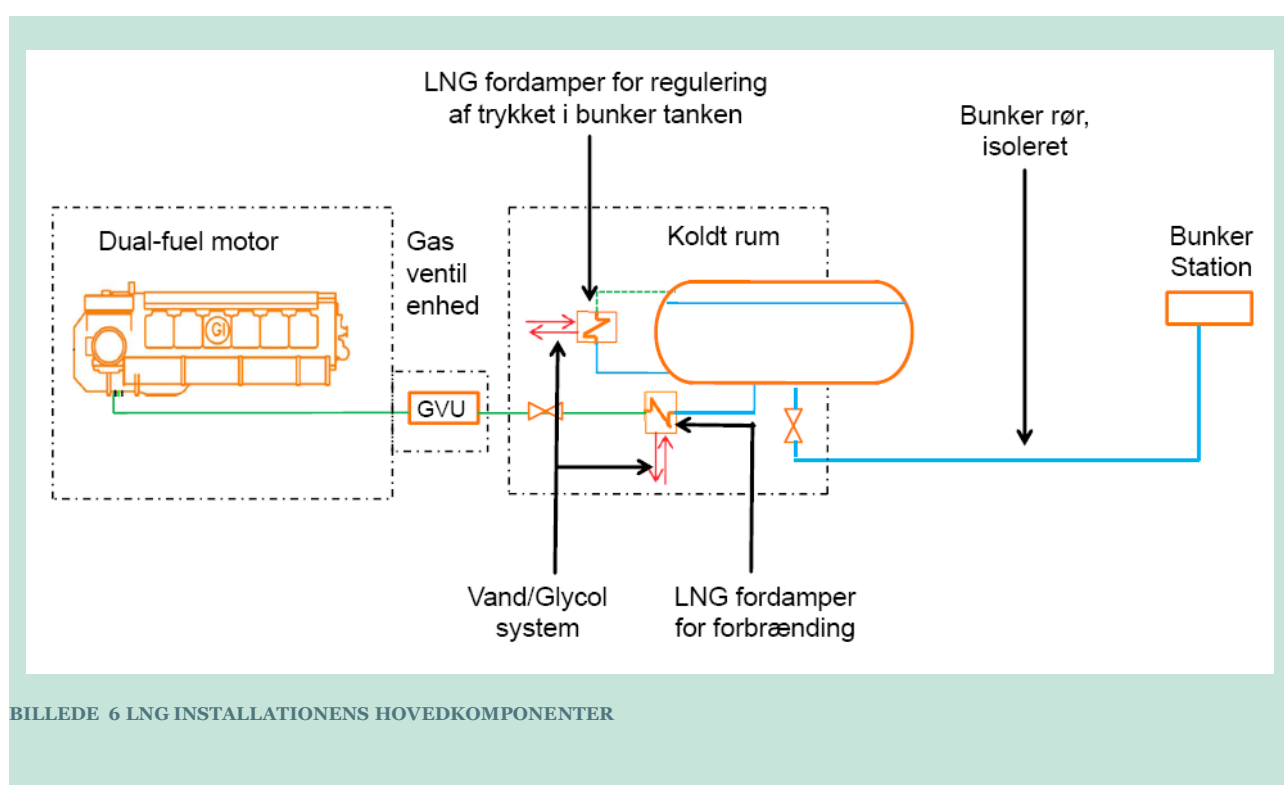
- Flag myndighed: Søfartsstyrelsens meddelelse D.
- IMO: MSC.285(86) INTERIM GUIDELINES ON SAFETY FOR NATURAL GAS-FUELLED ENGINE INSTALLATIONS IN SHIPS
- Klasse: Lloyd's Register of Shipping (LRS).
- Society of International Gas Tanker and Terminal Operators (SIGTTO)

Installationen vil blive udformet i henhold til "Inherently Safe Engine Room" princippet.

Alle systemer, helt fra flangen ved bunker stationen hvor LNG gassen påfyldes, og til forbrændingskammeret i motoren, er udført efter dobbelt kammer princippet. Udenom LNG bunker tanken, alle rør og alle ventiler samt instrumenter, er der en lukket zone, som bliver løbende mekanisk ventileret, med udtag i ventilationsmasten. Luften i denne zone bliver til stadighed undersøgt for indhold af gas, således at en lækage straks spores. Endvidere er der sensorer både i tank- og maskinrum som tester for indhold af gas i den omgivende luft. I tilfælde af udledning af gas til den lukkede zone, lukker LNG systemet automatisk ned og generatorerne skifter umiddelbart over til drift på MGO.

Ventilationsmasten skal installeres højt oppe i skibet, med toppen af masten på sikkert sted – uden for sikkerhedszonen, således at udluftning af gas i tilfælde af uheld eller lækage kan ske uden risiko for antændelse.

Udluftningen af luften inde i dobbelt kammeret vil også foregå fra mastens top.

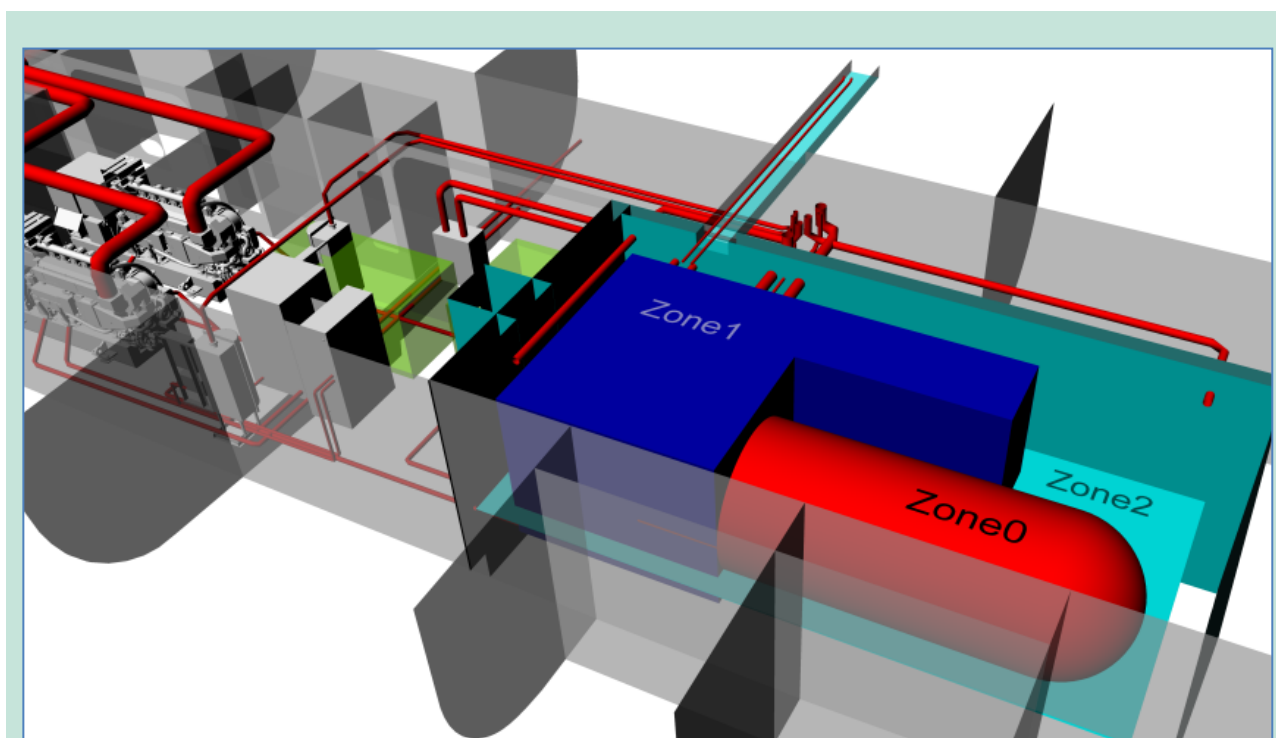


Gassen (naturgas) inde i dobbeltrøret, har et tryk der er lavere end 10 bar typisk 3-5 bar. LNG opbevares typisk ved en temperatur på -162 grader celsius, som er tæt ved gassens kogepunkt ved atmosfæretryk. Derfor er det meget vanskeligt at pumpe LNG grundet risiko for kavitation, og derfor bliver alle flow i systemerne styret ved hjælp af trykforskelle, som styres gennem fordampning af LNG til gas.

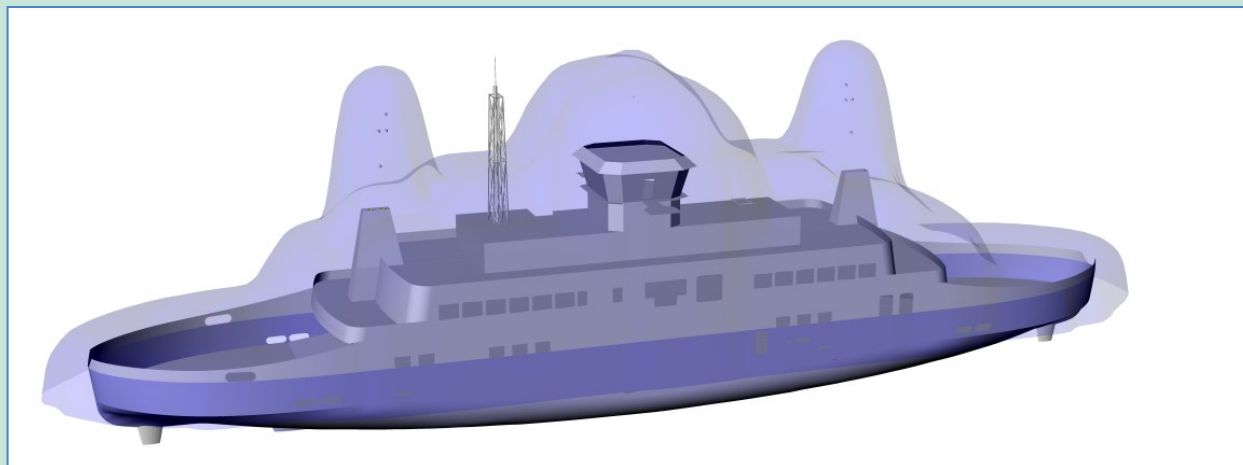
Af ovenstående systemtegning fremgår det, at fordampning af LNG, gennem det lukkede kredsløb i forbindelse med selve bunker tanken, sænker temperaturen i tanken og dermed trykket i tanken. Fordampning i LNG fordampner til forbrænding af gas i motoren, og øger trykket i tanken og systemet.

Skibet bliver inddelt i forskellige sikkerhedszoner og er som følger:

- Zone 0: Bunker tank, rør og udstyr som indeholder gas enten flydende eller fordampet.
- Zone 1: Inde i dobbelt barrieren uden om tank, rør og udstyr som indeholder gas enten flydende eller fordampet
- Zone 2: Inde i LNG Tank rum
- Zone 1: Inde i Bunker stationen under bunkring
- Zone 2: Begrænset område omkring Bunker røret under bunkring
- Zone 1: Med afstanden 3 m omkring ventilationsmast ved afslutning af rør
- Zone 2: Med afstanden $3 + 1,5 = 4,5$ m omkring udluftning i ventilations mast



BILLEDE 7 SIKKERHEDSZONER I SKIBET



BILLEDE 8 SIKKERHEDSZONER UDEFOR SKIBET, OG VENTILATIONSMASTEN ENDER UDEFOR SKIBETS SIKKERHEDSZONER.

Bunkring af færgerne finder sted i færgelejet, som færgen normalt besejler. Som tidligere beskrevet finder bunkringen sted om natten efter oplægning, og en komplet bunkringsoperation forventes at kunne gennemføres på mindre end en time. Bunkeroperationen udføres af to personer – en fra skibets besætning (maskinchef) og tankbilens chauffør. Der følges en på forhånd udarbejdet bunkringsprocedure, som før ibrugtagning godkendes af Søfartsstyrelsen og indgår i skibets sikkerhedsstyringssystem. Skibets besætning som er ombord skal gennemgå en sikkerhedsuddannelse (gaskursus) godkendt af Søfartsstyrelsen. Sikkerhedsforhold og nødvendige godkendelser af tankbil og chauffør vil LNG leverandøren være ansvarlig for.

4.5 Værft og ombygning

Selve ombygningen af færgen til LNG drift skal foregå på et ombygningsværft, som har den fornødne kompetence og kapacitet til opgaven, dette for at sikre at ombygningen sker på teknisk bedst mulige vis og er færdiggjort til den aftalte tid. Ombygningens varighed er planlagt til 1 måned pr. færgе og ombygningen kan foregå på to måder:

Rederiet indgår en ombygningskontrakt direkte med værftet, baseret på en detaljeret ombygningsspecifikation udarbejdet af rederiet selv eller deres rådgivere. Alle større komponenter vil blive indkøbt af rederiet og leveret til værftet for indbygning i skibet. Værftet vil forestå ombygningen iht. ombygningsspecifikationen, og rederiet og deres rådgivere vil løbende føre tilsyn med ombygningen. Før færgen kan afleveres fra værftet i driftsklar stand til rederiet, skal der foretages en række tests af systemer og komponenter, samt færgen skal endeligt godkendes af både klassifikationselskab og de danske myndigheder.

Denne løsning medfører, at rederiet påtager sig en stor del af den tekniske risiko for teknisk funktionalitet af ombygningen, men også en økonomisk risiko ved selv at forestå komponent indkøb og leverance til projektet.

Garantiansvarsfordelingen vil ligeledes i mange tilfælde være uklar, og rederiet risikerer at blive kasterbold mellem leverandører og ombygningsværftet.

Når disse risici er påpeget, skal det også nævnes, at der kan være en økonomisk gevinst for rederiet ved denne løsning, da alle led i værdikæden styres og håndteres af rederiet.

En anden løsning kan være en turn-key løsning, hvor en enkelt hovedleverandør påtager sig ansvaret for den samlede projekterings- og ombygningsopgave. Projektering, ombygning og leverance af komponenter vil ske i en totalentreprise, således at rederiet leverer færgerne til det værft som leverandøren har valgt at anvende, og når ombygningen er gennemført og de nødvendige godkendelser opnået – tilbageleveres færgerne driftsklare og godkendte, til rederiet igen.

Dette vil have en række fordele, da det giver en klar ansvarsfordeling både under ombygningen samt efterfølgende et entydigt garantiansvar overfor rederiet.

Modsat ovenstående kan dette blive økonomisk en lidt dyrere, men en mindre risikobetonet løsning for rederiet.

5. Økonomi

5.1 Omkostningsstruktur ombygning

Til nærværende projektrapport er der valgt en turn-key løsning, som i dette tilfælde vurderes som den mest hensigtsmæssige løsning, da generel erfaring i ombygning af eksisterende skibe til LNG drift er begrænset både i værfts- og rådgiverkredse.

Løsningen er ligeledes umiddelbar tilgængelig for de fleste færgeoperatører, som ikke nødvendigvis har en større teknisk organisation in-house.

Som opgavens hovedleverandør vælges Wärtsila, som har betydelig erfaring med bygning af LNG motorer, projektering af komplette LNG systemer samt implementering af omfattende maritime opgaver.

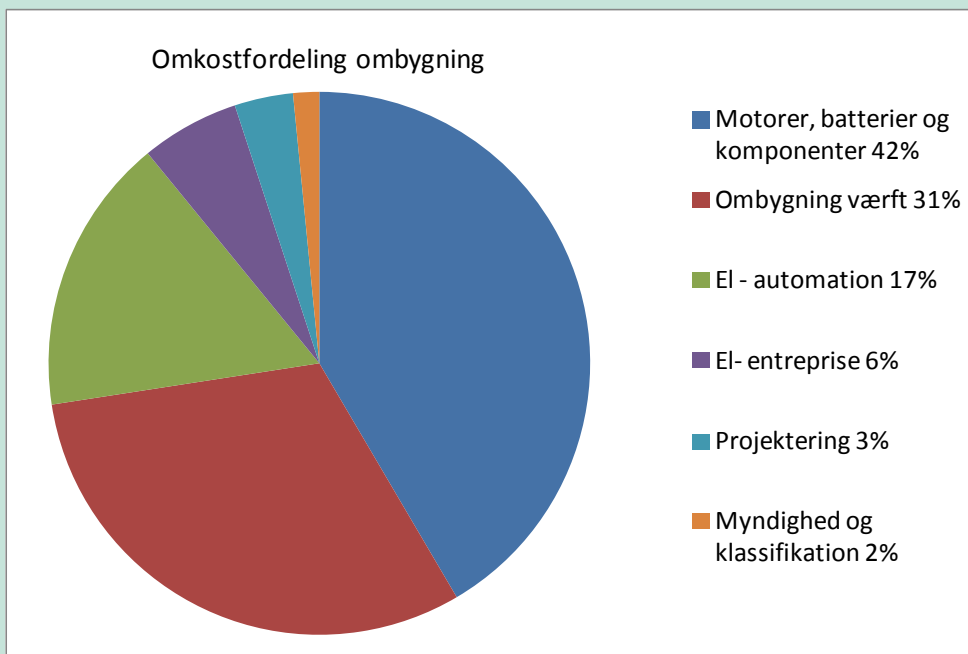
Wärtsila har til opgaven valgt at indhente assistance fra bl.a. Elomatic til projektering, SAM Electronics til el- og automation samt div. dellerandører til komponenter mv.

Til ombygningen har Wärtsila indhentet tilbud fra flere værfter bl.a. FAYARD A/S.

De indkomne tilbud medfører følgende projektøkonomi og investering gældende for to færger:

	DKK
Motorer, batterier og komponenter	39.932.000
Ombygning værft	29.800.000
El – automation	15.898.300
El – enterprise	5.632.200
Projektering	3.352.500
Myndighed og klassifikation	1.490.000
I alt	<u>96.105.000</u>

TABEL 6 OMKOSTNINGSFORDELING



FIGUR 7 GRAFISK PRÆSENTERET OMKOSTNINGSFORDELING

Omkostningerne til drifts- og vedligehold af LNG motorer og tilhørende systemer, vurderes til at ligge på niveau med omkostningerne til vedligehold af det nuværende maskinanlæg i færgerne.

Som tidligere nævnt vil LNG motorerne generelt have betydelig længere driftsperiode mellem serviceeftersynene, smøreolieskift samt udskiftning af komponenter, og dermed reduceres omkostningerne hertil.

I denne sammenhæng skal det nævnes, at den mere komplicerede LNG installation isoleret set er generelt mere bekostelig at vedligeholde, dette opvejes dog af de færre serviceeftersyn over tid. Det skal forventes, at batterierne skal skiftes efter ca. 15 år – de første 10 år giver leverandøren garanti på produktet. Udskiftningen kan dog allerede forekomme tidligere, da den teknologiske udvikling på området går meget stærk.

Årlige omkostninger til indkøb af brændstof reduceres med 12-14 % i forhold til den nuværende omkostning ved indkøb af MGO. Af denne besparelse kommer ca. 4 % fra prisforskellen mellem MGO og LNG, og den resterende del kommer fra den forbedrede systemvirkningsgrad ved brug af hybridløsningen.

5.2 Investeringsanalyse

For at kunne vurdere om investeringen kan betale sig rent økonomisk, udarbejdes en investeringsanalyse på basis af investeringsbeløbet og de ændrede økonomiske forhold omkring driften efter ombygning til LNG drift.

Til investeringsanalysen beregnes nutidsværdien (NPV) baseret på forventet levetid, forrentning af investeret kapital samt restværdi af investeringen.

Følgende forudsætningsparametre er opsat for beregningen.

- Investering kr. 96.105.000.

- Forventet levetid: 25 år.
- Forrentning af investeret kapital: 7,5 % p.a.
- Restværdi af investeringen efter 25 år: 10 % af nyværdi.
- Brændstofpriser (LNG og MGO) som i dag.
- Inflation 1,5 % p.a.

Dette medfører med disse forudsætninger, samt investeringen til ombygningen af færgerne, samt årligt indkøb af brændstof – en nutidsværdi over perioden på i alt for begge færger kr. -68.918.000. For at opnå en nutidsværdi på kr. 0,- af den investerede kapital, kræves et økonomisk tilskud til projektet på 60.000.000 kr., som modsvarer ca. 2/3 af den samlede investering.

Alternativt skal LNG prisen falde med 40 % eller mere – i forhold til MGO prisen, i den første tredjedel af driftsperioden, for at opnå samme forhold.

Referencer

(International Energy Agency: Golden Rules for a Golden Age of Gas, June 2012)

(The Economist, "An Unconventional Bonanza", 14 July 2012)

(Europakommissionen: Forslag til Europa Parlamentet om etablering af infrastruktur for alternative brændstoffer)

(Lasse Karlsen, Technical Director Norwegian Maritime Authority: "LNG Shipping Fuel – The Future")

(International Energy Agency, World Energy Outlook 2012, oktober 2012))

Optimering af LNG/batteridrift for dansk indenrigs skibsfart

Hovedformålet med projektet har været, at undersøge muligheden for at sejle på LNG i kombination med batteridrift på overfart Spodsberg – Tårs, herunder hvilke miljøfordele det kan give, samt hvordan de økonomiske forhold vil være.



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Strandgade 29
1401 København K
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

www.mst.dk