

GSP PILOT AMMONIAKK-DREVET TRÅLER



Green Shipping Programme



HAVFISK



Innholdsfortegnelse

Om Lerøy Havfisk	4
Deltagere i Pilot-prosjektet - Ammoniakk-drevet tåler	5
Lerøy Havfisk sine intensjoner med pilotprosjektet ved oppstart	5
1 Arbeidspakke 1 – Rammebetingelser	7
1.1 Innledning	7
1.2 Oversikt over Lerøy Havfisk sin flåte	9
1.3 Operasjonsområder og operasjonsmønster	11
1.4 Grunnlag for utforming av nye General arrangement og fartøysdimensjoner	13
1.5 Grunnlag for vurdering av energibehov - rekkevidde og varighet	15
1.6 Fartøyspotensiale i reduksjon CO ₂ med 50% ammoniakk-innblanding	18
2 Arbeidspakke 2 – Tankdesign (Wärtsila)	19
2.1 Løsning for lagring og distribusjon av ammoniakk	19
2.1.1 Lagring	19
2.1.2 Distribusjon	20
2.1.3 Ammoniakk-frigjøringsreducerende system (A.R.M.S.)	22
3 Arbeidspakke 3 – Integrasjon ombord	24
3.1 Sikkerhetsmessige betraktninger	24
3.1.1 Lerøy Havfisk – internt sikkerhetsarbeide	24
3.1.2 Erfaringer med ammoniakk	25
3.2 Skipsdesign og Generalarrangementer (Skipsteknisk)	27
4 Arbeidspakke 4 – Fremdrifts-maskineri (Wärtsila)	34
4.1 Motorutvikling og testing, erfaringer og utfordringer	34
5 Arbeidspakke 5 – Kost og tilgjengelighet (Grieg Maritime)	36
5.1 Produksjonsprosjekter i Nord-Norge	36
5.2 Distribusjon og bunkring med MS Green Ammonia	37
6 Arbeidspakke 6 (tillegg) - Andre mulige energisparende tiltak ut over drivstoffbytte	40
6.1 Generelle tiltak	40
6.2 Utskifting av eldre fremdriftsmotorer	40
6.3 Øvrige alternative drivstoff	40

6.4	Redskap- og kvote fleksibilitet i et bærekrafts perspektiv, med hovedfokus på reduksjon av CO2 utslipp fra trålere	40
6.5	Delkonklusjon.....	43
7	Hvilke konklusjoner trekker vi på bakgrunn av pilot-arbeidet?	44
7.1	Motor-teknologi:.....	44
7.2	Operasjonsmønster, kan det endres?	45
7.3	Redskap og kvotefleksibilitet	45
7.4	Investeringenes størrelse /kostnytte	45
7.5	Et bilde for mulig forbruksreduksjon innen 2030;.....	46
7.6	Hva gjør vi fremover?	47

Om Lerøy Havfisk

- Lerøy Havfisk AS er et datterselskap av Lerøy Seafood Group ASA
- Lerøy Havfisk AS er Norges største trålrederi med 10 fartøy og 29,6 torsketrålkonsesjoner.
- Lerøy Havfisk AS er et fiskeriselskap med aktivitet i Norge. Konsernet har ti trålere i drift med tilhørende fiskerettigheter. Videre eier konsernet flere foredlingsanlegg i Nordland og Finnmark. Disse leies ut til søsterselskapet Lerøy Norway Seafoods på lange kontrakter. Lerøy Norway Seafoods driver bearbeiding av fisk på disse anleggene. Konsernets primære forretningsområde er fangst av hvitfisk.
- Selskapet fisker i hovedsak torsk, hyse, sei samt reker. All fisk blir sløyd og hodekappet ombord og selskapet kan tilby fersk og frossen fisk hele året.
- Lerøy Havfisk har 29,6 kvoter for fiske av torsk og hyse, 31,9 kvoter for fiske av sei, samt konsesjoner for rekefiske. Det blir også fisket andre fiskeslag som uer og blåkveite. I tillegg produseres mel, olje og ensilasje av restråstoffet på de nyeste fartøyene.
- Lerøy Havfisk AS har hovedkontor i Ålesund, med rederikontorer i Stamsund og Hammerfest.
- I dag består Lerøy Havfisk AS av rederiselskapene Nordland Havfiske, Finnmark Havfiske og Hammerfest Industrifiske. I tillegg eier selskapet produksjonsanlegg i Båtsfjord, Kjøllefjord, Honningsvåg, Hammerfest, Melbu og Stamsund.

Deltagere i Pilot-prosjetet - Ammoniakk-drevet tåler

Ved oppstart av prosjektet var det relativt bred interesse fra flere partnere:

Lerøy Havfisk (piloteier), Wärtsilä, Vard, Grieg Maritime, Aker Biomarine, Daphne Technology, Ammonia, Skipsteknisk, Yara, Fiskebåt, DNV, Sjøfartsdirektoratet, DSB, Sparebanken Vest

Etter at arbeidspakkene var definert, har følgende partnere utført det meste av arbeidet:

Lerøy Havfisk, Wärtsilä, Skipsteknisk, Vard og Grieg Maritime.

Vard avsto i siste delen av piloten å delta under fullføringen for å unngå utfordringer om det skulle oppstå noen interessekonflikter mellom Vard og Skipsteknisk som følge av deling av tekniske informasjon..



Lerøy Havfisk vil takke alle i prosjektet som har bidratt til å bringe klarhet i konsekvensene av å drive en stor havgående tråler med ammoniakk som drivstoff.

Lerøy Havfisk sine intensjoner med pilotprosjektet ved oppstart

Lerøy Havfisk ønsket å se på mulighetene for å kunne operere en havgående tråler med ammoniakk som drivstoff. Det er motivert av at vårt morselskap Lerøy har en strategisk ambisjon om å redusere drivhusgass-utslipp med 46% innen 2030. I tillegg forventer vi at reguleringer og krav fra andre interessenter blir strengere i årene som kommer. Store havgående trålere har relativt store utslipp, og utfordrende operasjonsforhold med lange seilingsdistanser. Turer med opp til 5 ukers varighet krever en høy lagringskapasitet for drivstoff. Miljøvennlige løsninger for segmentet er ennå ikke utviklet.

Målet med pilotprosjektet

Det endelige målet med pilotprosjektet har vært å utvikle spesifikasjoner for et nybygg som har mulighet til å bruke ammoniakk som drivstoff samtidig som nybygget har sammenlignbar ytelse som de konvensjonelle moderne trålerne i Lerøy Havfisk sin flåte. Denne pilotstudien hadde som mål å undersøke hvorvidt et slikt prosjekt kan være mulig fra et teknisk og

økonomisk synspunkt, bygge forståelse for operasjonelle sikkerhetsaspekter, undersøke muligheten for å kunne opprettholde dagens operasjonsmønster med ammoniakk som drivstoff, og å kartlegge barrierer for implementering.

Hovedaktivitetene i prosjektet har vært utført i en serie med arbeidspakker med følgende delmål:

- Definere relevante designkriterier for et ammoniakk-drevet tråler-nybygg
- Undersøke de forskjellige teknologiene for ammoniakk-lagring ombord
- Se på konsekvensene av å integrere lagrings-systemer, drivstoff-systemer og motorer ombord
- Se på fordeler og ulemper ved ulike konfigurasjoner av kraft-generering til propulsjon og hotell
- Estimere tilleggs-kostnader for å bygge og operere en ammoniakk-drevet tråler
- Undersøke den fremtidige tilgjengeligheten av grønn ammoniakk i områder hvor en slik tråler ville operere.

For å oppnå en effektiv arbeidsflyt ble oppgavene delt inn i forskjellige arbeidspakker organisert som vist under:



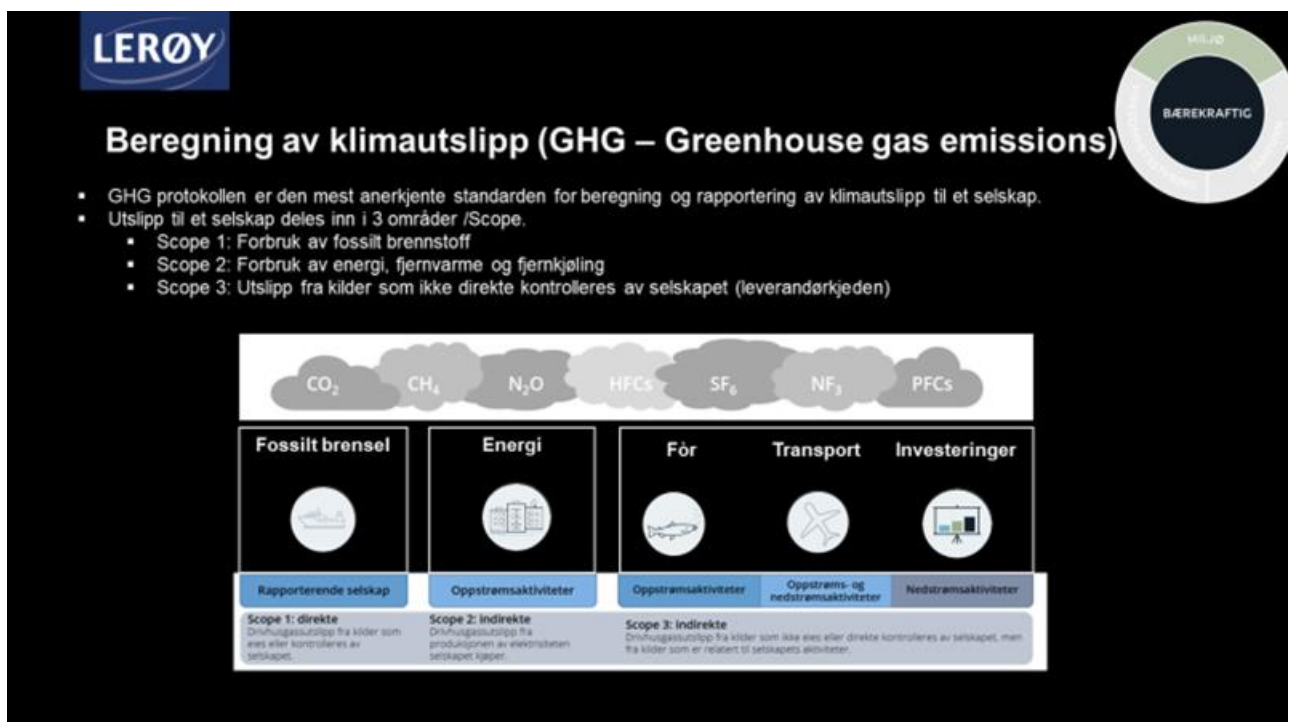
I det etterfølgende vil vi summere resultatet av disse arbeidspakkene, i tillegg til å adressere et ekstra tema hvor vi ser på andre tiltak for å redusere GHG-utslipp fra en havgående tråler.

1 Arbeidspakke 1 – Rammebetingelser

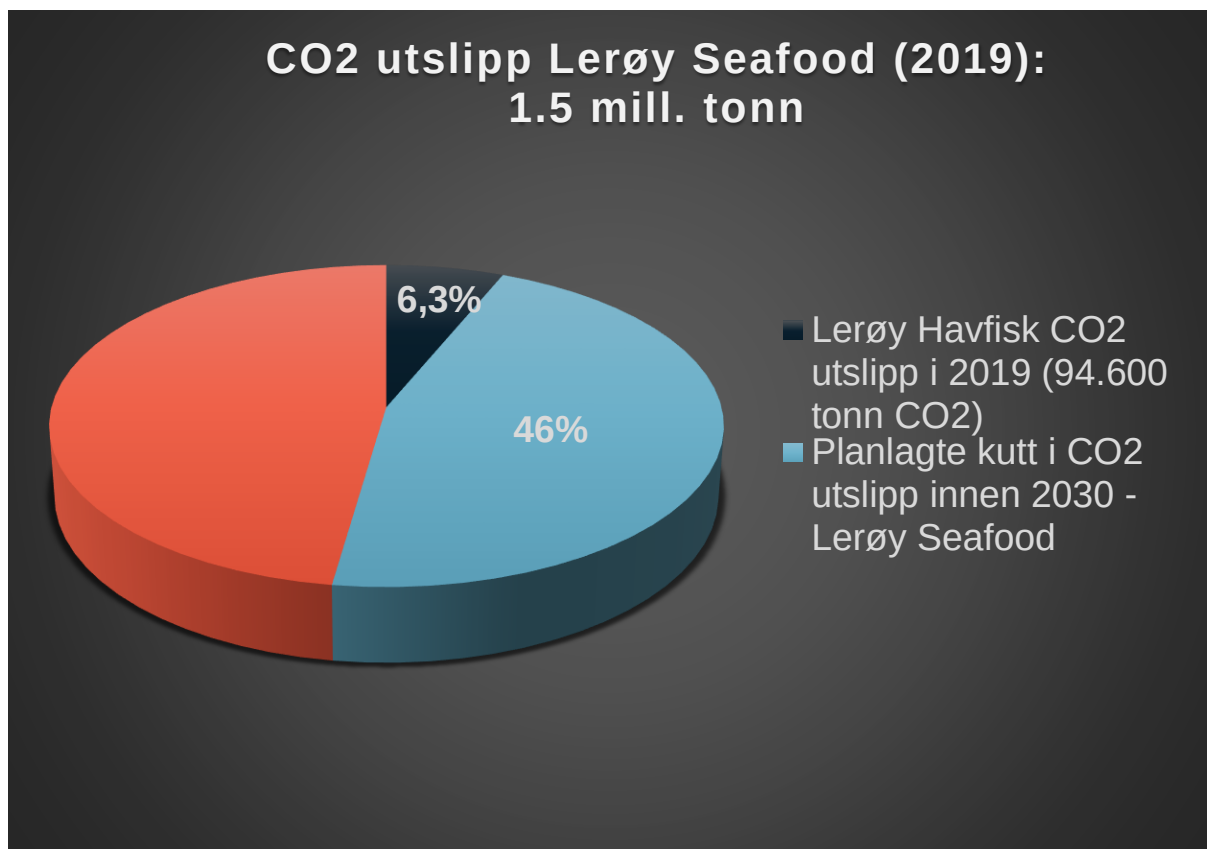
1.1 Innledning

LERØY har gjort kjent egenpålagte mål om å redusere sine CO₂ emisjoner betraktelig innen 2030. LERØY HAVFISK sin største kilde til CO₂ produksjon ligger naturlig nok i den årlig forbrante mengden av fossilt drivstoff i form av marine gassolje.

Når LERØY har satt mål om å redusere sin CO₂ emisjon med -46% innen 2030 så ligger det selvfølgelig andre store produsenter av CO₂ i konsernet utenom LERØY HAVFISK. Store bidragsytere er produksjonen av fiskefor, og det totale transportbehovet av råstoff og foredlet vare - både nasjonalt og ut på kontinentet



Figur 1 Klimagass-utslipp for Lerøy Seafoods



Figur 2 Lerøy Seafood har ambisjoner om å redusere sine GHG utslipp med 46% innen 2030. Lerøy Havfisk står for rundt 6% av disse utslippene og skal ta sin del

Det er satt måltall på hvor mye man ser for seg at LERØY HAVFISK skal greie å redusere sine CO2 emisjoner innen 2030, men dette må evalueres og også settes i sammenheng med hvilken volumutvikling man får på bruken av alternative drivstoff. Det må også vurderes i forhold hvilke andre virkemidler man kan tillates å ta i bruk, som kan gi redusert MGO forbruk, for eksempel regulatoriske endringer innen fangstredskap og kvoteadministrasjon. I den senere tid er det også en tematikk at man kan bli pålagt å blande inn biodiesel i vanlig MGO.

For å sette det forbruket av nevnte MGO i perspektiv, så hadde flåtens 9 fartøyer i 2019 et totalt forbruk på 35.600.000 liter marin gassolje. I fortsettelsen er det naturlig å sette søkelys på forbrukstallene for de største fartøyene, da det er i dette størrelses-segmentet man også tenker å bygge fartøy ved fremtidige fornyelser.

Gjennomsnittlig brukte enkeltvis hver av de 4 største fartøyene 5.100.000 liter drivstoff i 2019.

En forutsetning som er gjort i studien, er at hoveddimensjonene på et nytt fartøy ikke skal bli grensesprengende i forhold til det man har i dag. Dette er selvfølgelig i forhold alternativet om at man ikke endrer dagens operasjonsmønster, aksjonsrekkevidder og landingsmengder av fangst nevneverdig i forhold til det man gjør i dag. I en stor sammenheng kan det ikke underslås at endring av operasjonsmønster også kan/må bli gjenstand for diskusjoner.

I rapportens videre innhold vil vi gå nærmere inn på valgte dimensjonerende faktorer for både fartøyet fysisk, og for størrelsen på lagertanker for ammoniakk.

Det er i denne rapporten ikke brukt noe tid på store avklaringer angående risiko og sikkerhetsaspekter angående transport og levering /bunkring under landligge av Ammoniakk. Dette er dekket behørig i andre ammoniakk piloter. Det er heller ikke gjort noen utredninger vedrørende prosedyrer og muligheter for bunkring i sjø, da en må anta at dette må utarbeides i god tid før et slikt alternativ kan bli aktuelt.

Som man videre vil se har vi vurdert 2 forskjellige konsepttilnærminger av energiomsetning og propulsjonsløsninger;

Dual fuel fremdriftsmotor koblet til PTO/PTI gear og akselsystem ut på 1 propeller, inkludert hybrid løsning med grid og batterier.

Dual fuel motorer som drivmotorer for generatorer, omsatt over grid med batterier, fremdrifts propulsjon med 2 propellere

Begge er velkjente løsninger på eksisterende fartøyer i dagen flåte.

1.2 Oversikt over Lerøy Havfisk sin flåte



- Norges største fiskebåtrederi
- Ca. 400 ansatte
- 10 trålere i drift
- 10 % av den norske torskekvoten
- Fangstvolum 2022: 71.700 tonn
- Fem nybygg fra 2013 til 2020, øvrig flåte bygget i perioden 1995 – 2001
- Omsatte for 2 MRD i 2020

Figur 3 Lerøy Havfisk i tall



Fartøyer bygget i perioden 2013 - 2020

NORDTIND



KONGSFJORD



GADUS POSEIDON



GADUS NJORD



GADUS NEPTUN



Figur 4 Nyere båter i Lerøy Havfisk sin flåte



Den eldre garde bygget i perioden 1995 - 2001

HAVTIND



VESTTIND



BÅTSFJORD



RYPEFJORD



DOGGI



Figur 5 Den eldre garde

1.3 Operasjonsområder og operasjonsmønster

Som det kommer frem av kartet i Figur 6 så vises det godt at det aller meste av aktiviteten foregår i nordlige havområder. Som man ser av forpliktelser Lerøy Havfisk har for levering av fisk til landanleggene, så er havner fra i sørvest fra Melbu i Vesterålen opp til nordøstlige Hammerfest i Finnmark.

I den grad vi har noen aktiviteter lenger sør er det ofte Ålesund som blir brukt som landingshavn.



Figur 6 Typisk operasjonsområde for Lerøy Havfisk sin flåte

Gjennom et fiskeri-år kan man med noe historie fra de foregående år omtrentlig se at hvert enkelt fartøy gjennomfører ca 18 enkeltturer. Dette kan selvfølgelig variere noe, men kan brukes i fortsettelsen som grunnlag for hvordan vi er avhengig av en fremtidig logistikk og leveringsdyktighet av ammoniakk.

Turer		Døgn varighet	Døgn totalt	Forbruk døgn	Forbruk tur	Forbruk totalt
ant	døgn					
6	25-35	29	174	18.000	522.000	3.132.000
6	14-24	19	108	15.000	285.000	1.620.000
6	01-13	6	36	15.000	90.000	540.000
18			318			5.274.000

Tabell 1 Typisk inndeling av turer og forbruk for ett fartøy over et år

Tabell 1 er en eksempel-fremstilling av hvordan en av rederiets fem største båter kan operere i løpet av et år. Turer kan vare alt fra seks døgn, som er typiske turer for levering av fersk kjølt fisk til videreprosessering ved landanlegg, og opp til fem uker, som er rekefiske med levering av fryselaast for eksempel i Tromsø. Når man har nevnt Tromsø, så er det også viktig å si denne havnen i nord vil være viktig i forhold til logistikk og levering av ammoniakk, spesielt om ammoniakk blir et foretrukket brennstoff for fiskeflåten. Tromsø er en av Norges desidert største fiskerihavner.

Når man senere i rapporten ser på rekkevidder og lagringskapasitet for ammoniakk for dual fuel drift vil man se at det er først når turene overstiger ca 14 dager i lengde at kapasiteten på lagring blir en utfordring.



Lerøy Havfisk har regulatoriske plikter

Eierskapsregler for fiskeflåten/fiskerettigheter ("Deltakerloven):

- En må være aktiv fisker for å eie fiskerettigheter, dvs ha sin hovedinntekt fra fisket – Fiskemantallet blad B

Lerøy Havfisk har unntak hovedregelen basert på eierskap gjennom landindustri

- Konsesjoner og kvoter vil ikke tillates skilt fra de respektive fabrikkkanlegg
- Fiskeriaktiviteten skal skje innenfor gitte forpliktelser:
 - Tilbudspått – omfatter 80 % av torsken og 60 % av hyse
 - Produksjonspått – 75 % av torsken
 - Aktivitetspått på spesifikke steder





Lerøy Havfisk er eier av pliktanleggene i fem kommuner
- Driften blir ivaretatt av Lerøy Norway Seafoods



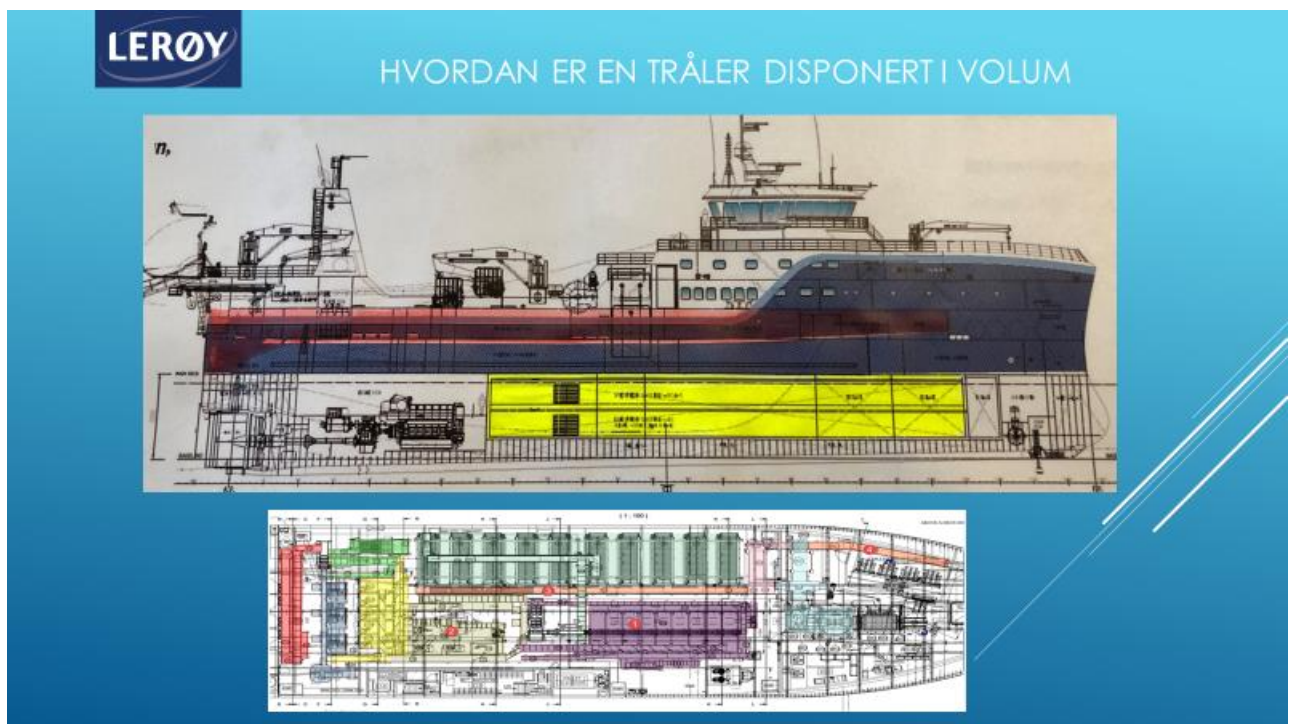
I tillegg har konsernet aktivitetsplikt i Honningsvåg – blir ivaretatt av Storbukt Fiskeindustri AS

Figur 7 Lerøy Havfisk har regulatoriske plikter og pliktannlegg som må hensyntas i forbindelse med optimalisering av operasjoner

Figur 7 som viser regulatoriske plikter og pliktannlegg er forklarende for hvorfor gjentagende korte turer vil forkomme i perioder av året, da frekvensen for å levere fersk fisk med god kvalitet vil kreve korte sykluser. Med tanke på effektiv bruk av et dual fuel system, vil det vært formålstjenlig at ammoniakk også har god tilgjengelighet i nærhet til disse havnene.

1.4 Grunnlag for utforming av nye General arrangement og fartøysdimensjoner

En konvensjonell tråler er i utgangspunktet veldig godt utnyttet under dekk. Ved bruk av MDO blir tankarrangement utformet i henhold til MARPOL. Dette innebærer at for et fiskefartøy vil en i all hovedsak kunne lagre drivstoff i dobbeltbunnen under lasterom, i hekken under hoveddekk, og eventuelt i områder i fremre del av lasterom som på grunn av skroglinjer er lite egnet for lagring av paller. Dette gjør at en for et fartøy med MDO har ingen eller få voider, og at områder med kurvatur kan utnyttes godt.



Figur 8 Typisk arrangement for en stor havgående tråler

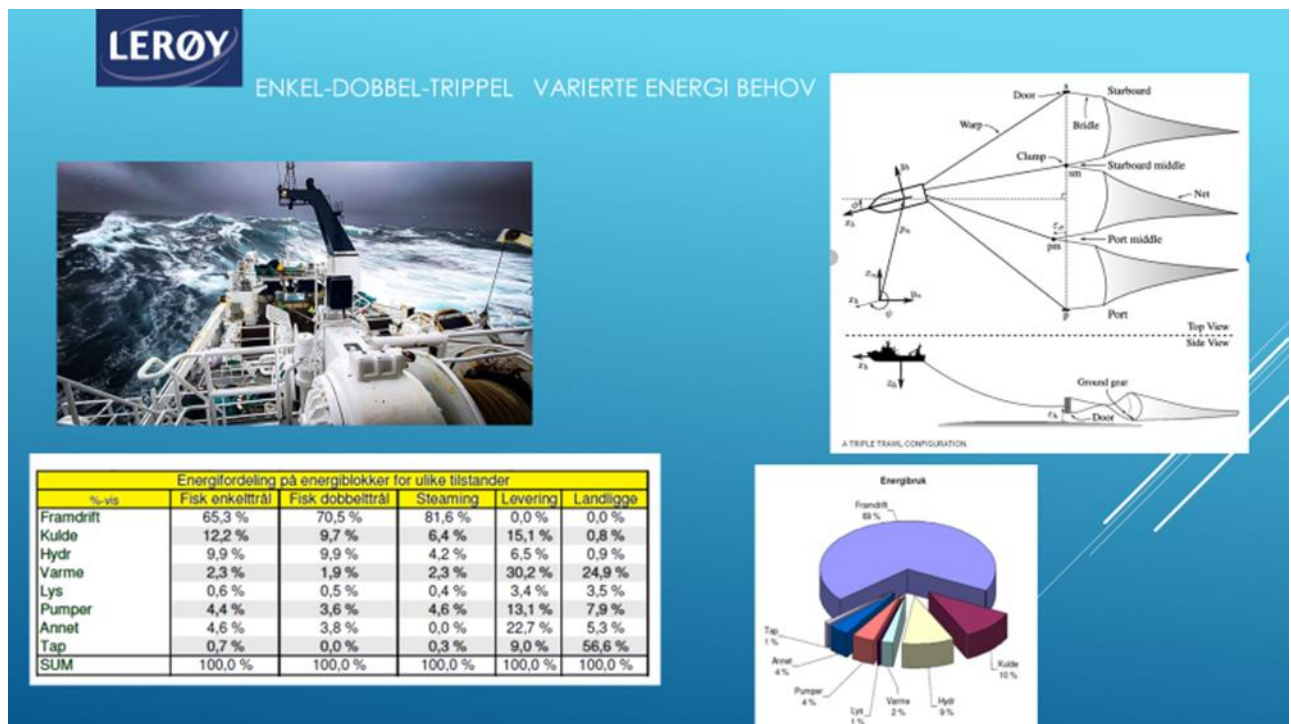
En stor havgående tråler kan i dag defineres med dimensjoner med skipslengder på rundt 80 meter og bredde ca 17 meter. Dypgående kan også være betydelig for et slikt fartøy, det er ikke uvanlig med et dypgående rundt 8 meter.

Fartøyet skal taue og håndtere tungt og langt trålbruk, og har derav også et langt tråldekk/arbeidsdekk, som strekker seg gjennomgående i hele fartøyet lengde. Under tråldekk ligger fiskemottak, fabrikk-dekk og pakkeri-område. Lenger ned kommer maskinrom, og foran dette lasterom.

Fartøyet MGO tanker ligger i skutebunn, en utfordring man raskt ser er hvor en skal legge tanker for ammoniakk, og hvor store tanker kan man greie å få plass til uten å gå på akkord med en stor økning av hoveddimensjoner.

Med dette som utgangspunkt har man likevel akseptert at noe endring størrelse er nødvendig. Innledningsvis hadde vi ideer om at en ammoniakk-tank kunne være lokalisert stående (vertikalt) i fartøyet forskip, som anvendt blant annet på taubåter med LNG system. Siden dette ville gjøre store endringer i et vanlig Generalarrangement for en tråler som beskrevet over, fant vi at en liggende tankløsning ville bli adskillig enklere å få til med hensyn på det øvrige GA.

1.5 Grunnlag for vurdering av energibehov - rekkevidde og varighet



Figur 9 Fordeling av energibruk ombord ved forskjellige operasjonsmodi

Som det kommer frem av ovenstående oversikt er det selve tråloperasjonen som er mest energikrevende, og den oppgaven gjennom året som tar lengst tid. Fisket med dobbeltrål og trippeltrål varierer i energiforbruk fra ca 70% til 80% av den totale energiomsetningen om bord. Den effektive tiden man trekker trålen gjennom året er ca 70% av den totale operasjonstiden. Det er dobbeltrål som er benyttet det aller meste av tiden, mens trippeltrål brukes i fiske etter reke.

Det er sistnevnte turer som er mest energikrevende med energilaster til tauing på rundt 80%. De er også de tidsmessig lengste turene med varighet på opptil 5 uker, og de turene med de lengste og fjerneste seilingsdistansene.

Om vi ser på *Tabell 1* på nytt kan vi relatere den til bunkersbehovene;

Total bunkerskapasitet for MGO er på de største fartøylene ca 800m³, dette er tilstrekkelig til å operere også på de lengste turene med varighet på 5-6 uker.

Et ganske vanlig oppsett for fremdriftsmaskineri og drivlinje, er en hovedmotor på ca 5000 kW og gearsystem med PTI/PTO løsning. Akselgenerator ut fra gearret (PTO) er typisk på 2500 kW med et max PTI inntak på rundt 1500 kW. I tillegg er det også en hjelpemotor på rundt 1800 kW og en havnegenerator ca 500 kW.

En normal kraftomsetning ut på propell under tråling med dobbeltrål er 3-3,5 MW, med trippeltrål 3,5-4 MW. Dette forholdet er ikke ensartet, men vil variere med vær, vind og strøm. Medværs eller motværs tauing kan fort resultere i 1 MW lavere eller høyere effekt-uttak.

Tavleløsningen er gjerne et grid-system hvor også en batteripakke kan være inkludert. Trålwincher, som i dag for det meste er elektriske, er tilknyttet systemet. Retureffekter som oppstår ved reversert rotasjon på winchene under avskyting av trål kan godt komme opp i 800 kW inn på griden.

Fartøy	Forbruk (liter)	CO ₂ ekvivalenter (kg)
Båtsfjord	2 756 557	7 332 442
Gadus Neptun	5 225 875	13 900 828
Gadus Poseidon	5 125 985	13 635 120
Doggi	1 538 648	4 092 804
Rypefjord	2 438 796	6 487 197
Gadus Njord	4 842 988	12 882 348
Vesttind	4 127 762	10 979 847
Havtind	3 828 373	10 183 472
Nordtind	5 131 545	13 649 910
Nybygg / leiefartøy	542 623	1 443 378
	35 559 152	94 587 345

Tabell 2 - Flåten og året 2019, MGO-forbruk og korresponderende CO₂ utslipp
(1 liter MGO tilsvarer 2,66 kg CO₂)

Etter å ha analysert et nytt mulig GA konsept, er det funnet plass til ammoniakk-tanker på ca. 350 m³. Når man tar hensyn til effektiv fyllingsgrad og minste nedre gjenværende volum før bunkring så vil effektivt ammoniakk-volum tilgjengelig til forbrenning være ca 300m³.

Enkelt kan man si at energimengden frigjort under forbrenning av ammoniakk er 1/3 i forhold til MDO. Det vil i prinsippet bety at brenner man 100 m³ MDO så må man brenne 300m³ ammoniakk for å få ut like energimengder.

For å komme videre med en forenklet beregningsmodell for forbruk og rekkevidde må en velge noen forutsetninger. Det første er hva som er kan være et realistisk oppnåelig blandingsforhold mellom MDO og Ammoniakk under Dual fuel motorens drift. Diskusjoner

omkring dette har vi nevnt spesifikt nevnt både under punkt for Motorteknologi og testing, og under punkt for Konklusjon.

Kortversjonen her, er at vi har antatt en 50-50 blanding av ammoniakk og MGO

Et simplistisk døgnforhold for forbruk basert på et opprinnelig forbruk på 15m³ MGO, blir da slik;

7m³ MGO + 21m³ Ammoniakk = 15m³ MGO

Tilgjengelighet av MGO ombord er uproblematisk, men tilgjengelig mengde ammoniakk vil begrense driftstiden med forbruk 50-50 mix til ca 14 døgn:

300 m³ tilgjengelig ammoniakk / 21 m³ ammoniakk-forbruk per døgn = ca 14 døgn operasjon på ammoniakk.

Som man ser av *Tabell 1* så er flere av turene på under 14 dager, slik at man fortsatt vil ha ammoniakk på tankene etter turslutt, og kan bunkre og fortsette videre uten avbrudd i forbruket. På lengre turer utover 14 dager vil man måtte gå over på 100% MGO, med mindre man får en mulighet bunkring for eksempel i sjøen.

Driftstiden med kjøring på Ammoniakk er selvfølgelig avhengig av blandingsforholdet, høyere/lavere innblanding gir kortere/lengre driftstid. Per i dag ikke ser vi ikke hvordan man skal ha mulighet for en variabel mix under drift, men må kjøre på en fast mix. (vi bruker da fast mix 50%). Hvorfor denne nevnte forutsetningen er også kommentert under Motorteknologi og Konklusjon.

1.6 Fartøyspotensiale i reduksjon CO₂ med 50% ammoniakk-innblanding

Når vi nå har satt forutsetningene for forbruket av ammoniakk, så kan vi se dette i forhold til driftsmønsteret vi har i dag. Sett at man greier å kjøre som beskrevet over, med mange turer med full bruk av 50% ammoniakk og delvis bruk av 50% mix på lengre turer enn 14 dager, vil en sannsynlig nedgang av årlig MGO forbruk på et stort fartøy ligge på ca 25% reduksjon.

GADUS NEPTUN var fartøyet med høyest MGO forbruk i 2019, en reduksjon på 25% fuel, vil her eksempelvis være;

$5.225.875 \text{ ltr} \times 25\% = 1.306.468 \text{ ltr}$, som igjen tilsvarer 3.475.206 kg CO₂, altså 3.475 tonn CO₂.

Årlig CO₂ emisjon for flåten i 2019, som vist var 94.587 tonn.

3.475 tonn reduksjon på 1 fartøy tilsvarer da ca 3,65% reduksjon av flåtens totale utslipp.

Man kan vel antyde at dette i første omgang ikke virker som særlig høy oppnåelse, spesielt sett i forhold til hvor mye både næringen og hele offentligheten ønsker å oppnå høye reduksjoner, i første rekke innen 2030, med ytterligere reduksjoner fremover i tid.

Viser til videre og teknisk relatert diskusjon om dette under senere faner Motorteknologi og under Et bilde for mulig utslippsreduksjon innen 2030.

2 Arbeidspakke 2 – Tankdesign (Wärtsilä)

2.1 Løsning for lagring og distribusjon av ammoniakk

Wärtsilä er bedt om å gi en generell beskrivelse av en løsning for lagring og prosess av ammoniakk for installasjon om bord på en ny tråler. Ammoniakk skal brukes som "Blend" (blandingsdrivstoff) om bord for skipets fremdrift med anvendelse av dual fuel motorer.

Wärtsilä Fuel Gas Supply Systems (FGSS) er en produktlinje i Wärtsilä Marine Power-organisasjonen, spesialisert på prosjektering og levering av lagrings- og prosessløsninger for gassformig drivstoff. I løpet av 12 års erfaring har Wärtsilä FGSS levert mer enn 100 LNG-systemer og mottatt kontrakter for mer enn 160 systemer totalt. FGSS-organisasjonen anses da for å være det beste teamet til å konstruere det forespurte systemet. FGSS er spesialisert ikke bare i prosessteknikk, men også i tank- og skinnedesign, med en omfattende forståelse av implikasjonene av disse om bord og de forskjellige kravene til gassforbrukerne.

Siden 2015 har Wärtsilä startet sin forskning på andre drivstoff enn LNG, med særlig fokus på metanol, LPG og i senere tid på ammoniakk og hydrogen.

Ammoniakk er et nytt drivstoff, og intet system er konstruert og levert, så vidt forfatteren kjenner til, for kommersiell anvendelse i maritim industri med det formål å bruke ammoniakk som drivstoff i stedet for som transportert vare.

I 2020 engasjerte Wärtsilä seg i flere utviklingsprosjekter rundt alternative drivstoff med nøkkelpartnere over hele verden og med de viktigste klassifiseringsselskapene for å forstå utfordringene med ammoniakk, sammenlignet med mer tradisjonelle drivstoff og LNG. De identifiserte hovedutfordringene kan oppsummeres slik:

- Kjemiske egenskaper: ammoniakk er giftig og etsende.
- Lavt flammepunkt: På samme måte som de andre drivstoffene som dekkes av IGF-koden, kan lekkasjer føre til en mettet gasseksplisiv atmosfære i lukkede rom
- Lagringstemperatur: ammoniakk er normalt en gass i omgivelsestilstand, men kan lagres som væske hvis den avkjøles ved -33 grader C eller trykkes under trykk høyere enn omgivelsene og ved forskjellige temperaturer. Den relativt høye koketemperaturen gjør ammoniakk lettere å håndtere sammenlignet med kryogene brenslere som LNG, men representerer en utfordring da ammoniakk kan være enten flytende eller gassformig, avhengig av omgivelsesforholdene. Risikoen for kondens er høy og må begrenses.

Prosess vurdert for prosjektet - et ammoniakktank skal lagre og behandle ammoniakk om bord.

2.1.1 Lagring

Den mest effektive måten å lagre ammoniakk på, energimessig, er å holde ammoniakk i flytende tilstand og ved kokende temperatur, som er -33 grader C.

Når det lagres i flytende format, vil ammoniakk forsøke å gå tilbake til sin normale tilstand under omgivelsesforhold (dvs. gass). Omgivelsen vil varme opp ammoniakk, og som en konsekvens vil temperaturen og trykket øke inne i tanken.

Et effektivt ammoniakklagringssystem skal være konstruert for å motstå trykk og skal begrense varmeinntrengningen (dvs. skal isoleres). Systemet skal utformes slik at det forhindrer lekkasje og utskipp, tatt i betraktning giftigheten til det aktuelle drivstoffet.

En type C-tank er valgt som det beste lagringsalternativet, med tanke på aspekter over aspekter og vurderer flere fordeler med denne lagringsteknologien, blant annet kan vi liste opp:

- Type C-tanker er designet for aldri å svikte og er motstandsdyktige mot sprekkutbredelser. Ingen sekundære barrierer er nødvendig.
- Type C-tanker tåler trykk flere ganger høyere enn omgivelsene.
- Type C-tanker kan isoleres for å minimere varmeinntrengningen til tanken og forlenge "holdetiden" til drivstoffet, der holdetiden er definert som den maksimale tiden drivstoffet kan holdes inne i tanken, før MARVS-trykket (Maximum Allowable Relief Valve Setting) er nådd;
- Sylindriske trykktanker er en velkjent løsning, som i stor grad brukes til vei- og togtransport av ammoniakk og andre produkter. Type C-tanker brukes i stor grad også til LNG-applikasjoner, og de er den eneste løsningen som er teknologisk klar for ammoniakk. Løsninger som prismatiske tanker, type A eller B, eller membrantanker er ikke klare for markedet med dette drivstoffet.

Blant ulempene med type C-tanker kan vi liste opp plasseffektiviteten: de sylindriske tankene kan ikke utnytte den tilgjengelige plassen best mulig og krever inspeksjonsplass rundt.

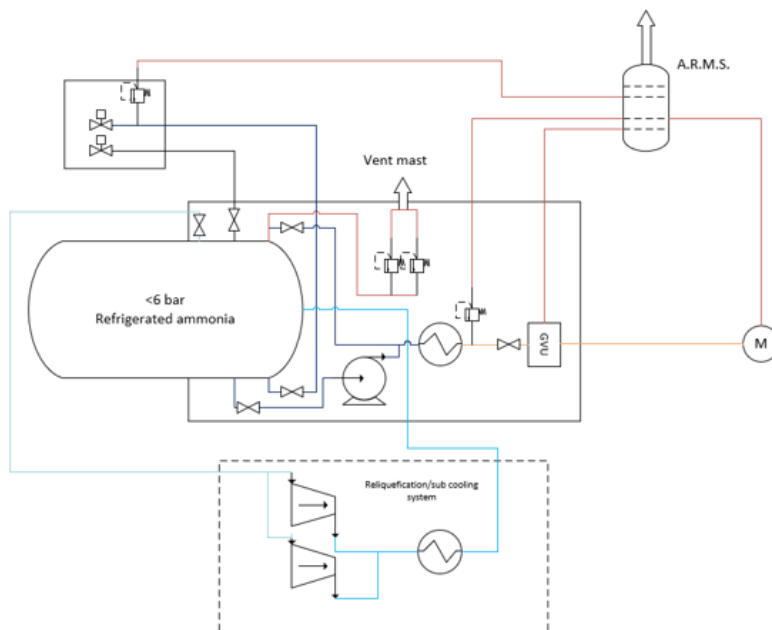
For å takle korrosiviteten til ammoniakk, er tankene konstruert i rustfritt stål eller egnet karbonstål. Rustfritt stålmaterialer vil forhindre korrosjon og spenningskorrosjonssprekking (SCC) fra å skje, uavhengig av kvaliteten på drivstoffet, konsentrasjonen av luft og vann i systemet. Karbonstål kan brukes hvis ammoniakkegenskapene respekterer bestemte kriterier.

2.1.2 Distribusjon

Ammoniakk skal pumpes ut av lagertankene og sendes til gassforbrukerne der det kan forbrennes enten som væske eller gass. En dieselsyklus skal brukes til å forbrenne ammoniakk i flytende format. I så fall skal ammoniakk tilføres motoren ved høyt trykk (> 500 bar). En høytrykksprosess anses som mer risikabel, fra et sikkerhetssynspunkt, sammenlignet med en "lavtrykksprosess", siden enhver gassdispersjon, hvis den oppstår ved høyt trykk, vil være vanskeligere å inneholde. En lavtrykksprosess vil mate en motor som arbeider på en Otto-syklus.

Med tanke på sikkerheten først, er prosessen som vurderes basert på et "lavtrykks"-system der ammoniakken mottas av gassforbrukerne i gassfase og forbrennes i en ottosyklus.

Fuel Process Diagram



Figur 10 Mulig arrangement for et ammoniakk drivstoff-anlegg

Eventuell lekkasje av ammoniakk, enten i væske- eller gassfase, skal oppbevares på en sikker måte. Alt prosessutstyr skal oppbevares i gastette og lukkede rom. Spesielt vil tankrelatert utstyr bli installert i et gastett kabinett kalt Tank Connection Space (TCS), som festes direkte på tanken. Alle bunkers- og gasstilførselsrør vil bli utført med dobbeltvegger.

Prosesen er designet for å håndtere to strømmer ut fra lagertankene:

- En strøm av flytende ammoniakk, tvunget ut av tankene og brukt til hovedkraftproduksjon;
- En strøm av gassformig ammoniakk generert inne i tanken (Boil Off Gas - BOG) på grunn av varmeinntrengningen, som skal forbrukes for å unngå trykkøkning inne i tanken.

Den første strømmen styres av en pumpe etterfulgt i serie av fordampning og oppvarming av ammoniakk for å nå temperaturen og trykket som kreves av gassforbrukerne (omtrent 9-11 barg og 60-70 grader C).

Den andre flyten styres på tre måter:

- Reliquefaction / sub-kjøling av gassen / væsken;
- Oppvarming av gass og forbruk i gassforbrukerne;
- Trykkakkumulering inne i tanken.

Ammoniakk er et nytt drivstoff, og til tross for at det er flere retningslinjer fra de viktigste klassifiseringsselskapene, varierer kravene og indikasjonene fra klasse til klasse. Et aspekt som flere klassifikasjonsselskaper er uenige om, er behovet for å lagre ammoniakk i ubegrenset tid

inne i tanken. Holdetiden er definert som tiden det tar for et drivstoff i en tank å nå MARVS-trykket ved gitte startforhold. Noen klasser krever fortsatt et ammoniakksystem for å kunne ha en "ubegrenset" holdetid. Med dette kravet i tankene skal BOG-styringssystemet sikre at trykket inne i tanken ikke øker over en fastsatt grense under normal drift. Dette kravet kan oppnås enten ved å designe tankene for det høyeste trykket ammoniakk kan ha under normale omgivelsesforhold (rundt 18,-20 bar ved 45 grader C) eller ved å legge til et flytende / underkjølesystem.

For Tråler-prosjektet forutsetter det foreslåtte systemeten sløyfe for kondensering /underkjøling for å holde trykket inne i tankene så nært omgivelsestrykket som mulig under normale operasjoner. Den økte kompleksiteten i systemet, på grunn av innføringen av denne sløyfen, skal kompenseres ved en reduksjon av kostnadene og vekten av tankene, på bekostning av en litt høyere driftskostnad for systemet.

Sløyfen for kondensering/underkjøling krever ekstra utstyr, som skal installeres i et dedikert gasstett rom om bord, definert som en farlig sone 1, plassert så nær tanktilkoblingsrommene som mulig for å begrense lengden på ammoniakkrørene om bord på skipet. Sløyfen vil enten være koblet til tankens Boil Off Gas-ledninger, komprimere BOG og kondensere den via en kjøler tilbake til tankene (reliquefaction) eller alternativt vil være koblet til de nederste væskelinjene i tankene og vil avkjøle flytende ammoniakk og resirkulere den tilbake til tankene (underkjøling). Den beste tilnærmingen, blant disse to preferansene, er fortsatt å bli definert for prosjektet, men planen er å levere en underkjølekrets, om mulig, for å begrense ammoniakklinjene om bord. Med en underkjølekrets kan ammoniakkvæskeledningene sannsynligvis være helt inne i tanktilkoblingsrommet, slik at bare en separat kjølemiddelkrets er utenfor den, i et dedikert rom i nærheten.

Systemet som er foreslått for fartøyet er designet med tanke på det sikreste konseptet og de strengeste retningslinjene som er tilgjengelige i dag når det gjelder sikkerhet.

2.1.3 Ammoniakk-frigjøringsreducerende system (A.R.M.S.)

På grunn av ammoniakkens toksisitet er ventilasjon til atmosfære ikke tillatt under normal drift av skipet. I noen spesielle tilfeller må imidlertid noen prosesslinjer ineres og/eller ventileres til atmosfæren (f.eks. motorutkobling til diesel). Dette vil frigjøre små, men relevante mengder ammoniakk til atmosfære med konsentrasjoner høyere enn de som anbefales av helse- og sikkerhetskravene (kravet er å holde konsentrasjonen av ammoniakk til <30 ppm ved utløpet av gassventilmasten under normal drift).

For å oppfylle kravet må det installeres en enhet om bord for enten å rengjøre eller brenne ammoniakken som slippes ut i atmosfæren under disse omstendighetene. Enheten kalles A.R.M.S. (Ammoniakk Release Mitigating System) og kan enten fungere med vannabsorpsjon (f.eks. et skrubberlignende system) eller med forbrenning (f.eks. brenner og gassforbrenningsenhet).

Det tas ulike hensyn ved nødutslipp av ammoniakk til atmosfære (f.eks. brann om bord som øker tanktrykket over MARVS). I disse tilfellene kan drivstoffet slippes ut i atmosfæren ved å omgå A.R.M.S., som utelukkende er dimensjonert for utslippene som kommer fra prosesslinjene.

Wärtsilä har utviklet et A.R.M.S.-system som fungerer som en gassforbrenningsenhet. En buffertank er installert før enheten for å samle ammoniakktutslipp fra de forskjellige modulene i systemet (bunkerstasjoner, tanktilkoblingsrom, gassventilenheter og motorer) og mate A.R.M.S. med de riktige strømningsverdiene.

A.R.M.S.-enheten og buffertanken må installeres i et dedikert rom, gasstett, kategorisert som farlig sone 1, eller i åpent vær. Hvis installert i et dedikert rom, ville best være å ha tilgang til rommet direkte fra åpent dekk. Eksosen fra A.R.M.S.-enheten skal ha konsentrasjoner av ammoniakk <30 ppm, og en temperatur på ca. 200 grader C. Første del av ventilmasten skal deretter isoleres i henhold til disse temperaturene.

For å ivareta sikkerhet og møte gjeldende regelverk blir det på dette prosjektet benyttet en IMO Type C tank. For å erstatte 150 m³ MDO trenger en 450 m³ med ammoniakk.

	Boiling point	Density	Specific energy	Specific energy	Energy density	Energy density
	°C - 1 bar	kg/m ³	MJ/kg	kWh/kg	MJ/m ³	kWh/m ³
MDO	175-650	840	42.7	11.86	35868	9963
Liquid ammonia	-33.3	653.1	18.6	5.17	12148	3374
	Volume	Energy				
NH ₃	444	1498211				
MDO	150	1494500				
Ratio	2.96	1				

Tabell 3 Sammenligning av volumbehov MDO/Ammoniakk

3 Arbeidspakke 3 – Integrasjon ombord

3.1 Sikkerhetsmessige betraktninger

Dekarbonisering innen shipping vil innebære bruk av alternative drivstoff, og med det operasjoner med nye sikkerhetsrelaterte risikoer.

En vellykket implementering av ammoniakk som drivstoff vil avhenge av evnen til å opprettholde en sikkerhetskultur der alle interessenter tar ansvar for å håndtere de nye sikkerhets-utfordringene som introduseres. Det krever også utvikling av internasjonale forskrifter for å fasilitere en sikker integrering av drivstoffinstallasjoner ombord. Dette må gjøres parallelt med modning av drivstoffteknologier knyttet til lagring, distribusjon og energikonvertering gjennom pilotprosjekter og adopsjon av first movers.

Den gradvise introduksjonen av LNG som drivstoff og erfaringen fra flere tiår med transport og bruk av boil-off gass som drivstoff på gassskip har vært viktig for det bredere opptaket vi ser indikasjoner på i dag. Ikrafttredelsen av IGF-koden 17 år etter lanseringen av den norske LNG-drevne fergen «Glutra» ga et internasjonalt regelverk for å håndtere LNG som drivstoff. Koden er et resultat av flere tiår med læring og erfaringer fra designere, redere, produsenter, verft, flaggstater og klassifiseringsselskap i hvordan man trygt kan integrere LNG-drivstoffsystemer om bord på skip.

For ammoniakk er bildet annerledes. Den maritime næringen har erfaring med transport av ammoniakk på gasstankere og som kuldemedium i kjøleanlegg, men ikke som drivstoff. På grunn av sin giftighet skaper introduksjonen av ammoniakk som drivstoff nye utfordringer knyttet til sikker bunkring, lagring, forsyning og forbruk. Tatt i betraktning at kommersielt tilgjengelige energiomformere ligger noen år inn i fremtiden og at regelutviklingen i IMO knapt er begynt, kan innføringen av ammoniakk som drivstoff skje på mye kortere tid enn for LNG, og med mye mindre erfaring til å basere sikkerhetsbeslutninger på.

I dette pilotprosjektet har vi tatt utgangspunkt i DNV sitt regelverk for skip som bruker ammoniakk som drivstoff (DNV Rules for Classification of Ships Pt.6 Ch.2 Sec.14 Gas fuelled ammonia) i den grad det var nødvendig for å utarbeide et general-arrangement. Støtte fra klasseregler har i hovedsak vært brukt i forbindelse med tank-arrangementet, hvor sikkerhetsavstander og arrangement av tank connection space har vært viktige parametere for å bestemme hvor mye lagringskapasitet det har vært mulig å få på plass.

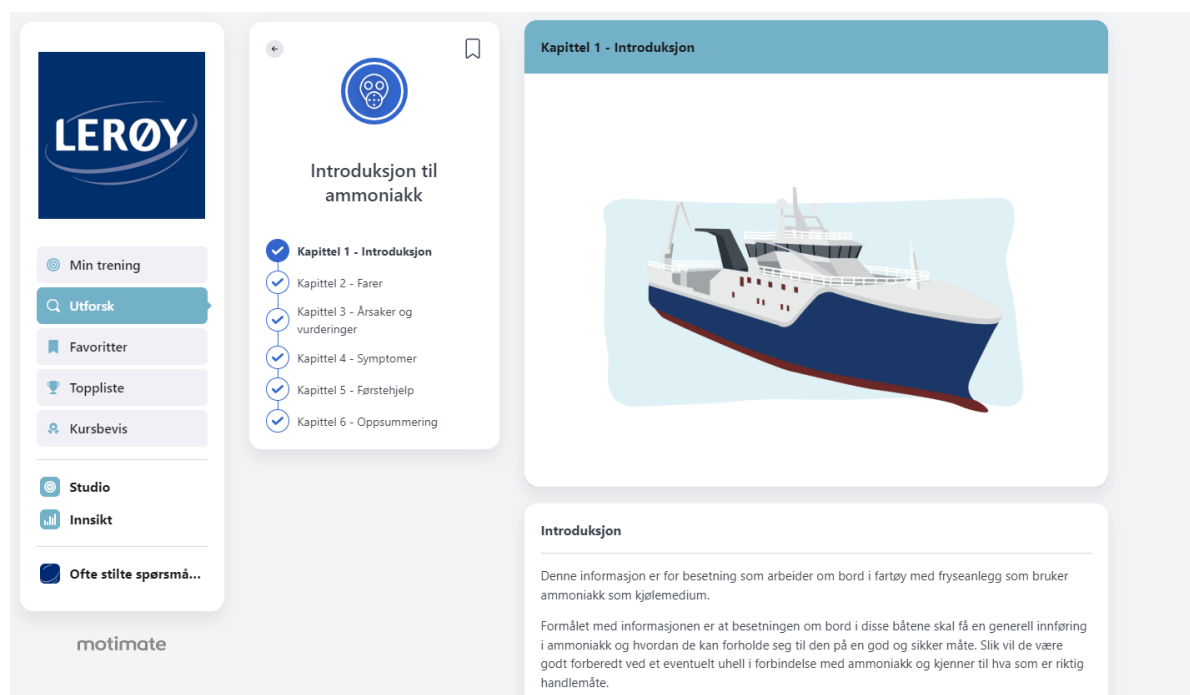
3.1.1 Lerøy Havfisk – internt sikkerhetsarbeide

Ammoniakk er et velkjent stoff som i dag brukes bord i fartøyenes fryserisystemer, både i vertikalfrysere som står på fabrikk dekk, og i fordampercoiler festet underhengende i dekk i fryselasterom.

Volumet ammoniakk varierer med fartøystørrelser, men det er nok et sted mellom ca 3-5 tonn ammoniakk på alle fartøyer. Med kjent karakteristisk stikkende lukt, og dertil andre farlige /dødelige egenskaper har man utviklet stor respekt for stoffet. Uønskede hendelser har uheldigvis oppstått. Det er vel nesten å konstatere at det er bortimot umulig å unngå visse

former for mindre lekkasjer kan oppstå, dertil er det arrangert med nødutluftinger, katastrofeventilasjon og nødvendig verneutstyr for bruk ved de selvfølgelig uønskede kritiske situasjoner om de skulle oppstå.

Som resultat av negative opplevelser man har hatt med lekkasjer, har rederiet i samarbeid med ASK Sikkerhetssenter fått utarbeidet en nettbasert Ammoniakk sikkerhetskurs, som også kan kombineres med aktive øvelser om bord. Dette er beregnet på skipsoffiserene. For de øvrige om bord har rederiet i egen regi fått utviklet et App-basert kurs som er tilgjengelig som e-læring på systemet MOTIMATE og kan lastes på den enkeltes Iphone.



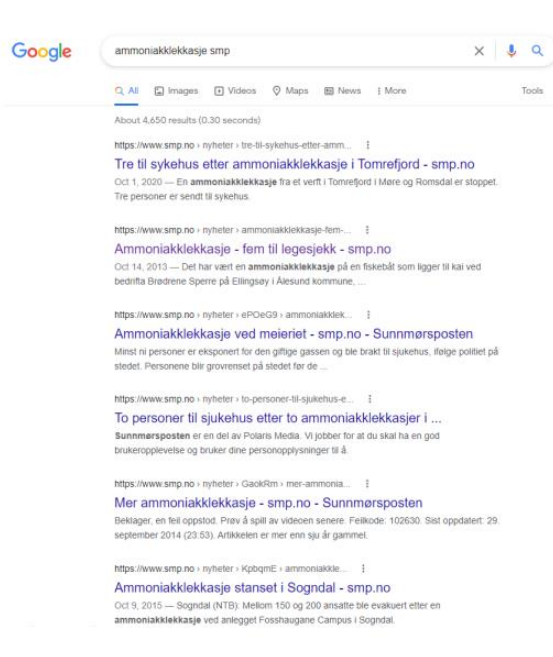
Figur 11 Skjermbilder fra Lerøy Havfisk sitt app-baserte kurs i ammoniakk-sikkerhet

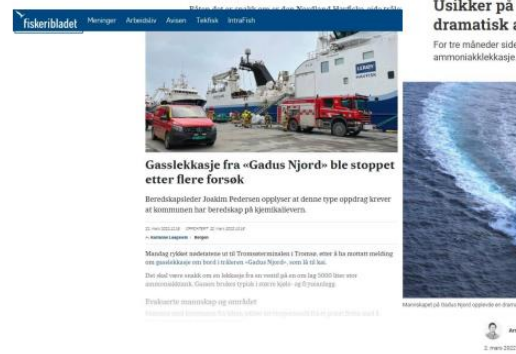
Som en generell betraktning kan man nok driste seg til å anta at fremtidige nye systemer for Ammoniakk om bord vil ha flere og høyere sikkerhetsbarrierer enn det man har med dagens fryseri systemer. Man snakker Ex, ventilasjon og dobbeltrørsbarrierer på et helt annet nivå enn hva som er vanlig for et klassisk fryserisystem.

3.1.2 Erfaringer med ammoniakk

Risiko og farer under anvendelsen, og da selvfølgelig uønskede hendelser under operasjoner med bruk av ammoniakk er vi godt kjent med. Store alvorlige hendelser skjer heldigvis sjelden, men det har dessverre også forekommet i vårt rederi. Et raskt Google søk gir mange treff på lekkasjer generelt, og vi havnet også dessverre på listen blant hendelser i 2021.

Flere hendelser med ammoniakk lekkasje



Gadus Njord, Hendelse 14.12.2021

Ca 1600-1615 Arbeid vedlikehold på kjølesystem

Ca 2000 større ammoniakklekkasje, store mengder ammoniakk kommer ut i ved nedre del av vesketanken og ved bunn av frysemaskinrom, Nød ventilasjon av frysemaskinrom starter automatisk

Ca 2030 Starter forsøk med gassmasker og drakter for entring av frysemaskinrom for forsøk på å stenge ventiler og få kontroll med lekkasje, men går ettevert tom for pusteluft...mye gass

0000-0230 Skipet steamer mot kystvakt i området, forbereder seg på evakuering og får etterhvert nye luftflasker om bord for å fortsette arbeidet med å få kontroll på lekkasje

0230 -030 avtagende lekkasje, men mye gas i maskin, kontrollrom og innredning gradvis bedring ved utlufting og vasking

Luktet ammoniakk

Ulykken skjedde vest for Bjørnøya i Barentshavet den 14. desember i fjor. På ettermiddagen hadde mannskapet kokt ut oljer i fryseriet om bord. På kvelden bemerkte flere av mannskapet at det lukter ammoniakk i messen, kommer det fram i ulykkesrapporten fra førstmaskinisten på Gadus Njord.

Mannskapet tar på seg verneklær og forsøker å stoppe ammoniakklekkasjen ved å stenge ventiler og dekke til med filler.

«Jeg forsøker å stenge to andre ventiler i underkant av væsketanken, og er usikker på om jeg får stengt noe ettersom sikten begynner å bli redusert og hanskene mine fryser til is når jeg forsøker», heter det i rapporten.

Etter hvert begynner de å gå tom for lufttanker som de bruker når de oppholder seg i fryserommet. Maskinisten beskriver videre at det lukter ammoniakk i alle rom og at mannskapet gjør klar livdrakter i tilfelle de må forlate fartøyet.

Stoppet lekkasjen

Rundt midnatt får de kontakt med et kystvaktskip. Kystvaktsmannskapet vil ikke gå om bord i tråleren, men gir fiskerne flere lufttanker slik at de selv kan prøve å stoppe lekkasjen.

Mellom klokken 02.30 og 03.30 stopper lekkasjen. Mannskapet fortsetter med vasking og lufting. Etter hvert kjenner de ikke lenger ammoniakkluken lenger.

Tre dager senere kommer fartøyet til kai i Tromsø.

Innklipp fra TU artikkel 2. mars 2022

Tre dager senere kommer fartøyet til kai i Tromsø.

I ettertid antar de at lekkasjen var stor, men at mannskapet hadde klart å stoppe den i og med at det fortsatt var trykk på tanken da de kom til land. Videre kom de fram til at lekkasjen skjedde fra det de kaller «juret» i væskeutskilleren.

Teoriene er at det enten kan ha skjedd fordi en messingplugg har tært og løst, at noen hadde åpnet ved ventilen ved en feil i forbindelse med oljeavskoringen eller at ventilen har lekket litt og forverret seg.



Ammoniakk lekk fra denne ventilen. Faksimile: Sjøfartsdirektoratet

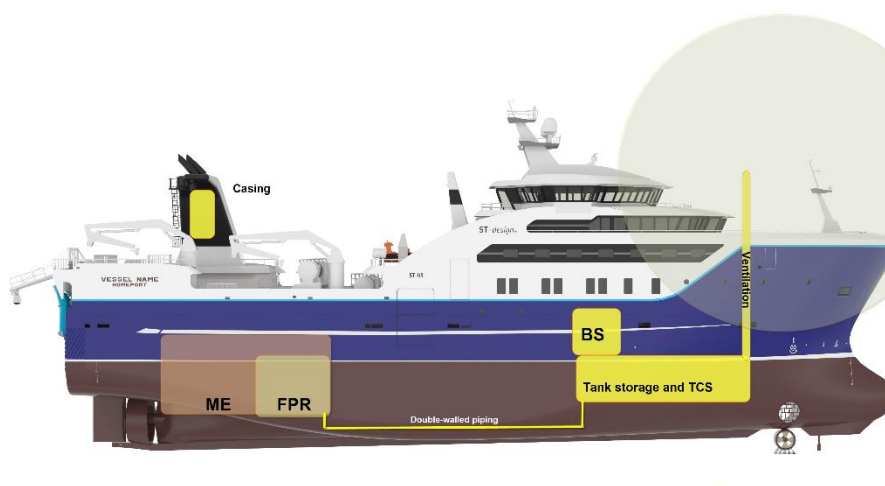
Figur 12 Skjermdump fra TU-artikkel om ammoniakk-hendelse på Gadus Njord

3.2 Skipsdesign og Generalarrangementer (Skipsteknisk)

Utgangspunktet for designet var et basisdesign på en konvensjonell tråler med en batteripakke på ca. 1MW. I innledende runder ble det avklart at en skulle se nærmere på en dualfuel løsning med NH₃/MDO og at ammoniakk skulle lagres i en type-c tank. Kapasiteter til trålbane, fabrikk, rekkevidde og lagring for fangst skal ikke bli redusert.

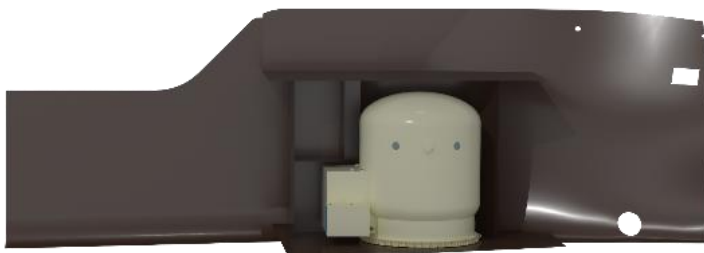


Å implementere ammoniakk som energibærer påvirker store deler av skipet.



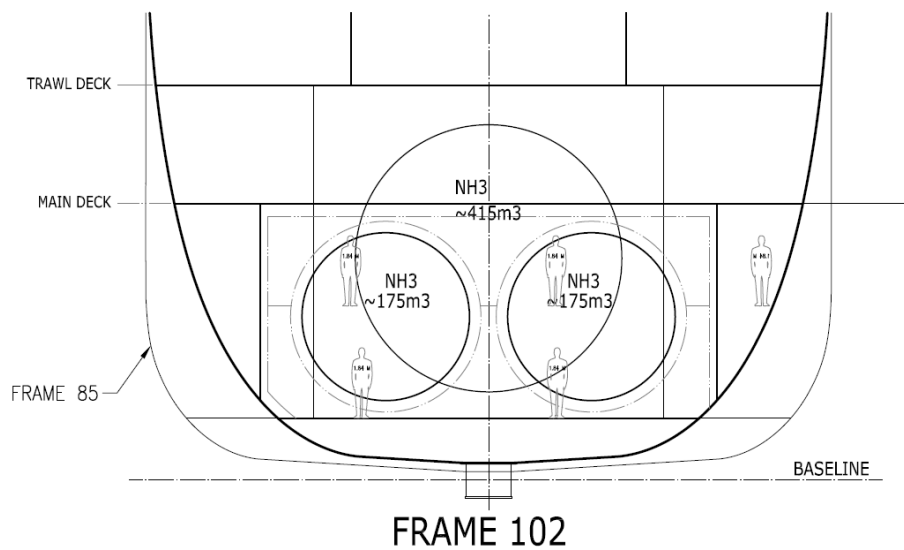
I første design-iterasjon ble det implementert en tank på 450 m³ plassert i forskipet med et tilhørende TCS (tank connection space). Motivasjonen for denne plasseringen var å tape minst mulig lastekapasitet og sikkerhetsaspektet ved en eventuell utlufting av lagertanken til

ammoniakk. Fuel preparation room (FPR) inkluderes i frysemaskinerirommet, der en også i dag håndterer ammoniakk, men ammoniakk som energibærer vil utløse krav om et høyere sikkerhetsnivå. Rommet som inneholder FPR har forhøyet krav til sikkerhet og holdes derfor adskilt fra maskinrommet og blir adskilt med air-lock. Både lagertankens TCS og FPR vil ha vanngardin, som ekstra sikkerhetsbarriere.

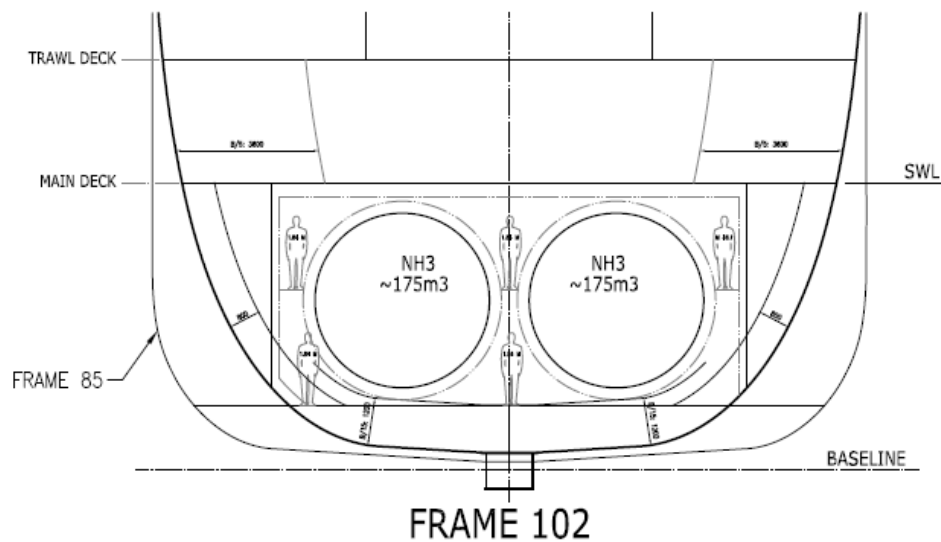


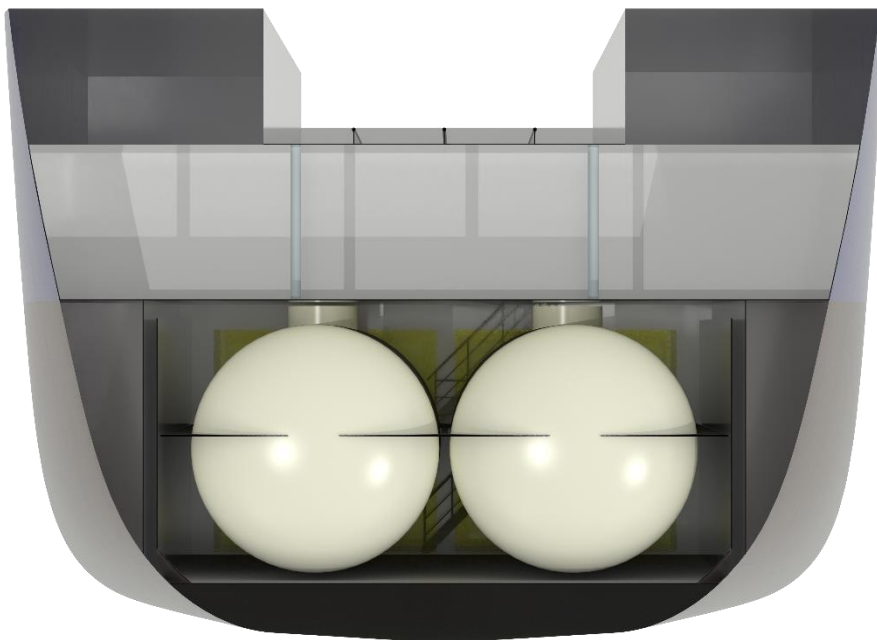
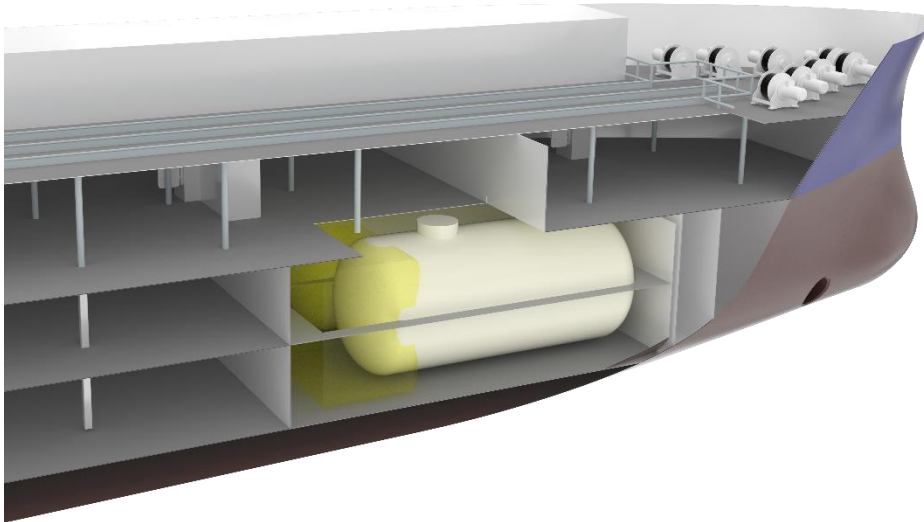
En vertikal tank med 450 m³ ville være ødeleggende for fabrikkdekket og trålbanen.

Ønsket volum fordelt på en horisontalt plassert tank ville også møte de samme utfordringene, siden nødvendig diameter på tanken ville ødelagt for dekkshøydene, eventuelt arrangementet på dekket over.



På bakgrunn av dette ble besluttet å endre til to mindre tanker, optimalisert med maksimal tanklengde til diameteren. Total tankkapasitet ble derfor redusert til 350 m³.

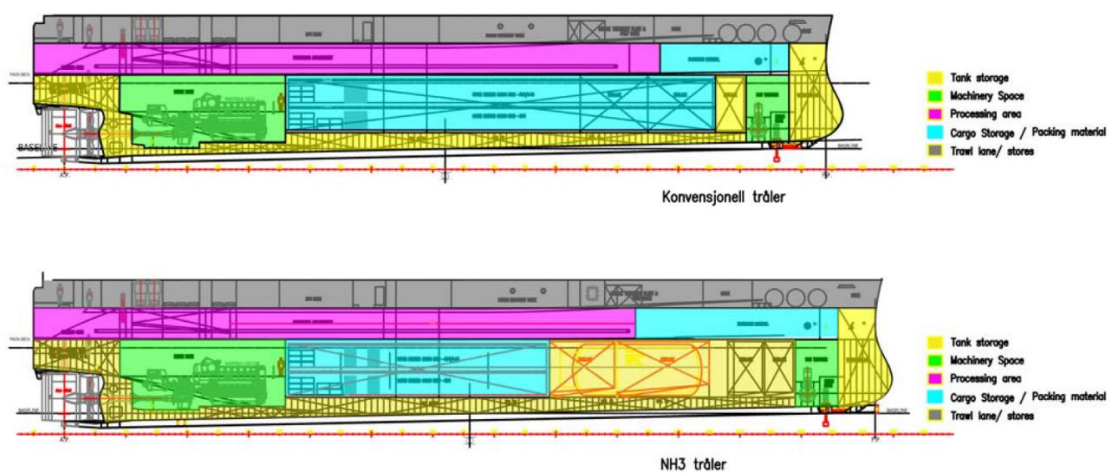




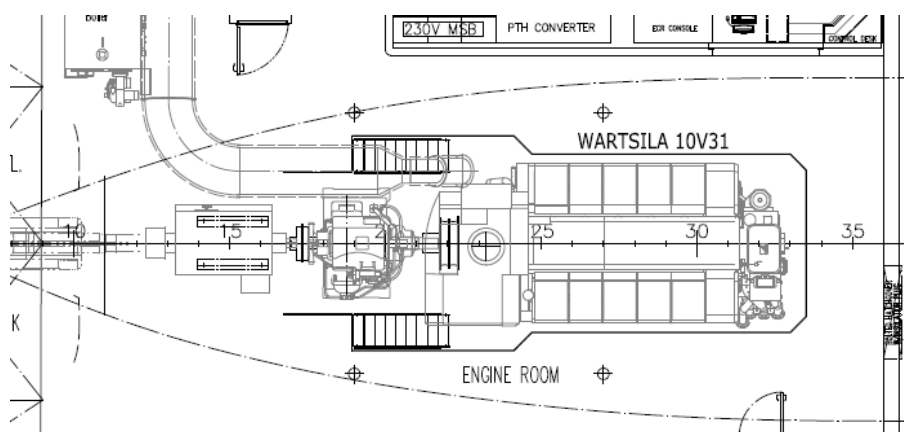
En vil med en slik løsning få en tilsvarende god trålbane og fabrikk som ved en konvensjonell tråler og ha kapasitet til en tilsvarende mengde last (antall paller med fisk).

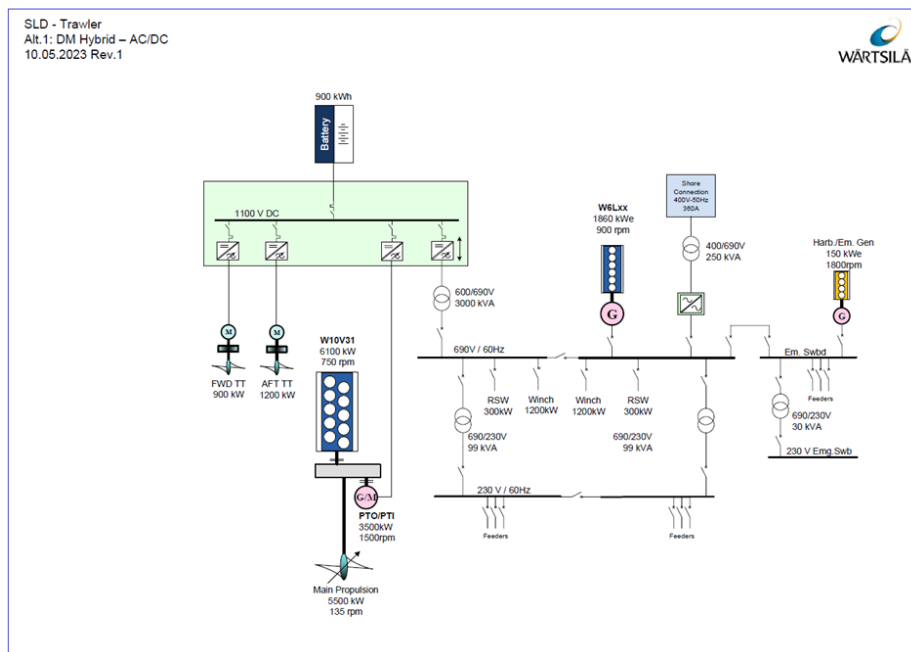
Økningen i hoveddimensjoner vil utgjøre:

	MDO	Ammoniakk/ MDO	Endring
	[m]	[m]	[m]
Length, LOA	79.90	84.90	4.80
Length, Lpp	74.40	79.20	4.80
B	17.00	18.00	1.00
D	10.30	10.30	-

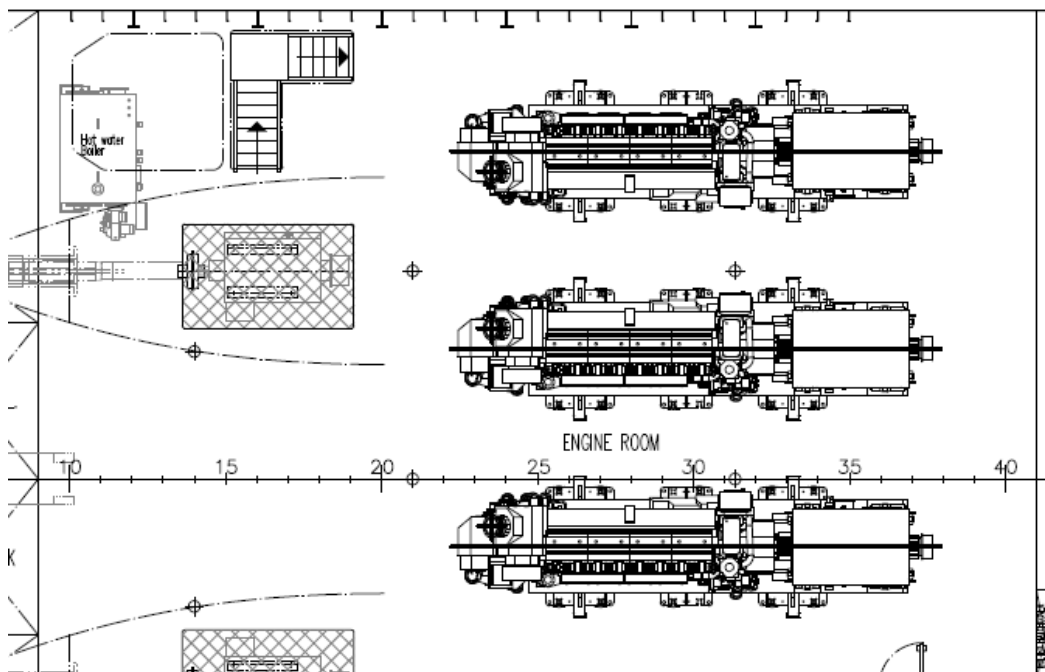


Utgangspunktet for prosjektet var diesel-mekanisk fremdrift:

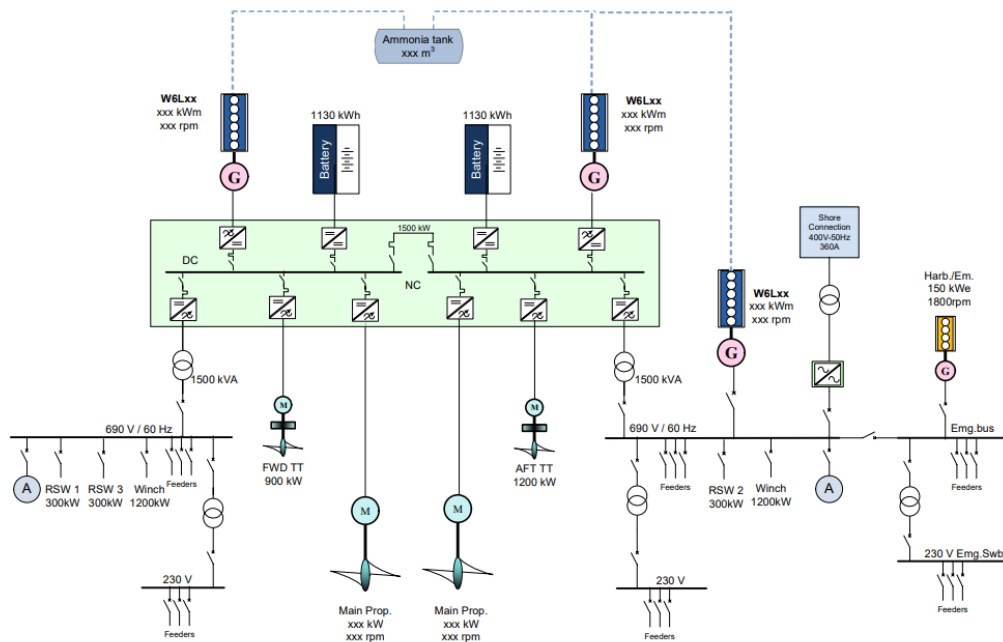




Wärtsilä tar sikte på å lansere generatorsett med dualfuel løsning først. Dette gjorde at vi arrangerte et diesel-elektrisk oppsett med tre generatorsett. Dette vil kreve en ytterligere forlenging av fartøyet på 3 m.



SLD - Trawler
Alt.4: DE Hybrid – Twin screw – NH3 – 3 genset
15.05.2023 Rev.2



4 Arbeidspakke 4 – Fremdrifts-maskineri (Wärtsilä)

4.1 Motorutvikling og testing, erfaringer og utfordringer

Wärtsilä utvikler motorer som kan utnytte ammoniakk som drivstoff sammen med andre drivstoff, som hydrogen, biodrivstoff og metanol. Dette betyr at det er flere drivstoffalternativer for forskjellige fartøy. «Grønn ammoniakk» forventes å spille en viktig rolle for fartøyets drivstoff fleksibilitet.

Wärtsilä startet utviklingen av ammoniakkmotorer rundt 2018. Prosjektlokasjonen er primært i Vaasa, Finland. Ulike forbrenningskonsepter har vært testet, med gode resultater.

Gjennom DEMO 2000 programmet i samarbeid med Knutsen OAS Shipping AS, Repsol, Equinor, Norges Forskningsråd og Sustainable Energy,(Norwegian Catapult Centre) pågår langtidstesting av ammoniakk som drivstoff i en firetakts forbrenningsmotor. Testsenteret på Stord har den nødvendige infrastrukturen som må til for å utføre en slik test.

Det omfattende testprogrammet er pr dato ikke ferdigstilt, men har gitt mye læring for videre utvikling av motorer og avgass systemer. Første fase av Demo 2000 programmet avsluttes juni 2023.

Samtidig utføres det også tester i Vaasa Finland, og test resultater utveksles for hurtigere læring.

Målet er å kunne tilby kundene et ammoniakk alternativ til nybygg og som et ombyggings alternativ for den seilende flåten, med «Dual Fuel» / «Multi Fuel» konseptene.

Hovedpunkter som kan nevnes fra testene sammenlignet med MDO;

- Ingen reduksjon av motor efficiency med bruk av ammoniakk
- NOx nivåer i henhold til IMO Tier III
- Lave lystgass (N₂O) konsentrasjoner
- GHG reduksjon på 70%
- SCR må optimaliseres videre
- Konstant rpm løsning (brukt som generator sett)
- Drivstoff system integrasjon
- Integrasjon mot kraft og kontroll systemer
- Gode sikkerhets prosedyrer

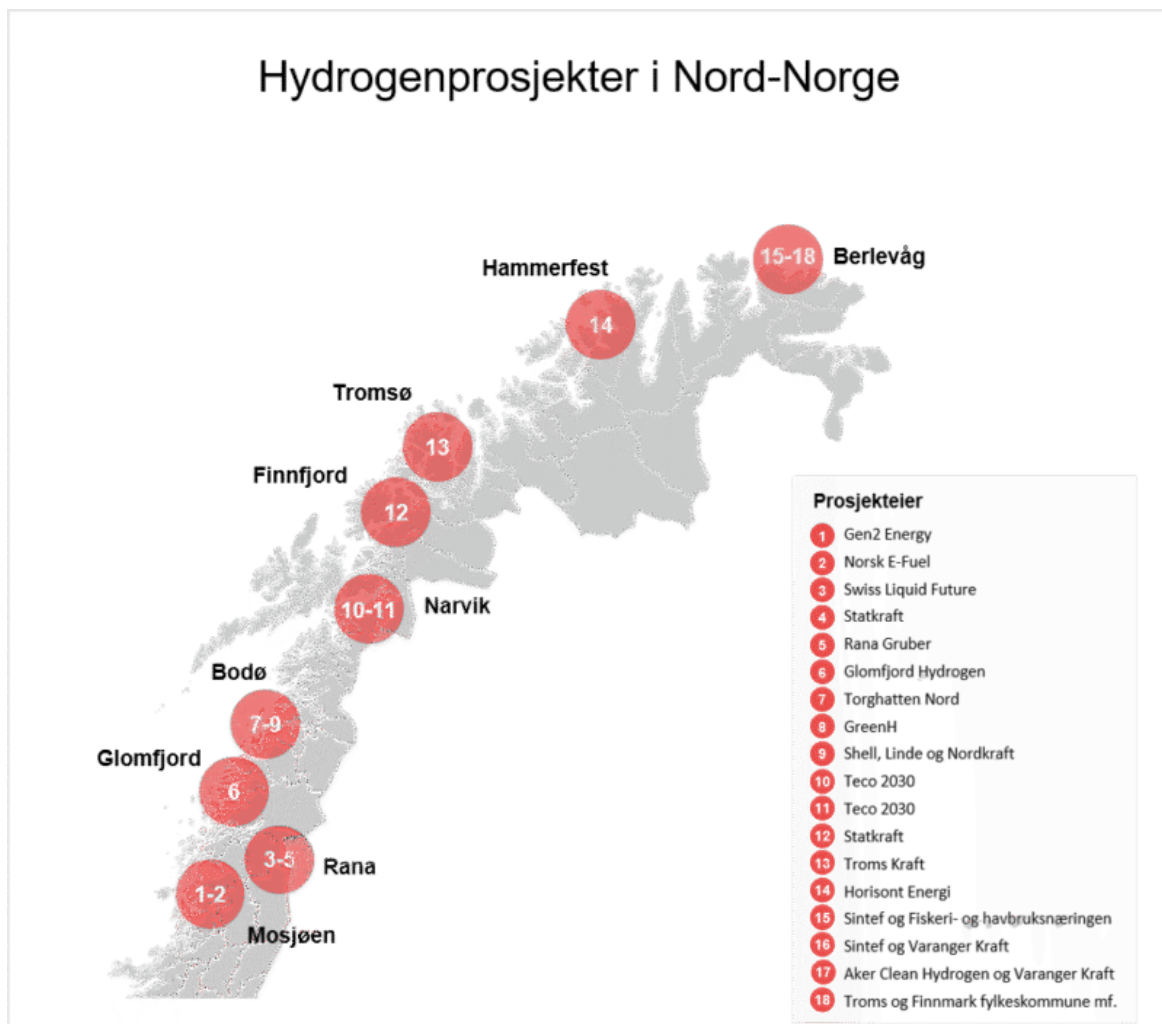


Figur 13 Wärtsilä ammoniakk-motor ved Norwegian Catapult Centre på Stord

5 Arbeidspakke 5 – Kost og tilgjengelighet (Grieg Maritime)

5.1 Produksjonsprosjekter i Nord-Norge

Det dukker stadig opp flere hydrogen og ammoniakkprosjekter på kartet, og Nord-Norge er med på drive denne utviklingen fremover. Nord-Norge er en attraktiv region for produksjon av ammoniakk grunnet lave strømkostnadene samt høy skipsfart- og fiskeriaktivitet langs kysten. Det er annonsert 50 hydrogenprosjekter i Norge, og 18 av disse er lokalisert i Nord-Norge med operasjonell virksomhet mellom 2025 og 2030¹.



Figur 14 Oversikt over hydrogenprosjekter i Nord-Norge

Barents Blue prosjektet satser på ammoniakkproduksjon i Hammerfest og ledes av Horsiont Energi i samarbeid med Equinor og Vår energi. Prosjektet skal være det første storskala

¹ <https://www.kbnn.no/artikkel/nord-norge-er-med-pa-a-drive-utviklingen-innen-hydrogen-og-ammoniakk>

anlegget for blå ammoniakk, og sikter å være operasjonelle i 2026. Anlegget skal anvende naturgass fra Equinors snøhvitfelt for produksjon av ammoniakk. Prosjektet vil gi 1 mill. tonn ammoniakk årlig, og 2 mill. tonn karbon til lagring i Barentshavet².

Prosjekt Neptun vil produsere grønt hydrogen og ammoniakk i Tromsø fra 2026. Selskapet eies av Troms Kraft, Magnora ASA og Prime Green Energy Holding Norway. Anlegget skal produsere 20-35 000 tonn ammoniakk årlig i fase 1, og 70 000 tonn i fase 2. Prosjektet sikter på investeringsbeslutning i første halvdel av 2024³.

Aker Horizon Asset Development utvikler to prosjekter i Nord-Norge; Berlevåg og Narvik med henholdsvis 100MW og 600 MW grønn ammoniakk. Prosjektet i Narvik har til nå gjennomført en mulighetsstudie og planlegger å ta investeringsbeslutning i 2025⁴.

5.2 Distribusjon og bunkring med MS Green Ammonia

Grieg Edge utvikler et av verdens første ammoniakkdrevne ammoniaktankere. MS Green Ammonia skal distribuere grønn ammoniakk langs kysten av Norge, til terminaler og skip via skip-til-skip-bunkring. Fartøyskonseptet fikk en Approval in Principle (AiP) fra DNV i april 2022 og er planlagt å være klart for drift fra 2026/2027. Bunkringsfartøyet vil ha en lastekapasitet på 7500 m³ ammoniakk som skal lagres ombord ved -33 grader og atmosfærisk trykk. En 3D-modell av skipet er vist i Figur 15.



Figur 15 MS Green Ammonia

Hoveddimensjoner for MS Green Ammonia er listet opp i Tabell 4. Fartøyet er designet for å tilby bunkringsoperasjoner til ulike skipstyper og størrelser, som små til store containerskip,

² <https://www.kbnn.no/artikkel/lovende-framtidsutsikter-for-hydrogenproduksjon-i-nord-norge>

³ <https://www.ocean24.no/2022/12/07/satser-pa-gronn-maritim-drivstoffproduksjon-i-tromso/>

⁴ <https://www.narvik.kommune.no/aktuelt/nyheter-fra-aker-horizons-om-satsingen-i-narvik-og-bjerkvik.357800.aspx>

bulkskip, store oljetankskip (VLCC) og cruiseskip. Manifolder er plassert midt i skip på babord og styrbord side på forskjellige nivåer for å sikre fleksibilitet ved bunkringsoperasjoner.

Hoveddimensjoner	
LOA	120.0 m
Bredde	19.2 m
Dypgang	7.0 m
Dybde	10.2 m
Lastekapasitet	7500 m ³ m
Lasterate	Opp til 1000 m ³ /h

Tabell 4 Hoveddimensjoner MS Green Ammonia

Kompatibilitetsstudie

Et viktig element for å kunne gjennomføre sikre bunkringsoperasjoner er å verifisere at bunkersfartøyet og mottaksfartøyet er kompatible. En kompatibilitetsvurdering bør utføres før hver bunkring fra skip til skip. En sjekkliste kan være effektiv måte å sikre kompatibilitet før en bunkringsoperasjon. Kompatibilitetsgjennomgangen bør inkludere alle skip-skip-hensyn og bør ta for seg følgende.

- Kompatibilitet med fartøyets dimensjoner for å sikre sikker fortøyning og tilstrekkelig fendere for å forhindre skade.
- Konflikter med overhengende utstyr, som livbåter.
- Relativt fribord for å la slanger og kraner nå bunkringsforsyningsforbindelsen, med tilstrekkelig slakk i tilfelle bevegelser mellom fartøyene.
- Manifoldarrangementer, slangekoblinger for utslippsoppsamlingsystemer.
- Mulighet for nødutløsning (slangebrudd) med minimal gassutløsning.
- Kompatibilitet i nødavstengningsforbindelser
- Kompatibilitet på farlige områder på både forsynings- og mottaksfartøy.
- Bekreftelse på volum, trykk, temperatur, overføringshastigheter er kompatible.
- Krav om dampretur.
- Kapabilitet for rensing og inertering på begge fartøy.
- Kompatibilitet i kommunikasjonsutstyr, overvåking på begge sider og mulighet for nødstop på begge fartøyer.

Ammoniakkoverføring skip-til-skip vil bli utført gjennom fleksible slanger med 20m lengde og 8" diameter. Det vil være to slanger for væskekoblinger og en for dampkobling. Fartøyet vil være utstyrt med et custody transfer system (CTS) for svært nøyaktig måling av både energiinnhold og mengde overført ammoniakk.

Både tråleren til Lerøy og MS Green Ammonia er på det konseptuelle designstadiet, så alle spesifikasjoner for å vurdere kompatibiliteten er ikke satt. Ved å vurdere de to designene på et overordnet nivå, spesielt med fokus på hoveddimensjoner, krankapasitet, slangelengder, plassering av manifoldstasjoner og tanksystemer, finner prosjektet at de to fartøyene bør passe godt til å utføre skip-til-skip bunkringsoperasjoner.

6 Arbeidspakke 6 (tillegg) - Andre mulige energisparende tiltak ut over drivstoffbytte

6.1 Generelle tiltak

Lerøy Havfisk har i en årrekke samhandlet med NOx-fondet i både små og store prosjekter på rederiets flåte for energiøkonomisering og utslippsreduksjon.

De mindre prosjektene har vært alt fra utskifting i stor skala av belysning til LED, eller ombygging til frekvensstyringer på kompressorer og pumper.

Større prosjekter har vært Nox-ombygginger av hovedmotorer, og ettermonteringer av SCR anlegg på de største fartøyene som ikke hadde dette opprinnelig ved levering.

Man kan nok si at man i dag omtrent ikke har flere komponenter å velge i om bord som ikke har vært gjenstand for en vurdering til energi økonomisering, så de fleste steiner er nok snudd her. Det sammen gjelder nok Nox-reduserende tiltak på i gjenværende flåte.

6.2 Utskifting av eldre fremdriftsmotorer

De foreløpig siste prosjekter vi har pågående med Nox –fondet er utskifting av fremdriftsmotorer på de 2 største av rederiets 5 eldste båter, VESTTIND og HAVTIND.

I slike motorbytter med en endring av motorteknologi gjennom 20-30 år, vil naturlig gi en forbedret forbruksprofil av brennstoff. Eksempelvis vil det spesifikke brennstoff forbruket på HAVTIND endres med 10% reduksjon for dette fartøyet på årsbasis. For VESTTIND ligger det noe lavere.

Begge motorutskiftingene blir fra Wartsila motor, til ny Wartsila motor, da man også gjenbraker gear og propellsystemer. Den nye generasjons motorer er også konverterbare til mulig drift på Ammoniakk, men dette er nok en svært liten fremtidig sannsynlighet med grunnlag og begrensninger i fartøyenes opprinnelige Generalarrangement.

6.3 Øvrige alternative drivstoff

I denne Piloten blir det ikke evaluert andre alternative drivstoff enn Ammoniakk, men det er klart at diverse bio-drivstoff kan være en rask vei til reduserte utslipp uten store endringer av fartøyenes eksisterende systemer. Det vises til avsnitt i konklusjonen der man nevner noe mere om mulige retningsvalg for alternativer.

6.4 Redskap- og kvote fleksibilitet i et bærekrafts perspektiv, med hovedfokus på reduksjon av CO2 utslipp fra trålere

Fra et operativt perspektiv mener Lerøy Havfisk AS at det er et betydelig potensial å tillate «full» red-skap- og kvotefleksibilitet for torsketrålflåten. Det vil si at torsketrålgruppen kan benytte de redskap som er mest effektivt for å beskatte på den arten de har kvote på. Dette vil gi muligheter for å optimalisere operasjonene på den arten som er til enhver tid mest

tilgjengelig. Dette i forhold til de iboende forutsetninger som ligger i beskatning av naturgitte ressurser. Samtlige i torsketrålgruppen har fokus for å oppnå lavest mulig bunkersforbruk i de operasjoner de gjennomføre.

Dette understøttes med de initiativ som har blitt gjennomført opp igjennom årene, i regi av NoX fondet. For Lerøy Havfisk AS har det som nevnt blitt gjennomført i flere NoX fond prosjekt som omhandler tiltak for å redusere energiforbruk og utslipp av klimagasser.

Rent regulerings teknisk er «full» redskap og kvotefleksibilitet fullt mulig, men det må være vilje til å gjennomføre forsøksordninger, samt tilpasse regelverket slik at denne type operasjoner kan gjennomføres på lovlig vis fra forvaltningen.

Redskapsfleksibilitet er allerede innført i andre redskaps grupper med suksess. Her nevnes garn/line der det er tillatt å bruke snurrevad trål for å fiske de arter fartøygruppen (hav gående konvensjonell gruppe) har kvotegrunnlag på. Likeså nevnes det ringnot (snurpenot), der det er tillatt å fange samme kvote-grunnlag med pelagisktrål, også med suksess.

Kvotefleksibilitet er også vel utprøvd i andre fartøygruppe med suksess, her nevnes pelagisk trål, der en har kvotefleksibilitet i fiske etter lodde på Island (såkalt kvote bytte ordning).

Riktignok er det utfordringer som må adresseres i gjennomføringen av både redskap og kvote fleksibilitet rent praktisk. Dette arbeides det allerede med i dag, og er under utvikling, ved at det er gitt dispensasjoner til torsketrålgruppen i dag som omhandler redskapsfleksibilitet. Konkret kan det nevnes at trålflåten i dag har dispensasjon, til å benytte flytetral (trål som ikke er i kontakt med bunnene også kalt pelagisk trål) i forsøkes fiske etter hyse. Det er gitt generell tillatelse i regulerings forskriften i direkte fiske etter snabel uer (*Sebastes mentella*), i et begrenset område- og tidsperiode.

Nå det gjelder kvotefleksibilitet har torsketrålgruppen anledning til å benytte seg av «slumpfisk ordningen». Slumpfisk ordningen er en ordning som går ut på at et fartøy (kvotesett) kan flyttet 20 % av kvote grunnlaget for artene torsk, hyse og sei fra et fartøy til et annet fartøy i samme fartøygruppe (torsketrålgruppen). Forutsatt at fartøyet som avgir kvote har fisket 30 % av kvoten for den arten som ønsket flyttet (slumpes), det forutsettes også at avgitte fartøys kvote reduseres tilsvarende. Selve kvote flyttingen (slumpingen) gjennomføres etter søknad til fiskeridirektoratet, som vedtar flyttingen ved enkelt vedtak. Lerøy Havfisk AS har benyttet denne ordningen med stort hell. Det er ikke gjennomført konkrete analyser i forhold til besparelse ved å benytte slumpfisk ordningen, men den antas å være betydelig.

Det vises også til funnen i 2 rapporter som tar for seg effektene av redskap og kvote fleksibilitet;

Redskapsfleksibilitet

FHF rapport «konsekvenser av friere redskapsvalg i norske fiskerier prosjekt nummer 900535 Konsekvenser av friere redskapsvalg i norske fiskerier (fhf.no).

Hovedfunn

- Regimet med TAC (total allowable catch) har fjernet koplingen mellom redskapseffektivitet og ubegrenset fangst.
- Simuleringer av fisket etter torsk med ulike fiskeredskaper viser at redskapsfrihet representerer en effektivitetsgevinst og at det kan introduseres innenfor rammene av en forsvarlig ressurs-forvaltning.
- Hvor og når det fiskes, har trolig større effekt på beskatningsmønsteret enn valg av type fiske-redskaper.
- De økonomiske analysene viser at ulike fiskeredskaper kan være mest effektive. Dette betyr at redskapsfleksibilitet kan representere en effektivitetsgevinst for fiskeflåten.
- Analyser av energiforbruket viser forskjeller mellom ulike fartøy- og redskapsgrupper. Redskapsfleksibilitet kan bidra til et mer miljøvennlig- eller energieffektivt fiskeri.
- Fordelingspolitisk kan økt grad av redskapsfrihet utfordre den fordelingspolitiske begrunnelsen for å holde ved like dagens fordeling mellom ulike fartøy- og redskapsgrupper.
- Økt redskapsfrihet kan innebære at areal- og områdereguleringer får mer oppmerksomhet.
- Økt redskapsfrihet fordrer liberalisering av primært Utøvelsesforskriften og konsesjonsforskriften (sentral del av innsatsreguleringer i fiskeri).

Kvotefleksibilitet

FHF rapport «Økonomiske og miljømessige konsekvenser av reguleringer og institusjonelle rammer for fiskeriene» prosjekt nummer 901573 Økonomiske og miljømessige konsekvenser av reguleringer og institusjonelle rammer for fiskeriene (fhf.no).

Hovedfunn

- Kvotefleksibilitet har et betydelig potensial for å redusere drivstofforbruk. Den foreslåtte ordningen, der fleksibilitet kun kan utnyttes innen tilhørende reguleringsgruppe, gir lavere potensiell reduksjon. En forenklet modell indikerer en besparelse for torsketrål og konvensjonelle havfiskefartøy på om lag 4 %.

6.5 Delkonklusjon

Lerøy Havfisk AS benytter allerede i dag prinsipper som kan legges til grunn for «full» redskap og kvote-fleksibilitet med positivt resultat i forhold til redusert CO2 utslipp. Og mener potensialet for redusert CO2 ved å kunne anvende «full» redskap og kvote fleksibilitet er betydelige. «Full» redskap og kvote -fleksibilitet for torsketrålgruppen burdevært utprøvd enda mer, da over flere år (2-4 år), for å skaffe til veie mer kunnskap om effektene av ordningen. Lerøy havfisk AS vil være positiv til å delta i et slikt prosjekt.

7 Hvilke konklusjoner trekker vi på bakgrunn av pilot-arbeidet?

7.1 Motor-teknologi:

For Lerøy Havfisk har det vært uaktuelt å tenke andre løsninger på motorsiden enn å benytte en dual fuel løsning hvor MDO kan være en back-up for manglende ammoniakk. På dette stadiet av teknologi og logistikkutvikling innen alternative drivstoff, er det få eller ingen som kan gi noen vanntette svar for hverken driftssikkerhet og stabilitet i den fremtidige motorteknologien, ei heller det komplette gode bilde av tilgjengeligheten av grønn ammoniakk, eller av ammoniakk generelt for den del.

En av grunnene til at denne piloten har dratt noe ut i tid er ønsket om å få bedre og mer pålitelig kunnskap om hva man ser som resultater fra motortestingen. Dette inkluderer kunnskap om hvilke blandingsforhold mellom diesel og ammoniakk som vil bli optimale, slitasje problematikk, reguleringsstabilitet på raske lastomslag, etc. Som man forstår, er der en liste av uløste ubesvarte spørsmål, og den vil nok bli lenger etter hvert som man avventer resultater fra testingen.

Fremdriften i testing og utvikling har ikke gått så fort som vi kunne ønske for å kunne få sånne svar til å presentere i denne rapporten, men det er nok noe man bare må akseptere - at ting tar tid.

Foruten mulige utfordringer man kan tenke seg kan bli aktuelle motormessig, som for eksempel ekstraordinær slitasje og tæring, er der også fremdeles en teknologi som må på plass på utslippsiden. Ammoniakk-slipp gjennom avgass tenkes renses ved SCR teknologi, der man også i en kombinasjonsunit tar ut både CO₂ fra forbrent diesel og lystgass fra forbrent Ammoniakk i en og samme unit. Denne uniten er enda Dette er også løsninger som det jobbes med som man ikke har full oversikt over enda.

Ammoniakknedslag internt i motoren fra forbrenningsrommet og ned i veivrommet, er også utfordringer som man må få kontroll på.

Angående motorens stabilitet og evne til å respondere på raske last omslag, så har man også hentydninger til at dette kan bli en utfordring, og at etter det man har erfart så langt, at jo større innblandingsandel av ammoniakk, jo mer utfordring kan det bli med last reguleringen. Det er hentydet at de første generasjons motorer kanskje vil bli dedikert til å stå som generatormotorer med stabil last. Og gjerne i kombinasjon med batteripakker som kan avhjelpe peak-shaving og sikre stabil last ytterligere.

Man kan dog driste seg til å si at der er flere bestanddeler i et dieselelektrisk system som vil redusere gevinsten av redusert MGO forbruk når man blander det ned med diesel.

Virkningsgrad på elektromotorer gear og frekvensomsetninger kan være faktorer som spiser av resultat oppnåelsen.

Det meste av det som sees på av gjenstående uløste utfordringer styrker selvfølgelig valget av en dual fuel løsning totalt sett.

Denne løsningen gir også ubegrenset operasjonsfrihet dersom man ikke kan få bunkret ammoniakk forløpende ved behov, og den gir også en komplett "take me home" løsning, i forhold til sikkerhet og teknisk avbrudd for gass-systemene.

7.2 Operasjonsmønster, kan det endres?

Vi har sett på dagens operasjonsmønster, og kan konkludere med at med det volum av gass man har tilgjengelig, både hadde hatt mulighet til å kjøre en svært høy blanding av diesel – ammoniakk på korte turer (6-8 dager), og en 50-50% mix på turer av rundt 14 dagers varighet. Når turlengdene overstiger dette i døgn så blir det problematisk om man eksempelvis ikke får tilgang til bunkring i sjøen.

7.3 Redskap og kvotefleksibilitet

Lerøy Havfisk AS benytter allerede i dag prinsipper som kan legges til grunn for «full» redskap og kvotefleksibilitet med fordelaktig resultat. Og mener potensialet for redusert CO₂ ved å kunne anvende «full» redskap og kvote fleksibilitet er betydliger og burde vært utprøvd enda mer gjerne over flere år 2-4, for å skaffe til veie mer kunnskap om effektene av ordningen, og for å fange opp variasjoner av naturgitte forhold som påvirker biomassen. Lerøy Havfisk AS vil være positiv til å delta i et slikt prosjekt.

7.4 Investeringenes størrelse /kostnytte

Innen dette temaet er det også vanskelig å gi gode konkrete svar, det nærmeste man kan komme en tilnærming på dette stadiet er å ta i bruk sammenligninger fra da LNG motordrift ble introdusert.

En komplett LNG pakke for stor ferge, eller et mindre lasteskip med størrelse som kan sammenlignes med en + 80 mtr tråler, hadde for rundt 10 år tilbake i tid en ekstra investeringsverdi på +100 millioner i forhold til en tilsvarende med konvensjonell motor og diesel.

Det kommer nok ytterligere komponenter til her i et Ammoniakk prosjekt som sikkert nok vil medføre at pris økningen vil bli større. Da tenker vi blant annet både på ARMS uniten og annen ekstraordinær og ny SCR teknologi, men også at dobbelveggende-vacumerte-rør med heating mellom tank og maskinrom nok vil bli dyrere enn ved LNG.

Tankløsningen med 2 tanker kontra 1, vil også gjøre det dyrere.

Om man nøkternt antyder at en Dual-fuel pakke her vil dreie seg om en størrelsesorden omkring 150 millioner som ekstra kostnad kontra en konvensjonell båt, så er nok det det beste vi kan anta her.

En konvensjonell nybygget tråler av den størrelse vi beskriver har ved siste leveringer passert en pris på over 600 millioner, så da snakker vi om en ny investering med Ammoniakk på 750 millioner?!

Man må anta at forskjellige støtte-tilskuddsordninger vil kunne tre inn. Både for nybygg generelt, men også for anvendelsen av ny teknologi med tilhørende utslippsreduksjoner.

Om man ser den ekstraordinære investeringen i sammenheng med et eksempelvis reduksjons resultat for samme fartøy på ca - 25%, så virker nok oppnåelsen "liten" i forhold til kostnaden.

7.5 Et bilde for mulig forbruksreduksjon innen 2030;

Som før beskrevet før var mengden CO₂ produsert av Havfisk i 2019 på **94.587 tonn**.

En ny tråler med 50-50% Dual fuel, med et driftsmønster slik det er i dag vil kunne bidra på fartøybasis med en reduksjon på 25% av sitt eget forbruk, men dette utgjør dog bare 3,6 % av Lerøy Havfisk flåten sitt totalutslipp med 2019 tall.

Rederiet skulle gjerne fornyet seg med 2 fartøy innen 2030, i så fall ville reduksjonen kunne bli 7,2 %

Legger vi inn et mulig potensiell i reduksjon på ca 4 % fra Redskapsfleksibilitet og en mulig reduksjon på ca 4 % fra Kvotefleksibilitet, så vises det at her er like store og større potensial for reduksjon enn fra Ammoniakk teknologien. (Disse verdiene er beregnet ut fra trål-tauetiden på hele flåten)

Oppsummert kan vi se et mulig bilde som totalt kunne gi en reduksjon stor;

7,2% + 4 + 4% = 15.2% dette tilsvarer 14.377 tonn CO₂ (av 94.587 tonn)

Med full tilgang til bunkringsfasiliteter ved behov, også i sjøen, vil reduksjonen kunne økes betraktelig.

7.6 Hva gjør vi fremover?

Flåten består i dag av 10 fartøyer, dette er også en operasjonell situasjon som normalt ikke har vært vanlig.

Lerøy Havfisk var godt i gang med et program for flåtefornyelse, regulatorisk kan man da under den tiden man har ett nytt fartøy under bygging, fordele kvotene til dette fartøyet på de resterende i rederiet. Dette medfører også mere rasjonelt og effektivt fiskeri på disse båtene, (Nybyggingsordningen).

Vi har fått mye ny kunnskap underveis i ammoniakk-piloten, men fremdeles er det mye testing og utvikling som må pløyes før noen eventuelt er klar til å levere en ammoniakk-motor med tilhørende systemer ut til et kommersielt marked.

Lerøy Havfisk kan ikke i dag gi et klart svar på om det er ammoniakk som blir et valgt alternativ når vi skal bygge nye fartøyer, I forhold til at vi pr. dato heller ikke kan tidfeste når vi vil gå inn I et nytt prosjekt, så har vi også mere tid til å følge den tekniske utviklingen enda flere skritt videre før man tar en beslutning.

Dersom man I fortsettelsen beholde samme antall fartøy og operasjonsmønster er det helt klart at man vil ha et mål om å fornye seg med 2 nye fartøyer innen 2030.

--O--