

Blåvinge



Ammoniakkdrevet ankerhåndteringskip

til installasjon og drift av flytende havvindturbiner

En pilotstudie i Grønt Skipsfartprogram



Sammendrag

Denne pilotstudien har utredet muligheter og barrierer for å kunne realisere nullutslippsløsninger for installasjon og drift av flytende havvindturbiner. Teknisk og økonomisk gjennomførbarhet for utviklingen av et ammoniakk-batteri-hybrid AHTS (nybygg) og nødvendige bunkringsløsninger har blitt vurdert.

Skipsdesign

Det er utarbeidet et innovativt skipskonsept:

- Motorkonfigurasjon med seks ammoniakkdrevne dual fuel motorer
- Batteripakke (15 000 kWh) for å booste fremdrift og for strategisk lasting av maskinene
- Inntil 300T bollard pull
- 70-100 % CO₂-reduksjon sammenlignet med et konvensjonelt fartøy på MGO (avhengig av mengde og type pilotdrivstoff)
- 300 m³ NH₃-kapasitet muliggjør fem dagers «nullutslippsoperasjon»
- Fleksibelt oppsett som skal kunne utnyttes som tradisjonelt AHTS-fartøy og møte «alle» behov i øvrige sektorer
- Høy innovasjonsgrad mtp. fremdriftsløsning og bruk av ammoniakk som drivstoff

Havn og logistikk

Det er utredet en flytende bunkringsløsning med kapasitet på 1 000 m³ med minimal risiko for eksisterende bygninger eller infrastruktur. Risikoanalyse har blitt gjennomført med akseptable resultater for både sikkerhet og lukt. Ammoniakk leveres med skip hver 2-4 uke basert på etterspørsel. Nettkapasitet er en utfordring for lading/landstrøm.

Verdikjede for ammoniakk

Et bunkringsanlegg i Karmsund Havn kan motta grønn ammoniakk med skip fra Yara på Herøya. Et tilsvarende bunkringsanlegg for ammoniakk i Florø har fått godkjenning fra Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB). Dette er en milepæl for ammoniakk som drivstoff og kan bygges videre på for Karmsund som bunkringslokasjon. Risikoen er lavere for den nedkjølte løsningen med lavt trykk. Ved en eventuell lekkasje har man tid til å reagere og forflytte seg uten konsekvenser for liv/helse.

Rammebetingelser og virkemidler

Det finnes flere aktuelle støtteordninger som bidrar til å redusere investeringsbarrierene gjennom blant annet EUs hydrogenbank, Horizon Europe og Enovas program for «ammoniakk i fartøy». Imidlertid vil ikke CO₂-avgift og EU ETS være tilstrekkelig for å gjøre ammoniakk konkurransedyktig som drivstoff. Det er derfor nødvendig med differansekontrakter eller tilsvarende mekanismer for å gjøre energikostnadene akseptable. Et felles klimakrav til offshoreskip er utredet i flere omganger av Sjøfartsdirektoratet, men foreløpig ikke behandlet av regjeringen. Dette kan bli viktig for attraktiviteten til alternative drivstoffløsninger.

Finansiering

Det er beregnet en merkostnad på ~380 MNOK sammenlignet med et konvensjonelt skipskonsept. Dette tilsvarer en økning i nødvendig dagrate på ~15 % for å dekke investeringene. Fleksibel bruk og gode muligheter for anvendelse i andre segmenter er avgjørende for finansiering. Grønn finansiering er mulig. Dagens rabatt ligger på opptil 10 basispunkter. Reduserte utslipp vil i seg selv ikke være et vilkår som gir god tilgang på fremmedkapital. Også «grønne» investeringer krever sannsynliggjort gjeldsbetjening og en viss forutsigbarhet med hensyn til fremtidig verdi og omsettelighet som med god margin dekker gjelden, for å tiltrekke seg fremmedkapital. Et nullutslipps AHTS må altså forholde seg til de samme finansieringskravene som konvensjonelle AHTS.

Med et skip som er vesentlig dyrere enn sine konkurrenter, og som er gjenstand for teknologirisiko, så vil det være vesentlig for en långiver å vite at inntektene i en lengre periode er sikret gjennom kontrakt med en sterk motpart. Dersom dette ikke er tilfellet, vil finansiering være vanskelig å få til innenfor akseptable rammer.

Funn og veien videre

Ingen store tekniske barrierer har blitt identifisert for skipsdesign, havn/logistikk eller verdikjeden for ammoniakk. Imidlertid har det blitt identifisert manglende forutsigbarhet og rammevilkår for ammoniakk som drivstoff. Det er behov for målrettede mekanismer/støtteordninger som sikrer både investeringsstøtte og reduserer energikostnadene i driftsfasen. Videre er det behov for mer attraktive finansieringsvilkår for utslippsfrie offshorefartøy.

Blåvinge



Pilotdeltagere

Blåvinge



Andre bidragsytere:

Amon Maritime, Azane Fuel Solutions, Karmsund Havn

Innhold

Introduksjon.....	6
Skipsdesign.....	10
Havn og logistikk.....	17
Verdikjede for ammoniakk.....	22
Rammebetingelser og virkemidler.....	29
Finansiering.....	35
Funn og veien videre.....	40
Vedlegg 1.....	41
Overall Single Line Diagram.....	41
Vedlegg 2.....	42
Ammonia properties and risks.....	42
Properties: overall.....	42
Ammonia properties: focus on toxicity.....	44
Regulatory status for ammonia as fuel on ships.....	46
Current regulations.....	46
DNV Class evaluation of Blåvinge concept ammonia fuelled AHTS.....	52

Introduksjon

Bakgrunn

Kraft fra vindturbiner til havs skal bidra til å øke den samlede energiproduksjonen i Norge. Landets energibehov vil i 2050 være om lag det dobbelte av hva det er i dag, ifølge DNVs Energy Transition Outlook. Regjeringens ambisjon er at det skal produseres nesten like mye ny kraft fra havvind som det i dag produseres fra vannkraften i Norge. Det vil bety om lag 1 500 havvindturbiner i løpet av de neste 20 årene. Det første området for havvind, Sørliche Nordsjø II, ble tildelt Ventyr i 2024. NVE har identifisert 20 mulige områder som kan være aktuelle for havvind langs den norske kysten, inkludert Utsira Nord.



Fred. Olsen Seawind og Hafslund etablerte Blåvinge som et langsiktig partnerskap for å bidra til utviklingen av en norsk havvindindustri. Blåvinges mål var å utvikle havvind i Norge til å bli en langsiktig og bærekraftig industri.

For at ny energi skal produseres så bærekraftig som mulig, må også installasjon og drift av havvindturbiner være utslippsfritt. Installasjon, drift og vedlikehold av havvindparkene krever omfattende bruk av offshorefartøy og særlig ankerhåndteringsskip (AHTS). Offshoreflåten generelt, og ikke minst AHTS, har høyt forbruk av drivstoff. For norsk innenriks shipping kommer nær en fjerdedel av klimagassutslipp nettopp fra offshoreflåten. Utslippene fra disse fartøyene må reduseres. Stortinget har bedt regjeringen fremme krav om lavutslipp til offshorefartøy med sikte på innføring fra 2025 og at dette skal resultere i nullutslipp fra de samme skipstypene i 2029. På bakgrunn av dette er det ventet en økt etterspørsel etter nybygg i dette segmentet, hvilket skaper nye muligheter. Vil kommende offshorefartøy, og særlig ankerhåndteringsskip, kunne bruke grønn ammoniakk som energibærer til maritime operasjoner? Og vil disse kunne utføre de operasjonene som kreves ved installasjon av flytende havvindturbiner?



Blåvinge ønsker å utforske grønn ammoniakk som energibærer i havvindoperasjoner på bakgrunn av at:

- Norge har særlig gunstige forutsetninger for produksjon og distribusjon av grønn ammoniakk
- Drivstoffet fremstår lovende for AHTS-segmentet, grunnet egenskaper som høyere energitetthet og enklere lagring enn flere av drivstoffalternativene

Gjennom dette pilotprosjektet vil deltakerne søke å gripe muligheten det grønne skiftet representerer for norske leverandører ved å:

- Utvikle grønne løsninger med stort potensiale for eksport til det globale havvindmarkedet
- Redusere utslipp fra fartøygruppen som står for den største utslippsposten i norske farvann
- Utvikle infrastruktur for grønt drivstoff som også vil komme andre næringer til gode

Ambisjonen er at utslipp fra de maritime operasjonene for utbygging og drift av Utsira Nord og flytende havvind generelt skal reduseres til et minimum.

Vinteren 2024 ble det besluttet at Blåvinge ikke ønsket å delta i konkurransen om areal for flytende havvind på Utsira Nord beregnet for det norske kraftmarkedet. Blåvinge anser imidlertid arbeidet og resultatene fra piloten som svært relevant og overførbart for nye, fremtidige utlysninger for flytende havvind i Norge.

Målsettinger

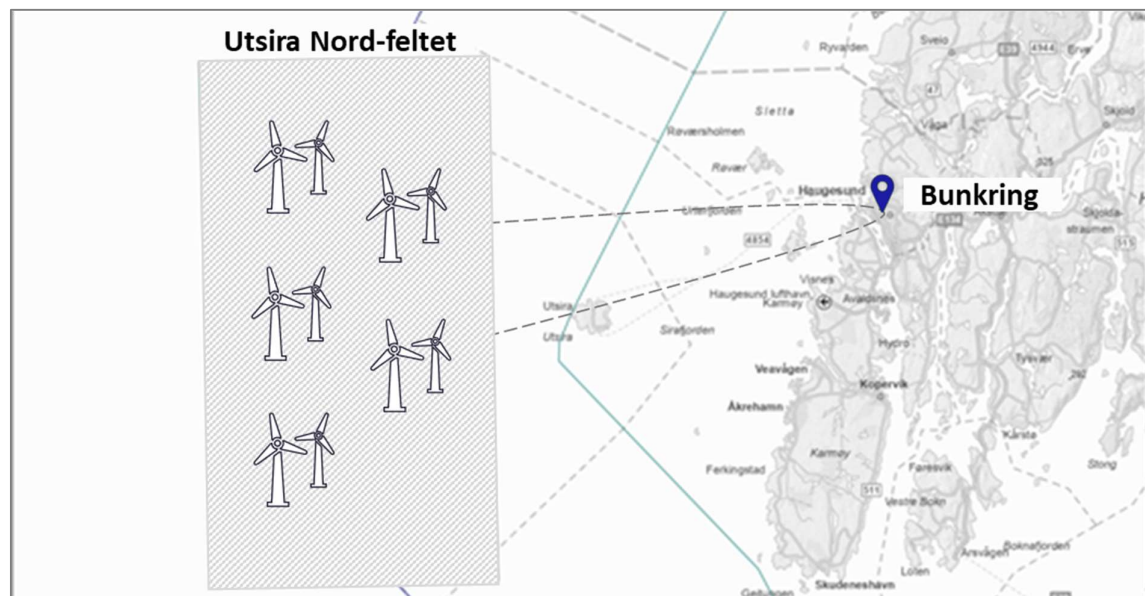
Målet for pilotstudien er å vurdere teknisk og økonomisk gjennomførbarhet for utviklingen av et ammoniakk-batteri-hybrid AHTS og nødvendige bunkringsløsninger. Pilotstudien tar for seg skipsteknologi og -design, bunkringsystem i havn og tilgjengelighet av drivstoff. Videre har pilotstudien som mål å vurdere rammebetingelser for realisering og muligheter for finansiering, samt å identifisere barrierer og risikoreducerende tiltak.

Det endelige målet med piloten er å realisere nullutslippsløsninger for installasjon og drift av flytende havvindturbiner på Utsira Nord. Dette kan oppnås ved å etablere lokale verdikjeder for ammoniakk som muliggjør ammoniakk-batteri-hybride ankerhåndteringsskip i installasjons- og driftsfasen av en havvindpark. Piloten søker også å tilgjengeliggjøre teknologien for ytterligere bruk og anvendelse i norsk og internasjonal offshorenæring.

Piloten kan legge et grunnlag for å videreutvikle og styrke Norges fordelaktige posisjon og dermed bidra til å skape et marked for grønn ammoniakk. Piloten kan også bidra til å realisere politiske mål ved havvindsatsningen og dermed det pilotdeltakerne vurderer som store muligheter for eksport av norsk teknologi.

Beskrivelse av pilot-case

Arbeidet i pilotstudien tar utgangspunkt i et fiktivt, men realistisk, case for installasjon av en flytende havvindpark på feltet Utsira Nord, med bunkring i Karmsund Havn.



Figur 1: Pilot-caset ser på et AHTS (nybygg) med operasjon mellom Utsira Nord og Karmsund havn[^]

Tabell 1: Overordnede forutsetninger for pilot-caset

Installert kapasitet	500 MW
Turbinstørrelse	15 MW
Antall turbiner	34
Antall mooring lines	102
Antall lokasjoner for inshore mooring	8
Antall inshore mooring lines	80
Lokasjon for inshore mooring	Antatt å være 26 timer transit fra mobiliseringsbase

Skipet som designes i pilotstudien tar utgangspunkt i spesifikasjonene for fartøyet Skandi Iceman – en tradisjonelt designet AHTS med flere bruksområder. Ettersom markedet for et slikt skip er for lite i Norge alene for at fartøyet kan operere lønnsomt, er det en forutsetning at skipet er egnet til å operere også i andre markeder. Dette tas derfor høyde for i studien.

Arbeidsstrømmer

Pilotstudien er strukturert i 6 arbeidsstrømmer som utforsker ulike problemstillinger i caset:

- Verdikjede for ammoniakk
- Havn og logistikk
- Skipsdesign
- Rammebetingelser og virkemidler
- Finansiering
- Sammenstilling og rapportutarbeidelse

Rapporten er strukturert etter disse arbeidsstrømmene.



Figur 2: Oversikt over arbeidsstrømmene i pilotstudien, fokusområder og fordeling av pilotdeltagere

Skipsdesign

- Designet tar utgangspunkt i spesifikasjonene for fartøyet Skandi Iceman – en tradisjonelt designet AHTS med flere bruksområder.
- Det er utarbeidet et innovativt konsept for fremdriftsløsningen med ammoniakkdrevne dual fuel-motorer og batteripakke som fører til 70-100 % CO₂-reduksjon sammenlignet med et konvensjonelt fartøy på MGO (avhengig av mengde og type pilotdrivstoff).
- Skipet skal kunne utnyttes som tradisjonelt AHTS-fartøy og møte «alle» behov i øvrige sektorer.



Referansefartøy

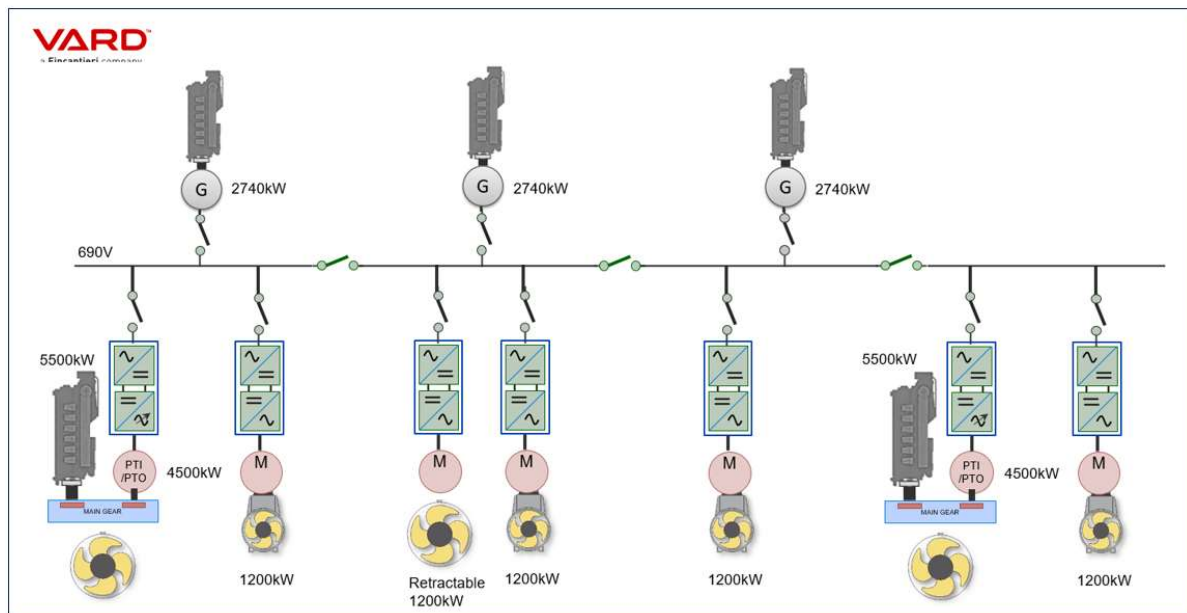
Selv om fokuset i denne piloten har vært på å utvikle et fartøyskonsept som er godt egnet for installasjon av flytende havvind på norsk sokkel, har vi samtidig hatt fokus på at skipet skal ha fleksibilitet som sikrer et stort arbeidsmarked. Deltagerne i arbeidsstrømmen har innledningsvis brukt en del tid på å kombinere dette funksjonskravet med høye ambisjoner for utslippskutt.

Som et utgangspunkt valgte vi en typisk tradisjonell AHTS, «Skandi Iceman» som referanse. Noen argumenter for dette valget er listet opp under:

- Under slep og hook-up av flytende vindturbiner, kreves det typisk 2-3 av disse fartøyene. Her vil reduksjon i utslipp være betydelig.
- Slike fartøy er mye brukt innenfor olje- og gass-sektoren både i Nordsjøen og ellers i verden. Det er derfor potensial for god utnyttelse innenfor andre offshore sektorer.
- På Hywind Tampen var det 4 fartøy av denne typen i operasjon under slep og hook-up fasen.

Tabell 2: Spesifikasjon Skandi Icecman (referansefartøy)

Description	Value
Built	2013
Class	✘ 1A1 Fire fighter(I, II) Offshore service vessel(AHTS) SPS Clean(Design) COMF(C-3, V-3) DK(+) DYNPOS(AUTR) E0 HL(2.8) Ice(1B) NAUT(OSV(A)) OILREC Recyclable SF TMON Winterized(Basic)
DP Class	II
Length Overall	93,6m
Main Deck Space	800 sqm
Breadth	24m
Design Draft	7.8m
Anchor Handling Frame	300Te @ 90 Degree engagement angle
Maximum Speed	18.5 Knots (12 Knots Economic transit)
Accommodation	45 Personnel
Bollard Pull	319 Te
ROV System	1 x ROV Systems
Anchor Handling Frame	Integrated 300 AH frame



Figur 3: Energi- og propulsjonsoppsett Skandi Icecman (Single-line diagram fra VARD)

Nytt design

Etter en åpen og konstrutiv dialog mellom samarbeidspartnerene har vi konkludert med at spesifikasjonene til referansefartøyet er et riktig utgangspunkt, men at vi ønsker å sette opp energi- og propulsjonspakken med en helt ny filosofi.

VARD og DOF har stått for det overordnede konseptet, Wärtsilä har bidratt med ammoniakkmotorer og dimensjonering av propulsjon, Corvus har dimensjonert batteripakkene og ABB har laget tavleoppsett. DNV har gjennomgått sikkerhetsfilosofi og

arrangement fra VARD, samt laget notat om gjeldende regelverk og beste praksis (Vedlegg 2).

Det foreslåtte oppsettet gir fartøyet svært høy fleksibilitet, med en kontinuerlig trekraft på 200t og mulighet for boosting med 300t trekraft i opp til 30 minutters intervaller for de mest krevende oppdragene. Ammoniakkmotorene vil da produsere tilstrekkelig kraft for den kontinuerlige ytelsen på 200t bollard pull, mens batteriene vil tilføre supplerende kraft i boosting mode. Disse ytelsene er identifisert som optimale for at skipet skal være aktuelt for et bredt spekter av oppdrag, med minimale utslipp.

Videre følger en overordnet teknisk beskrivelse av det nye fartøyskonseptet.

Kortspekk

VARD 2 16 Anchor Handling and Installation Vessel - Main particulars		
LOA	Length Over All	99.8 m
LPP	Length Between Perpendiculars	92 m
	Breadth	25 m
	Depth to Main Deck	9.8 m
	Design Draught	6.5 m
	Max Draught	7.8 m
Capacities (approx figures)		
	Fresh Water	1000 m ³
	Fuel Oil - Marine Gas Oil	1100 m ³
	Ammonia Fuel in C-tanks	300 m ³
	Rig Chain	2400 m ³
	Cargo Deck Area	800 m ²
	Accommodation	80 Persons
Power Generation & Energy Storage		
	6 x Wärtsila 9L25 Ammonia 2520kW	15120 kW
	Energy Storage System - Corvus Blue Whale	15000 kWh
Propulsion		
	2 x Ø 4.9m Main propellers 9500kW	19000 kW
	Bollard Pull	220/300 Ton

Arrangement

VARD 2 16 er designet for taugeoperasjoner og håndtering og installering av ankere og ankerliner for offshore installasjoner. Fartøyet er utstyrt med to taugevinsjer med 500t bremsekraft, spesialhånderings vinsj, sekundærvinsjer med stor kapasitet for fiber/polyester tau, samt kjettingkasser for ankerkjetting opp til Ø 220mm.

Kraftgenerering skjer ved hjelp av 6 stk Wärtsila dual fuel ammoniakkmotorer på 2520 kW hver, og kan suppleres med opptil 7500kW fra batterier. Kraft til de to Ø4.9m propellene leveres via 4 stk gearmonterte elektromotorer på 5000kW hver.

Ammoniakk-kapasiteten på 300 kubikkmeter er fordelt på to C-tanker på 150 m³ og gjør det g

mulig for fartøyet å operere på ammoniakk alene i opptil 5 dager.¹

Et eget ARMS rom (Ammonia Release Mitigation System) er arrangert, med ventilasjonsmast og bunkringsstasjon nær hekken av skipet. Dette gir god avstand fra skipets innredning og bidrar til økt sikkerhet under operasjon.



Figur 4: Render av fartøyskonseptet utviklet av VARD og DOF

Kraftelektronikk

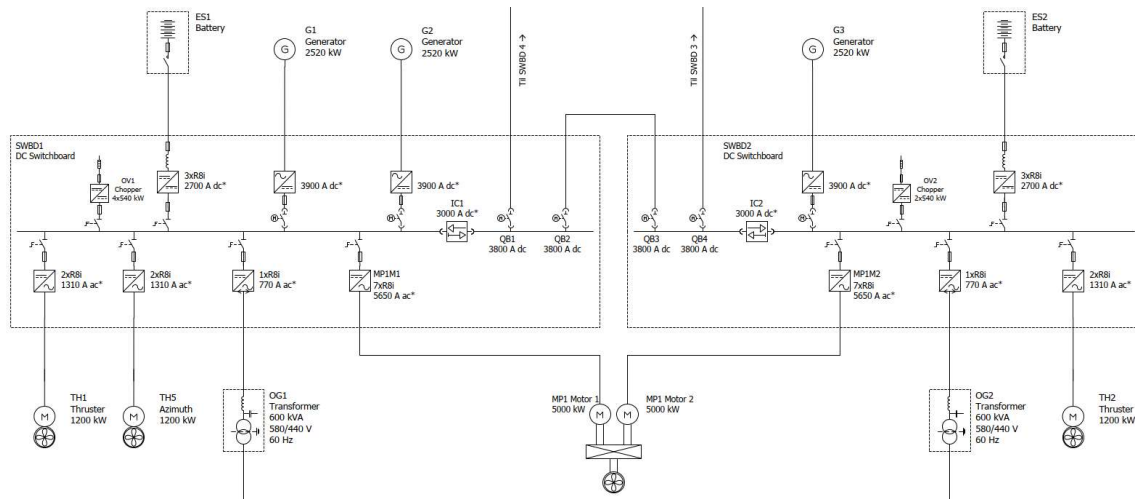
Gitt den høye batteri- og fremdriftseffekten som kreves, er det valgt en 1000V DC-løsning som gir høyere virkningsgrad og lavere fotavtrykk sammenlignet med tradisjonelle AC-løsninger.

Tavleløsningen er basert på ABB's Onboard DC-grid og består av fire vannkjølte tavler koblet med kortslutningsbegrensende kretser inn mot et stjernepunkt.

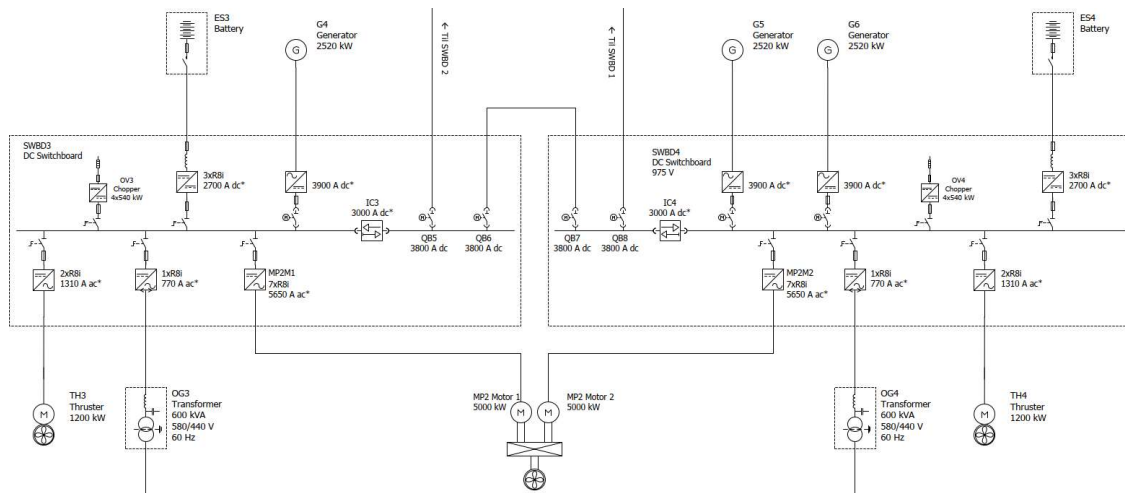
Hver tavle har DC til AC omformer for thruster-motor(er), PTI motor, og AC 440V distribusjon. DC til DC omformer for batteri har en kapasitet på 2000 kW, totalt ca 8000 kW, generatoren er tilkoblet med en høy-effektiv AC til DC omformer.

Tavlene er likt oppbygd med unntak av tavle én og fire som har to generatorer, tavle én har også den femte thrusteren (azimuth).

¹ Kai-til-kai operasjon i henhold til forbruksberegninger basert på estimert driftsprofil.



Figur 5 Single-line diagram fra ABB (SWBD1-2), se Vedlegg 1 for større format



Figur 6 Single-line diagram fra ABB (SWBD3-4), se Vedlegg 1 for større format

Batteripakker

Batteriløsningen som er valgt er LFP batterier med typebetegnelse Blue Whale 1380-V1 . Det er to identiske systemer, hvert system med en total energi på 7267 kWh.

Batteripakkene er dimensjonert for 10 års levetid med følgende hovedparametere for drift. Tallene er basert på total bruk per år fordelt utover i gjennomsnittlige verdier per dag.

Tabell 3: Hovedparametere for drift (load profile)

Route / Cycle description	Power (kw)	Duration (minutes)	Energy (kWh)	Cycles (per day)
Tensioning Offshore	6460	40	4307	2
Tensioning Inshore	6460	40	4307	4
Peak shaving	1400	0.16	3.7	4000

Blue Whale-batteriene vil være av nyeste modell, med omfattende Remote Monitoringssystem, typegodkjent i henhold til Cyber Security regelverket. Videre vil de ha markedets høyeste sikkerhetsnivå, med Passive Single Cell Thermal Runaway Protection.

Kjølingen av batteriene vil være "Forced air cooling".

På grunn av batterienes høye sikkerhetsnivå, kan begge systemene arrangeres i et rom om ønskelig, men av praktiske årsaker og ekstra redundancy så blir de her fordelt på to rom.

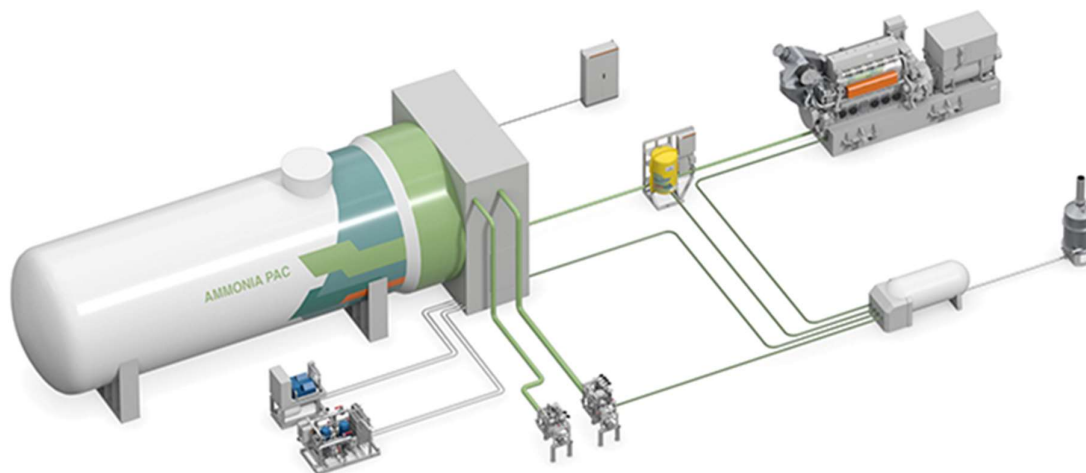
Ammoniakkssystem

Ammoniakksystemet (FGSS) er et helautomatisk system som kan konfigureres for både nedkjølt eller fullt trykksatt ammoniakk ved å bruke Type-C enkeltskallstanker og ammoniakkutslipp fra normal drift elimineres.

Systemet er fullt integrert med Wärtsilä ammoniakkmotorer, som maksimerer sikkerheten i maskinrommet og drivstoffhåndteringsrommet.

Skreddersydde og fartøysoptimerte design møter både operasjonelle og regulatoriske behov.

Skipet er utstyrt med 6 x 9W25DF Ammoniakk genset. Hver motor har en effekt på 2520kW ved 900rpm. Motorene er dual fuel og kan bruke både ammoniakk, MDO og biodiesel som drivstoff.



Figur 7 Prinsippsskisse av ammoniakksystemet med tank og integrert TCS, GVU, hjelpesystemet (kjøling) og W.A.R.M.S (Wärtsilä Ammonia Release Mitigating System)

Propulsjon

Ut fra ønsket egenskap på ca. 300 tonn Bollard Pull er det installert 2 twin input / single output gir.

Maksimal tilgjengelig power på hver propeller aksel er 9.5 MW. Med 2 x Ø4.9m propeller med Wärtsiläs HP dyse vil man med god margin klare 300 tonn Bollard Pull.

Drivstoff og utslippsberegninger

Basert på operasjonsprofil fra DOF og Blåvinge har VARD beregnet drivstoff- og utslipp med basis i valgte motorkonfigurasjon og forbruksdata fra Wärtsila. Utslippsreduksjonene er beregnet basert på drivstofforbruk for det foreslåtte designet og sammenlignet med "MGO Base Case", som er en MGO-versjon av samme fartøy, men med et mer tradisjonelt motoroppsett, lignende Skandi Ice-man.

Følgende operasjon inngår i analysen:

Operational mode	Days in mode
Prelay Inshore Mooring	32.3
Decommissioning Inshore Mooring	27.3
Prelay Offshore Mooring	95.5
TOW & Hook-up	101.3

Beregnete verdier på drivstofforbruk og utslipp:

	Totals NH3+MGO	Totals NH3+BioMGO*
NH3 CONSUMPTION[t]	10,034	10,034
MGO(bio) CONSUMPTION[t]	1,821	1,821
CO2 emissions [t]	5,614	3,368
MGO BASE CASE CO2 EMISSIONS [t]	19,220	19,220
CO2 emission reduction [t]	13,606	15,851
CO2 emission reduction [%]	71%	82%

*BioMGO er antatt å oppfylle krav til minimum 60% GHG reduksjoner

Sikkerhet og regelverk

Som en del av denne pilotstudien har klassifikasjonsselskapet DNV gjennomgått Blåvinge-konseptet ammoniakkdrevet AHTS basert på arrangementstegning og sikkerhetsfilosofi fra VARD. En detaljert teknisk gjennomgang av ammoniakkbrenselssystemet er ikke utført. Gjennomgangen er utført basert på DNVs ammoniakkegler i DNV RU-SHIP Pt.6 Ch.2 Sec.14. Det erkjennes at skipet også er underlagt en alternativ designprosess i henhold til SOLAS regel II-1/55 (ref. også IGF 2.3 og MSC.1/Circ.1455) og underlagt flaggodkjenning. Denne prosessen kan føre til ytterligere krav. DNVs gjennomgang har imidlertid ikke oppdaget store utfordringer, sett i lys av DNVs klasseregler, som DNV mener ikke kan løses gjennom teknisk design og tiltak.

Mer utfyllende informasjon om ammoniakk og relevante reguleringer finnes i Vedlegg 2.

Havn og logistikk

- Sikkerhet og utvikling av regelverk er viktige forutsetninger for ammoniakkbunkring.
- Nettkapasitet er en forutsetning for batterilading. Nettkapasitet, mangelfull standardisering og lav etterspørsel etter lading er barrierer i dag.
- Viktig med tidlig og tydelig kommunikasjon og informering av lokalbefolkning.



Karmsund Havn IKS forvalter et av landets største og mest trafikkerte havneområder, og samarbeider tett med regionens tyngste aktører innenfor all maritim virksomhet. Havneområdet har over 40.000 skipsanløp årlig og har flere terminaler for å håndtere ulike laster: Ro-ro, container, tørr- og flytende bulk, stykk gods og fiskeri. Havnen har ISPS-sikring og all nødvendig infrastruktur som inkluderer kraner, transportutstyr og lagring.

I 2026 vil utbyggingen av ny kai være ferdig, og i areal vil godsterminalen på Husøy bli Norges største. Det er planlagt 1,6 kilometer med kai hvor det vil tilbys landstrøm og batterilading samt drivstoff som LNG, hydrogen og ammoniakk.

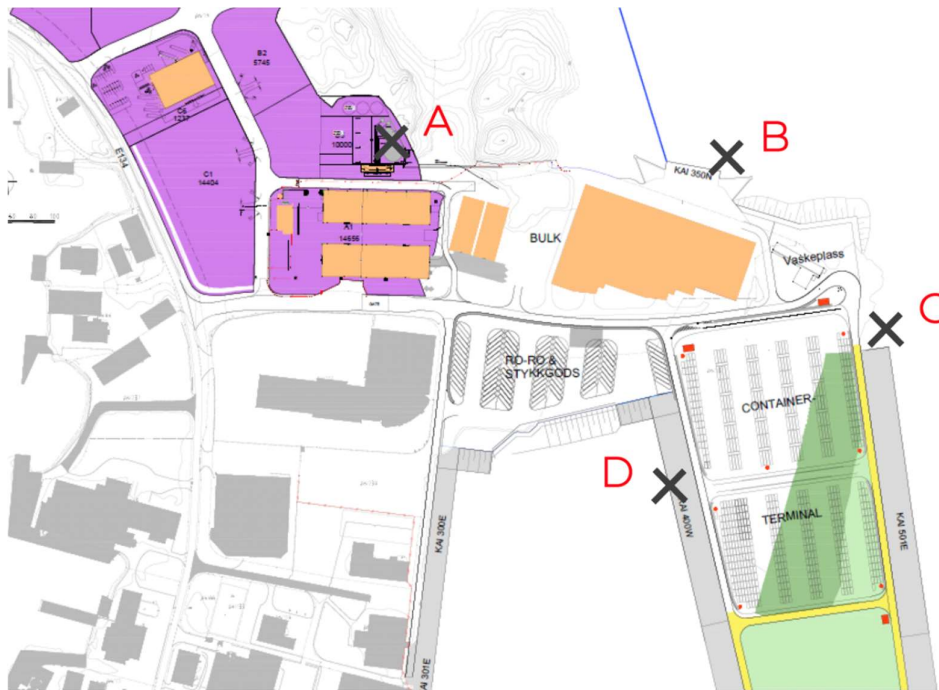
Bunkringsløsninger i havna

Etter en studie utført for Karmsund Havn er det to lokasjoner i havna som egner seg for bunkring. Karmsund Havn sine forutsetninger for en god lokasjon er tilgjengelighet for skip og lastebil, HMS, risiko for ansatte og operatører, tredjeparts risiko og behov for utvidelse av infrastruktur og annet arbeid på land og i sjø.

Lokasjon A: Terminal i forbindelse med planlagt bulkterminal: dette er en god løsning, men mindre fleksibel og trenger et betydelig rørnett.

Lokasjon C: Flytende terminal som utvidelse av containerkaien: dette kan være utfordrende gitt den store aktiviteten på terminalen. Likevel den beste løsningen i havna da denne

lokasjonen ligger et stykke unna områder med annen aktivitet eller kontorer. Det vil i tillegg være lavere kostnad sammenlignet med de andre alternativene for å klargjøre dette området.



Figur 8: Mulige bunkringslokasjoner i Karmsund Havn

Basert på bunkringsmarkedet i 2022 er potensialet hos Karmsund Havn betydelig, dette basert på sin strategiske plassering, samt det faktum at mesteparten av skipene som går til kai på Husøy er mindre skip som er mer sannsynlig å bli byttet ut med ammoniakk-drevne skip enn de større. Det er foreslått en frekvens på levering av ammoniakk med skip hver 2 - 4 uke, hvor terminalens kapasitet blir fylt opp ved hver levering.

Det er foreslått en flytende bunkringsløsning som en utvidelse av kaien. Denne vil være 1000 m³ og det er vurdert at denne størrelsen er tilfredsstillende med tanke på etterspørsel. Fordelen med flytende bunkringsløsning er at det er minimal risiko for eksisterende bygninger eller infrastruktur, det er lite arbeid som må gjøres med tanke på infrastrukturen i havna og i tillegg kan den flyttes ved behov.

Strøm/lade-løsninger

Havnekraft AS, et selskap eid av Karmsund Havn og Haugaland Kraft, skal etablere landstrøm på Husøy med strømuttak hver 100. meter på den nye kaien. På denne måten vil også alle havnekranner, maskiner og annet utstyr bli elektrifisert.

Nettinfrastruktur

Det er i dag mangel på nettkapasitet i havna, her er det flere prosjekter som foregår parallelt i påvente av utvidelse av kapasiteten. Disse prosjektene jobber mot økt utnyttelse av kraftnettet på Husøy ved løsninger som egenprodusert kraft fra solceller, batterilagring eller fleksible forbrukslaster.

Sikkerhet og regelverk

Det er gjennomført en risikoanalyse av lokasjonen og det er vurdert at både sikkerhet og lukt er på et akseptabelt nivå. I neste fase må det gjøres en ny vurdering for å bekrefte sikkerhetssonen og størrelsen på denne. Den største sikkerhetsrisikoen er den korte distansen til områder med høy aktivitet.

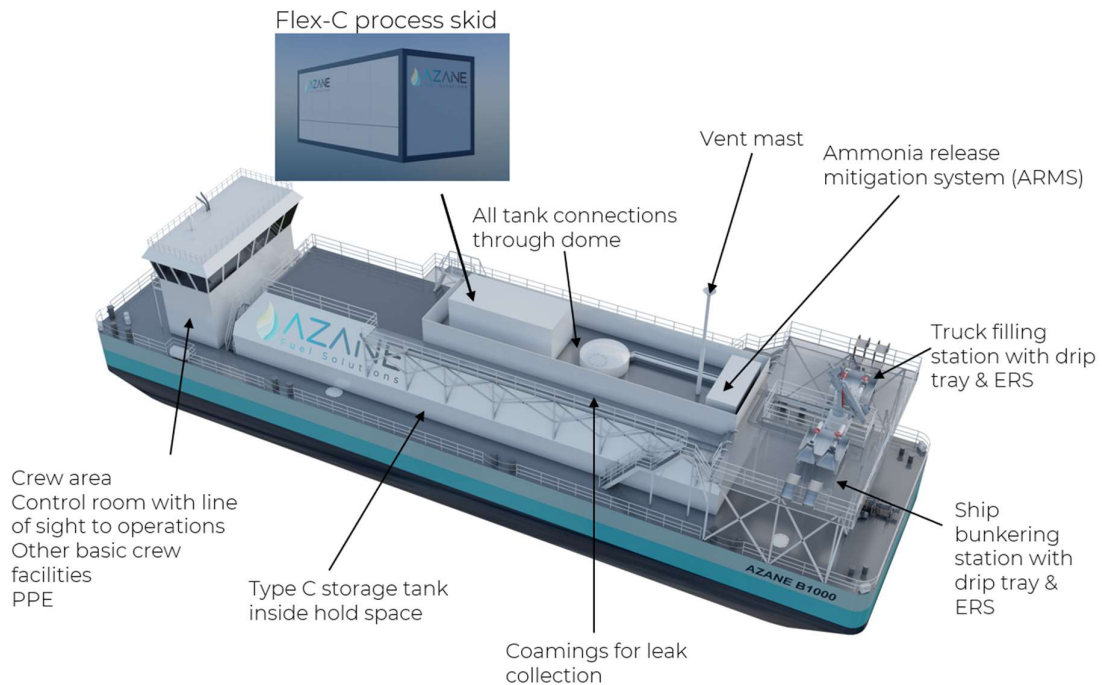
Det er vurdert at en oppføring av bunkringsløsning for ammoniakk i havna er mulig fra et teknisk og sikkerhetssynspunkt, men ytterligere risikovurdering kreves for å bekrefte sistnevnte.

Kommunikasjon

Det må foreligge en tydelig kommunikasjonsplan. Uten innspill fra næringen skaper lokalsamfunnet egne historier basert på opplevelser og bekymringer. Før eller parallelt med gjennomføring av næringssaker på nett bør man også sikte på almenbefolkningen som en målgruppe. Forebygging består av å gi informasjon tidlig og tydelig slik at lokalbefolkningen føler seg informert.

Ammoniakkbunkringsløsning

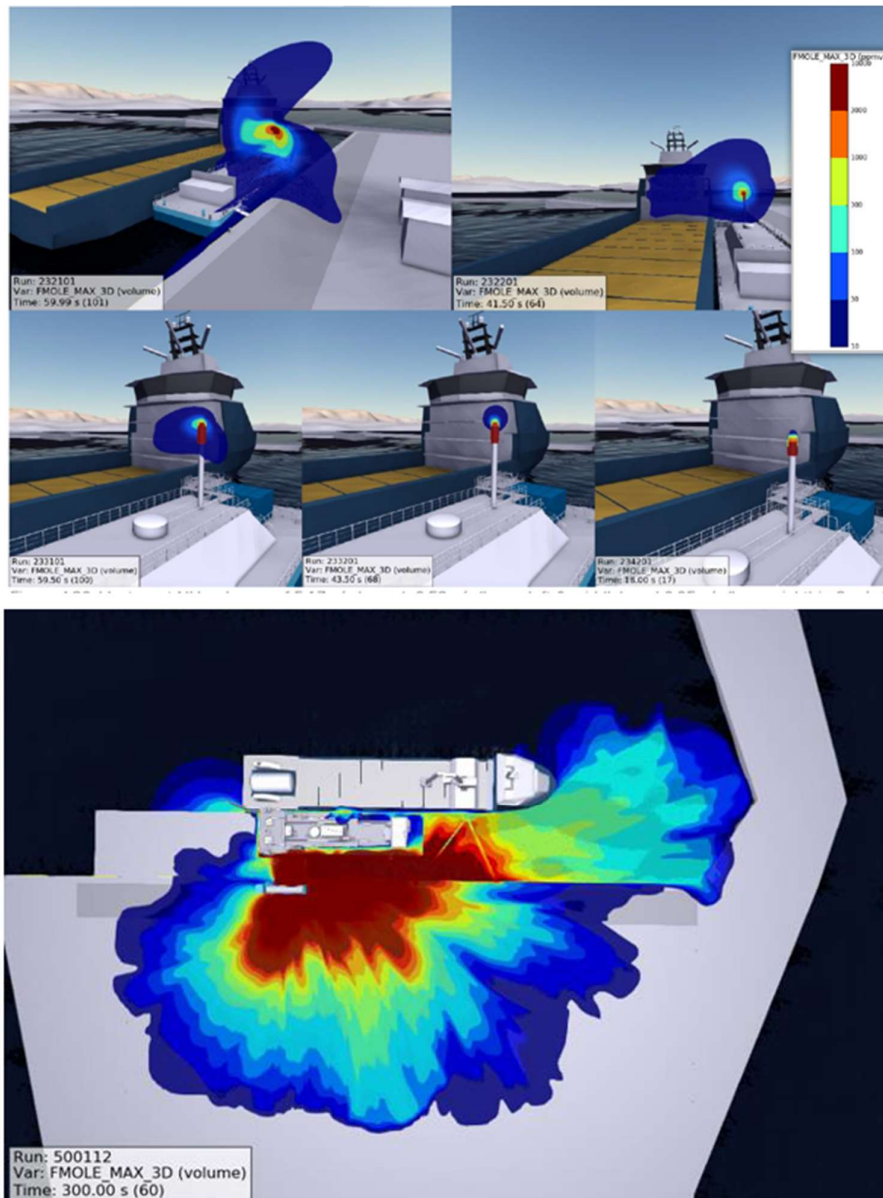
Azane Fuel Solutions har utviklet en 1000 m³ bunkringsleker designet for nedkjølt flytende ammoniakk ved -33°C. Et fleksibelt kjøle- og dampbehandlingssystem muliggjør effektiv lasting/lossing av ammoniakk. Ammoniakkforsyningen kommer fra skip. Lekteren er fortøyd/festet på bunkringslokasjonen. Den er ikke selvgående, men kan ved behov slepes/skyves til en annen lokasjon. Designet er modulært med containerbaserte hjelpesystemer og forskjellige konfigurasjoner av losse-/lastestasjoner avhengig av prosjektkrav. Forventet etterspørsel bør kartlegges for å identifisere best egnet størrelse, løsning og plassering. For å unngå over- eller underkapasitet på lokasjonen er det avgjørende med klarhet angående avtakere.



Figur 9: Ammoniakkbunkringsløsning fra Azane Fuel Solutions

Dette er en moden teknologi som kan bestilles i dag. Det grunnleggende designet er komplett og Approval in Principle (AiP) er mottatt fra DNV. Løsningen har også blitt godkjent av DSB, som følge av en risikobasert design-prosess inkludert HAZID og QRA. Anbud på verft har allerede blitt gjennomført.

Sikkerhetssonen for 1000 m³ er relativt liten, slik at løsningen enkelt kan implementeres på de fleste steder. Plassering i nærheten av bymiljøer krever stedsspesifikke risikovurderinger. Ved normal drift skal ammoniakklekkasje eller -utslipp til luft eller sjø ikke forekomme. Videre er risikoen for tredjeparter og operatører/mannskap minimert. For å håndtere luktproblemer, er en nitrogenseparator innebygd i prosesssystemet. Et vannbasert system brukes for å redusere ventilert ammoniakk under normal drift. På denne måten blir det ingen ammoniakklukt i bemannede områder eller områdene rundt terminalen.



Figur 10: Fra QRA-rapporten for Fjord Base (HyEx Safety)

En flytende stasjonær terminal kan være en kostnadseffektiv bunkringsløsning for offshore skip. Løsningen har fleksibelt og kostnadseffektivt prosessutstyr og høy grad av kompatibilitet mot ulike fartøyskonfigurasjoner.

Nødvendige trinn og aktiviteter før bestilling:

- Kartlegging av bekreftet etterspørsel for å konkludere på størrelse og konfigurasjon
- Anbud på verft i påvente av designendringer
- HAZID og QRA for spesifikk lokasjon
- DSB-søknad «Samtykke trinn 1» for spesifikk lokasjon

Verdikjede for ammoniakk

- Det er en utfordring at det er begrenset grønn kraft tilgjengelig for å produsere grønn ammoniakk.
- Godkjenningen fra DSB på søknad i Florø som bunkringslokasjon var en milepæl for ammoniakk som drivstoff, og gjør det enklere når nye lokasjoner skal gjennom tilsvarende prosess. Det ser lovende ut for ammoniakk på det regulatoriske området.
- Det er viktig med særlig fokus på sikkerhet.



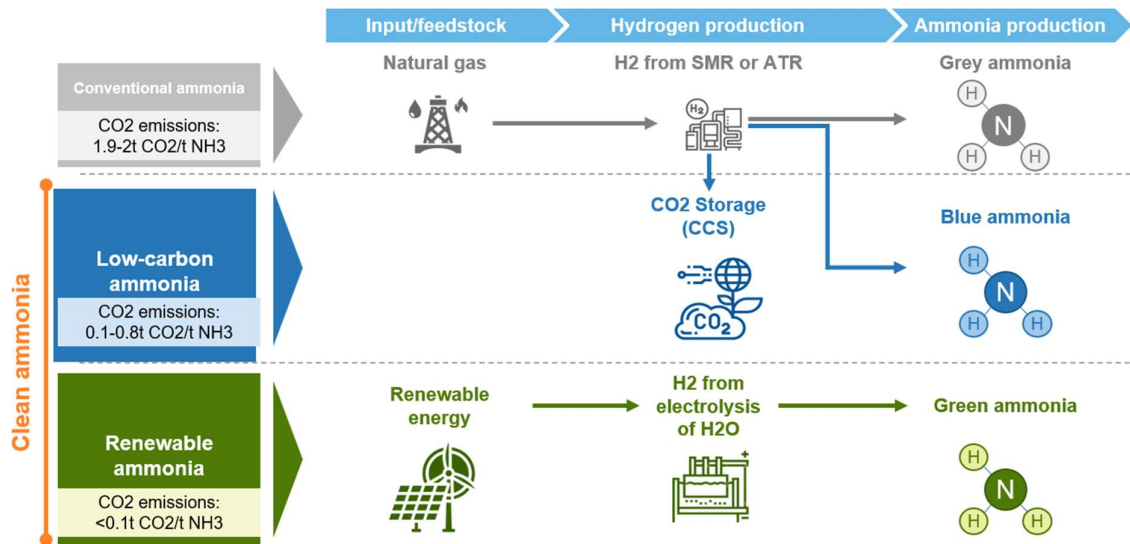
Ammoniakkproduksjon

Ammoniakk produseres ved hjelp av Haber-Bosch-metoden, der hydrogen kombineres med nitrogen fra luften. Ammoniakkmolekylet blir identisk uavhengig av om hydrogenet er grått, blått, eller grønt.

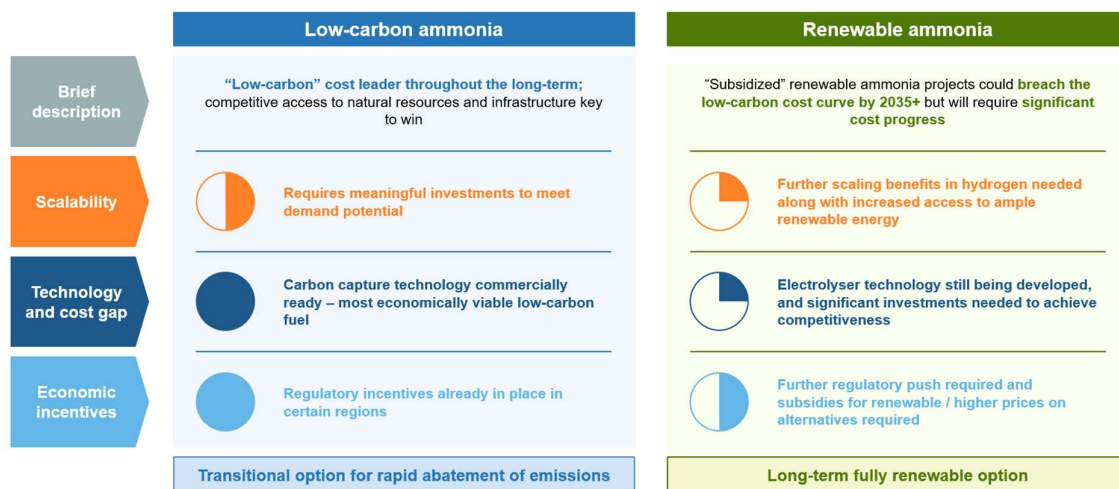
Grått hydrogen produseres basert på naturgass gjennom Steam Methane Reforming (SMR) eller Autothermal Reforming (ATR) og har høyt CO₂-utslipp. Gjennom karbonfangst og -lagring (CCS) kan grått hydrogen gjøres om til blått hydrogen. Opptil ~60-70% av CO₂-utslippet er naturlig tilgjengelig for karbonfangst i en typisk SMR-prosess i dag. Støtteordninger og ATR-teknologi forventes å redusere kostnadene ved karbonlagring betydelig og gjøre det mulig å øke fangstraten til over 90%.

Grønt hydrogen produseres basert på fornybar energi gjennom elektrolyse av vann. Elektrolysatorteknologien forbedres raskt men har behov for investeringer og økt kostnadseffektivitet for å bli konkurransedyktig. Investeringskostnaden forventes å synke med 60-70% innen 2040.

Lavkarbon ammoniakk basert på blått hydrogen vil være hovedfokuset på kort sikt før økonomien bedres for fornybar ammoniakk basert på grønt hydrogen. Yara Clean Ammonia har produsert fornybar ammoniakk på Herøya i Porsgrunn og lavkarbon ammoniakk i Sluiskil, Nederland. Volumene som kan gjøres tilgjengelige for Blåvinge er oppgitt i Tabell 5.



Figur 11: Ulike produksjonsprosesser for hydrogen og relatert karbonintensitet (indirekte utslipp/Scope 3 er ikke inkludert i verdiene). Kilder: Yara Clean Ammonia, Arkwright market study 2021, Fertilizers Europe Carbon footprint calculator, IRENA Innovation outlook: renewable ammonia.



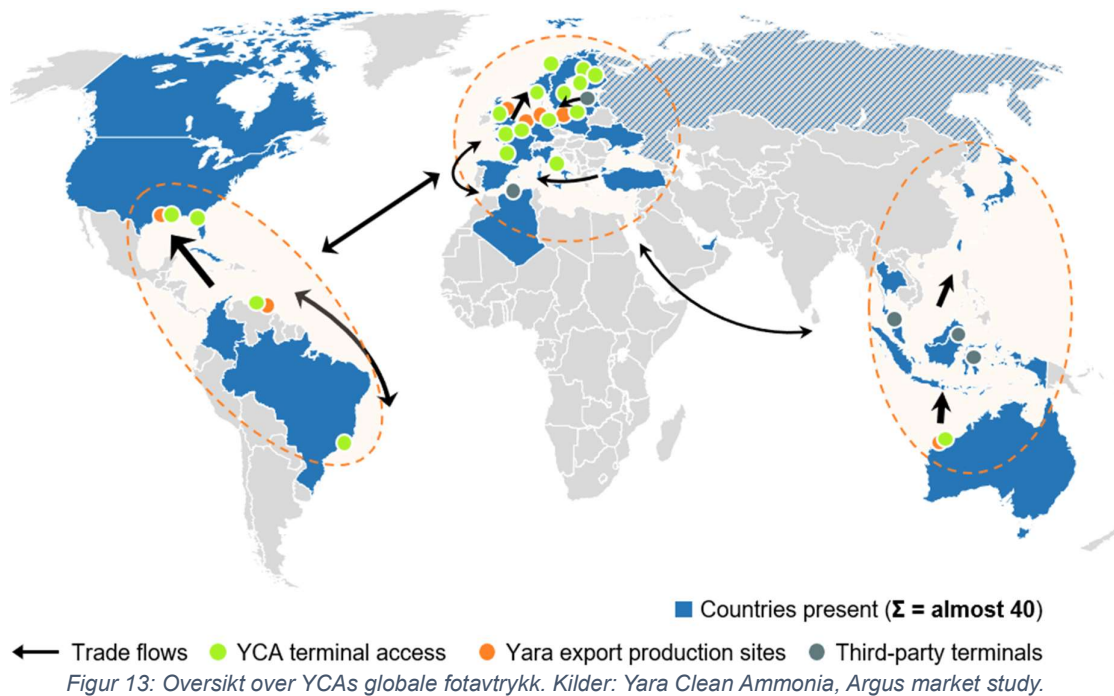
Figur 12: Sammenligning av lavkarbon (blå) og fornybar (grønn) ammoniakk. Kilder: Yara Clean Ammonia, Arkwright market study 2021.

Tabell 4: Yara Clean Ammonia prosjektoversikt, volumer og karbonintensitet.

Grade	Project	Carbon Intensity	Yara Volumes
Renewable Ammonia	Project Skrei Porsgrunn, Norway	0 – 3 gCO ₂ eq/MJ	~20.0 ktpa
Low Carbon Ammonia	Sluiskil CCS Sluiskil, Netherlands	43 – 59 gCO ₂ eq/MJ	~400.0 ktpa

Ammoniakkforsyning og bunkringsinfrastruktur

Yara Clean Ammonia (YCA) kombinerer et unikt globalt ammoniakknettverk med støtte i Yaras produksjonsbase. YCA har eksklusiv tilgang til 18 terminaler, og administrerer og optimaliserer Yaras ammoniaktankinfrastruktur gjennom innkjøps- og forsyningsavtaler med Yara. Videre har YCA en spesialisert flåte med 17 skip og forbindelser til sentrale bunkringshuber. Dette gjør YCA til den største aktøren globalt med over 20% markedsandel² og ledende posisjoner i nøkkelregioner.



YCA samarbeider med Azane Fuel Solutions og andre partnere for å realisere et bunkringsnettverk i Skandinavia. Det første bunkringsanlegget skal komme i drift i Norge i løpet av de nærmeste årene. YCA har fått godkjenning fra DSB til å plassere et flytende bunkringsanlegg for ammoniakk i Florø. Det skandinaviske bunkringsnettverket vil være verdens første og YCA har som mål å gjøre ammoniakk tilgjengelig som drivstoff globalt.

² Basert på omsatte ammoniakkvolumer i 2021 – Argus market study 2022.



Figur 14: Skandinavisk bunkringsnettverk

Sikkerhet

Fysiske egenskaper ved ammoniakk:

- National Fire Protection Association (NFPA) klassifiserer ammoniakk som et brennbarhetsnivå 1-produkt, som krever betydelig forvarming under alle omgivelsestemperaturforhold før antennelse og forbrenning kan skje.
- Ammoniakk er lettere enn luft i ren dampform, men ved standard temperatur og trykk er forskjellen i tetthet ikke så betydelig. Derfor kan turbulent luft eller fysiske hindringer skyve ammoniakkdamp ned til bakkenivå.
- Ammoniakk lagret ved positiv temperatur danner aerosol når den frigjøres. Så lenge aerosoldråper er tilstede i ammoniakkdampen, vil dampskyen fortsette å bevege seg på bakkenivå.
- Ammoniakk gass kan flytendegjøres under trykk og ved lav temperatur (-33°C).
- Ammoniakk er vannløselig.
- Hudkontakt med flytende ammoniakk eller aerosol kan føre til frostskafer.

Kjemiske egenskaper ved ammoniakk:

- Ammoniakk har en skarp og irriterende lukt.
- Ammoniakk er fargeløst.
- Ammoniakk har et mye smalere brennbarhetsvindu sammenlignet med metan og hydrogen. Som nevnt kreves det betydelig forvarming og en veldig sterk tennekilde for å antenne dampskyen.
- Når ammoniakk slippes ut til omgivelsene, kan temperaturen falle ned til frysepunktet, -77°C.
- Ammoniakk vil begynne å koke ved -33°C.
- Så snart -33°C grader er nådd og overskredet, vil ammoniakk utvide seg til 850 ganger væskevolumet.
- 1 kg vann absorberer 900 g ammoniakk ved 0°C.

Giftighet:

- Ammoniakk er giftig ved innånding. Så lenge det er i flytende form og nedkjølt, er potensiell eksponering begrenset. Dersom det innhaleres i høy konsentrasjon, på grunn av ammoniakkets kaustiske egenskaper, søker ammoniakk vann fra den nærmeste kilden, inkludert en menneskekropp. I kontakt med vann dannes det en ammoniakkløsning som kan skade organisk vev.
- Helseeffekten ved innhalering er sterkt knyttet til konsentrasjonen av ammoniakk og eksponeringsvarigheten.
- Ammoniakk kan oppdages ved svært lave konsentrasjoner (fra 2-5 ppm) gjennom lukt.
- Det er betydelig margin mellom nivået ammoniakk kan oppdages på og nivået der det kan gi helseeffekt.

Ammoniakk som molekyl er vanskelig, fordi det er giftig og kan forårsake hudkorrosjon og brannskader. Det er også hygroskopisk og kan forårsake frost og alkaliske brannskader. I tillegg er det korrosivt, som betyr at materialer som messing og kobber må unngås.

Ammoniakkmolekylet er likevel håndterlig i et sikkerhetsperspektiv. På Hodge & Sternerskalaen er ammoniakk plassert på grensen mellom lett og moderat giftig. Alvorlige helseeffekter vil oppstå etter langvarig eksponering for ammoniakkkonsentrasjoner 10 ganger høyere enn lukterskelen (over 500 ppm i 1 time).

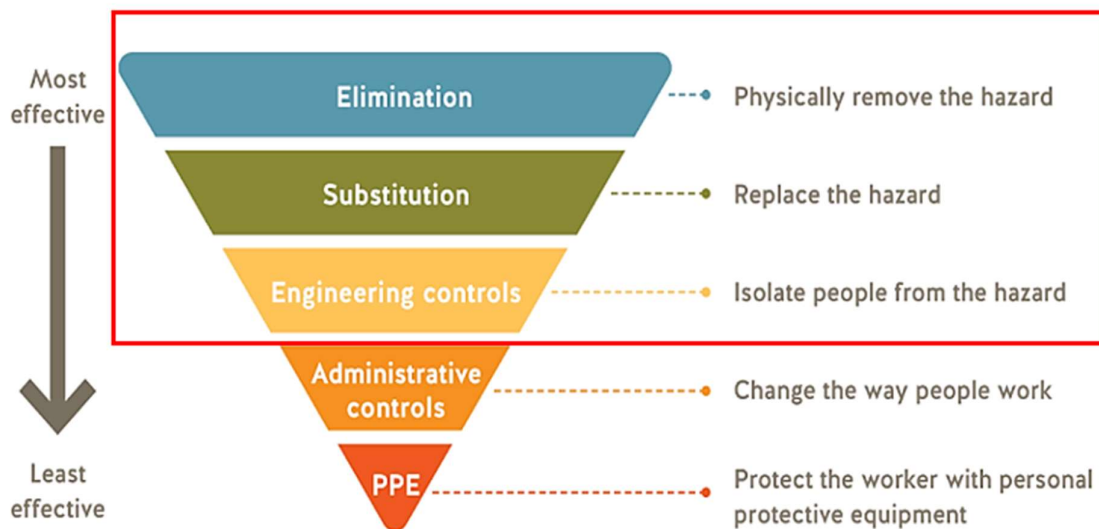
Tabell 5: Helseeffekt av ulike konsentrasjoner av ammoniakk og eksponeringsvarighet

Vapor concentration ppm	General effect	Exposure period
25	Smell detectable by most persons	Maximum for 8 hours working period
100	No adverse effect for average worker	Deliberate exposure for long period not permitted
400	Immediate nose and throat irritation	No serious effect after 30 min to 1 hour
700	Immediate eye irritation	No serious effect after 30 min to 1 hour
1700	Convulsive coughing, severe eye, nose, and throat irritation	Could be fatal after 30 min
2 000 to 5 000	Convulsive coughing, severe eye, nose, and throat irritation	Could be fatal after 15 min
5 000 to 10 000	Respiratory spasm & rapid asphyxia	Fatal within minutes
160 000	Low Flammable/Explosive Limit	

Den risikobaserte tilnærmingen og metodene som vanligvis brukes av Yara kan enkelt overføres og dras nytte av for å redusere og minimere risikoen tidlig i utformingen av ammoniakkbunkringsløsningen. Tidlig i utformingen kan farer og tilknyttede uønskede hendelser identifiseres og valg kan gjøres for å effektivt kontrollere dem, eller til og med noen ganger helt eliminere dem. Kontrolltiltakshierarki kan være et nyttig verktøy for å oppnå dette.

Kontrolltiltakshierarkiet er en strukturert tilnærming for å gjenkjenne de mest effektive handlingene for å håndtere og redusere eksponering for farer:

- Det første og mest effektive laget kalt **eliminering** sikrer at farer ikke lenger eksisterer. Noen ganger er det imidlertid umulig å oppnå fullstendig eliminering av en fare, siden farer iboende er knyttet til et materiale eller en aktivitet. Dette betyr at eliminering av en fare bare kan oppnås ved å fysisk fjerne materialet eller ikke utføre den nødvendige aktiviteten. I tilfeller der dette ikke er mulig, skal det neste nivået av kontrolltiltak vurderes.
- **Substitusjon** betyr å bytte ut et materiale eller en prosess for å redusere faren. Et eksempel på dette er kald ammoniakklagring. Effektive erstatninger reduserer potensialet for skadelige effekter og skaper ikke nye risikoer.
- **Tekniske kontroller** reduserer eksponeringen gjennom å forhindre kontakt med faren. Når det gjelder farlige stoffer kan tekniske kontroller sikre at de holdes innesluttet i røret, og når det ikke lenger er tilfelle, minimere konsekvensene.
- **Administrative kontroller** etablerer arbeidspraksis og normaliserer arbeidsmåter gjennom prosedyrer og opplæring, brukervennlig design og ergonomi.
- **Personlig verneutstyr (PPE)** skal brukes for å minimere eksponering for faren.



Figur 15: Kontrolltiltakshierarki

Hovedprinsippet er å ta hensyn til alle potensielle farer og risikoer i designfasen, for å forhindre at farlige hendelser inntreffer. Kontrollmålshierarkiet støttes av risiko- og pålitelighetsanalysen. Den gir en helhetlig forståelse av hva som kan gå galt og konsekvensene av dette, samt sikrer nødvendig sikkerhet, pålitelighet og utstyrets mekaniske integritet.



Figur 16: Risiko- og pålitelighetsanalyse

Kvantitativ risikovurdering (QRA) for ammoniakk følger strengt kravene fra Direktoratet for sikkerhet og beredskap (DSB). I henhold til fastsatte krav skal det etableres permanente hensynssoner, midlertidig sikkerhetssone og tenningszone. QRA-resultater for ammoniakk er subjektive både med tanke på operasjonelle parametere og modelleringsantakelser, inkludert

overføringshastighet, overføringsfrekvens, type overføringsutstyr, sikkerhetssystemer, lokal topografi, værforhold og innebygde programvareantakelser.

Mens permanente hensynssoner er risikobaserte (kumulativ risiko fra alle scenarier vurdert i QRA, dvs. kombinasjon av frekvens og konsekvens av hendelsene), er midlertidige sikkerhetssoner konsekvensbaserte og etablert kun for en bunkringsoperasjon. Det dimensjonerende scenariet for sikkerhetssonen er et slangebrudd. Den ytre hensynssonen setter begrensninger på plassering av skoler, barnehager, sykehus, arenaer, hoteller og kjøpesentre.

- Den midlertidige sikkerhetssonen ble estimert til å være ca. 15 meter i et slangebruddsscenario med en overføringshastighet på 250 m³/time.
- Den ytre sonen ble estimert til 325 m basert på «worst case»-scenariet relatert til tankbrudd forårsaket av en kollisjon med skip.

Rammebetingelser og virkemidler

- Barrierer for realisering av ammoniakkdrevet AHTS inkluderer at det er svært kostbart sammenlignet med konvensjonelt AHTS, tilgangen på grønt/blått ammoniakk og bunkringslokasjoner for dette, samt usikker etterspørsel etter nullutslippsskip.
- Dagens virkemidler inkluderer CO₂-avgiften, EUs klimavotesystem og ulike ordninger for investeringsstøtte.
- Det er behov for nye eller justerte virkemidler, som energistøtte/driftsstøtte og kravstilling, for å redusere de identifiserte barrierene.



Barrierer

Det er en rekke barrierer som står i veien for å realisere et ankerhåndteringsfartøy basert på ammoniakk. I dette delkapittelet går vi gjennom økonomiske og regulatoriske barrierer.

Et ankerhåndteringsfartøy som skal kunne benytte ammoniakk i drift, vil være mer kostbart å bygge enn et skip basert på tradisjonell teknologi. Det vil blant annet være merkostnader knyttet til motor, tank og rør. Vi anslår at kapitalkostnaden for et nytt AHTS med ammoniakk og dieselmotor (dual-fuel), vil være omtrent 20 % høyere enn et tradisjonelt fartøy av samme type og størrelse.

I tillegg til den høyere kapitalkostnaden kommer høyere driftskostnader. Grønn ammoniakk koster om lag 3-3,5 ganger så mye som lav-svovel marine gassoljer (MGO), mens blå ammoniakk koster om lag 2-2,5 ganger så mye som MGO.³ Ettersom ammoniakkmotoren

³ <https://www.spglobal.com/commodityinsights/PlattsContent/assets/files/downloads/053024-interactive-platts-global-bunker-fuel-cost-calculator.html>

har behov for pilotdrivstoff, vil skipet både bruke fossilt drivstoff (eventuelt biodrivstoff, som også er dyrere) og ammoniakk. Hvor stor andel pilotdrivstoff som er nødvendig vil påvirke hvor mye høyere merkostnadene i drift vil være. Hvor stor andel av driften ellers som vil være basert på ammoniakk vil også påvirke merkostnadene. Ettersom skipet vil være dual-fuel, kan MGO brukes om nødvendig.

Det finnes i dag ingen tilgjengelige bunkringslokasjoner for grønt eller blått ammoniakk i Norge. Bunkringsinfrastruktur må derfor utvikles før realiseringen av fartøyet. Denne bør trolig bygges i Karlsund havn. Både bunkringsanlegget og eventuell transport av ammoniakk fra produksjonslokasjon til bunkringsanlegget vil også være kostbart.

Utbygging av Utsira Nord er anslått til å vare i 2-3 sommersesonger (april – september). Et fartøy bygges med mye lenger tidshorison enn dette (minst 20 år), selv om eierskapet kan endre seg underveis. Annenhåndsverdi etter utbyggingen på Utsira Nord vil være usikker, da etterspørselen etter nullutslippsskip også er usikker, spesielt internasjonalt.

Dagens virkemidler

1. CO₂-avgiften på drivstoff bunkret i Norge

Ifølge særavgiftsregelverket i Norge skal det betales CO₂-avgift på kjøp/salg av mineralske produkter, slik som f.eks. MGO.⁴ Avgiften skal betales for mineralolje som blir benyttet i innenriksfart. Det er fritak for utenriksfart, fiske i fjerne farvann og NATO-fartøy. Fiske i nære farvann blir delvis kompensert. Det er varslet gradvis innføring av CO₂-avgift også for fiske i fjerne farvann. Et ankerhåndteringsfartøy som bunkrer i Norge, må altså betale CO₂-avgift dersom den ikke skal utenriks.

Det er varslet at CO₂-avgiften skal trappes opp til 2000 kr/tonn CO₂ i 2030 (i 2020-kroner), og dette kan gjøre ammoniakk konkurransedyktig etter 2030, dersom økt bruk i årene som kommer gir forventet kostnadsreduksjon. Det er usikkert om dette faktisk vil skje. Det forventes ikke at økt CO₂-avgift vil være tilstrekkelig for å utløse tiltaket.

2. EU ETS

Sjøfartens innlemmelse i EUs klimakvotesystem per 1. januar 2024 setter en pris på klimagassutslippene fra skipene som inkluderes. Med en pris på utslippet vil aktørene måtte ta hensyn til dette i sine investeringsanalyser og vurderinger av tiltak for utslippsreduksjoner. Dagens kvotepris er i underkant av 1000 NOK/tonn CO₂, på linje med nivået på CO₂-avgiften for ikke-kvotepiktig sektor i Norge. Som tidligere nevnt, er innenriks sjøfart allerede omfattet av CO₂-avgiften.

For kvotepiktig del av innenriks sjøfart er det i statsbudsjettet for 2024 foreslått redusert CO₂-avgift som sammen med kvotekostnaden gir samlet CO₂-kostnad lik CO₂-avgiften for øvrig innenriks skipsfart.⁵ Effekten av kvoteprisen er altså den samme som effekten vi allerede har av dagens CO₂-avgift.

Miljødirektoratet har estimert at bedriftsøkonomisk merkostnad for skip med hydrogenbaserte drivstoff før 2030 er minst 3000 NOK/tonn CO₂e (inkludert både investeringskostnader for skip og drivstoffkostnader). Dette innebærer at en CO₂-pris eller kvotekostnad på for eksempel 2000 NOK/tonn CO₂e i seg selv ikke er utløsende for å skape lønnsomhet i investering i slike skip.

⁴ Kapittel 3-6: CO₂-avgift på mineralske produkter. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2001-12-11-1451>

⁵ Prop. 1 LS Skatter og avgifter 2024

3. Investeringsstøtte fra Enova

Enova har hatt en rekke ulike støtteprogram med formål om å demonstrere ny teknologi om bord på skip og ny infrastruktur. Enova tilbyr et støtteprogram rettet mot ammoniakk og hydrogen i fartøy. Det er kun merkostnaden ved å velge ammoniakk som dekkes og det kan søkes om støtte til flere skip, uansett fartøystype og størrelse, så lenge det skal brukes kommersielt.

Støttesatsen er oppad begrenset til 80 % av prosjektets godkjente merkostnader, maksimalt 300 millioner kroner, eller 30 millioner euro om dette er et lavere beløp enn 300 millioner kroner på søknadstidspunktet.

Et ankerhåndteringsfartøy som skal driftes med ammoniakk vil kunne søke støtte fra denne ordningen.

Enova annonserte i desember 2023 at de også vil lansere et program for investeringsstøtte til infrastruktur for mottak, lagring og bunkring av ammoniakk for maritim transport. Tidligere har flere aktører fått støtte til hydrogen/ammoniakkknutepunkter, men det er usikkert om disse prosjektene vil bli realisert pga. dårlig lønnsomhet. Det vil vise seg om noen av disse prosjektene vil søke om støtte på ny, når det nye støtteprogrammet blir lansert.

4. NOx-fondet

NOx-fondet gir primært støtte til tiltak som bidrar til å redusere NOx-utslipp. Mange av prosjektene som reduserer NOx-utslipp, reduserer også klimagassutslipp. Det er investeringstilskudd som gis til tiltak, i form av tekniske installasjoner, både på eksisterende og nye utslippskilder. Støtteordningen omfatter både tiltak som reduserer NOx-faktor (NOx-utslipp per forbrukt energienhet) og tiltak som reduserer energiforbruk (energieffektivisering).

Følgene aktører kan søke om støtte fra NOx-fondet:

- Alle virksomheter med eksisterende eller planlagte NOx-avgiftspliktige utslipp i Norge.
- Virksomheter uten avgiftspliktige NOx-utslipp, men som omfattes av bestemte NACE-koder i NOx-avtalen. I all hovedsak omfatter dette landbasert prosessindustri.

Det er i utgangspunktet eier av utslippskilden som skal søke om støtte og som mottar støtten, men i noen tilfeller kan det være hensiktsmessig at andre virksomheter representerer eier. I hvilken grad dette er akseptabelt, vurderes i det enkelte tilfelle. Generelt må det imidlertid kunne fremlegges en bekreftelse fra aktørene i verdikjeden fra søker til eier, om at de er enige om søknadens innhold, og hvordan støttemidler fra NOx-fondet skal fordeles mellom partene.

5. EUs hydrogenbank

EUs hydrogenbank er en støtteordning lansert i starten av 2024 som skal stimulere til produksjon og sikre import av hydrogen til EU. Støtten innrettes mot grønne hydrogenprosjekter og ekskluderer blått hydrogen.

EU-kommisjonen mottok 132 bud fra 17 ulike land, og det ble delt ut til sammen 719 millioner euro til sju prosjekter. Ett av disse prosjektene er lokalisert i Norge. Skiga AS fikk innvilget pengestøtte tilsvarende 963 millioner norske kroner for å produsere fornybart hydrogen. Støtten vil utbetales basert på bekreftet antall kilo produsert. Skiga skal produsere grønn ammoniakk ved Skipavika i Gulen.

De resterende vinnerbudene kom fra finske, spanske og portugisiske aktører.

6. Annen EU-støtte

Det kan også være mulig å søke støtte fra blant annet EUs innovasjonsfond,⁶ EUs investeringsfond⁷ og EUs investeringsbank.⁸

7. Omsetningskravet for flytende biodrivstoff i sjøfart

Den 1. oktober 2023 ble det innført et omsetningskravet for flytende biodrivstoff til sjøfart. Omsettere av drivstoff til sjøfart skal sørge for at 6 % av alt fossilt flytende marint drivstoff de selger hvert år er flytende biodrivstoff. Gass er ikke omfattet. Omsetterne står fritt til å blande inn biodrivstoffet på de utsalgsstedene de selv ønsker. Det betyr at det i praksis trolig ikke vil leveres partier med 6 % bioinnblanding til enhver tid, på et hvert utsalgssted, så lenge andelen over et kalenderår er 6 %. Denne fleksible innretningen gjør det blant annet mulig for omsetterne å minimere distribusjonskostnadene for biodrivstoffet. Merknadene fordeles i utgangspunktet på alle, selv om det som fylles på tanken kan være ulikt.

Omsetningskravet omfatter per i dag ikke andre fornybare drivstoff, slik som ammoniakk. Dersom et ankerhåndteringsfartøy bunkrer marine gassoljer, er det mulig at en andel av dette kan være flytende biodrivstoff.

Andre mulige nye eller justerte virkemidler

Det er en rekke nye eller justerte virkemidler som kan bidra til realisering av en AHTS drevet med ammoniakk. I dette delkapittelet trekker vi frem noen virkemidler som kan være særlig treffsikre.

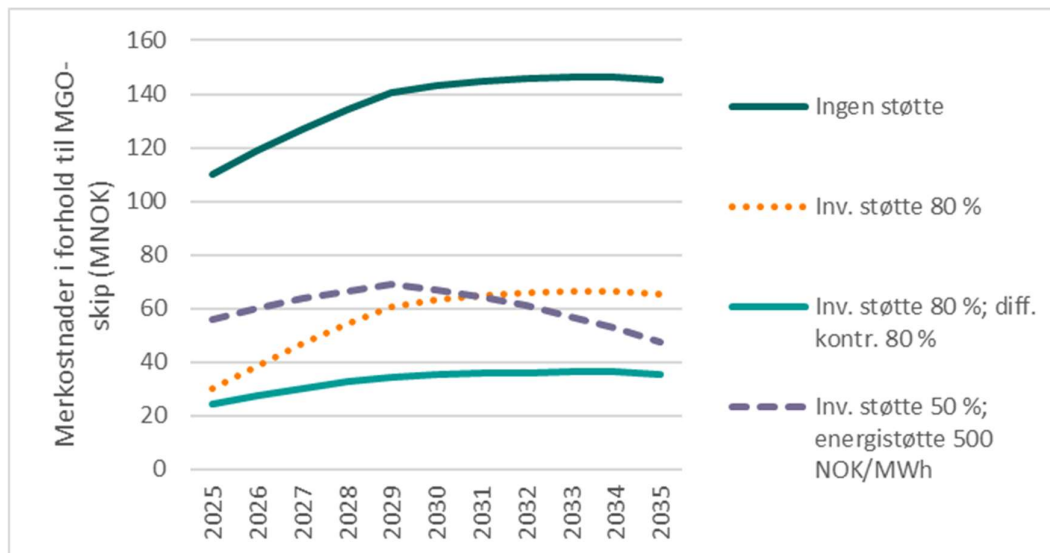
1. Energistøtte/driftsstøtte

For å redusere energikostnadene ved bruk av nye drivstoff, kan "energistøtte" slik som differansekontrakter rettet mot brukerne av hydrogen eller ammoniakk være aktuelt. Figur 15 illustrerer kostnadseffekten av ulike virkemidler. I beregningen øker CO₂-avgiften til 2000 kr/tonn (2020-kroner) i 2030. Bedriftsøkonomisk merkostnad for skip med hydrogenbaserte drivstoff er anslått til 3-5000 NOK/tonn CO₂e, avhengig av skipstype og drivstoff. Avhengig av innretning, kan det med investeringsstøtte og energistøtte fortsatt være merkostnader sammenlignet med et konvensjonelt skip, men totaløkonomien i prosjektet vil bedres og usikkerheten knyttet til drivstoffpris reduseres. Dette øker sannsynligheten for at prosjektet gjennomføres.

⁶ https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/innovation-fund_en

⁷ <https://www.eif.org/index.htm>

⁸ <https://www.eib.org/en/index>



Figur 17 Illustrasjon av totale bedriftsøkonomiske merkostnader for et ammoniakkskip sammenlignet med et konvensjonelt MGO-skip over en tiårsperiode. Merkostnaden består av ekstra investeringskostnad det første året, og merkostnader for drivstoff så lenge prisen er høyere enn prisen for avgiftsbelagt MGO. Differansekontrakten dekker 80 prosent av kostnadsgapet mellom drivstoffene (grønn linje). En alternativ energistøtte er en flat sats per enhet energi ammoniakk benyttet (oransje linje). Figuren er et eksempel, ikke basert på anslåtte kostnader.

2. Krav til offshoreskip

Sjøfartsdirektoratet har i flere omganger utredet krav til offshoreskip knyttet til petroleumsnæringen, på oppdrag fra Klima- og miljødepartementet. Et slikt krav er også foreslått i en rekke politisk forankrede dokumenter (Klimastatus og plan, Klimamelding, Hurdalsplattformen osv.)

Et utslippskrav eller lignende knyttet til havvindvirksomhet, vil tvinge frem utslippskutt, og merkostnaden for dette vil trolig overføres til sluttbruker/oppdragsgiver. Referansenivået flyttes, og aktørene må ikke lenger konkurrere mot billige fossile alternativer. Krav kan være et effektivt virkemiddel.

Et krav kan også utformes på mange ulike måter, og hvordan kravet innrettes vil ha stor betydning for effekten det vil ha. Tillater et krav f.eks. bruk av flytende biodrivstoff, vil det trolig ikke bidra til utvikling av ny teknologi, slik som ammoniakk representerer. Om kravet må oppnås på enkeltskip eller som flåte eller per prosjekt, vil også spille inn.

3. FuelEU Maritime

Det vedtatte EU-regelverket FuelEU Maritime stiller fra 2025 gradvis krav til reduksjon i klimagassintensitet fra all energibruk om bord på skip som er omfattet av kravet. Sjøfartsdirektoratet tolker det slik at offshorefartøy i seg selv ikke er unntatt fra kravet, men at levering av varer og personer til installasjoner offshore ikke regnes som kommersiell transport av varer eller personer og dermed faller utenfor kravet. Dette er basert på praksis for tidligere MRV-forordning. Offshorefartøy skal begynne å rapportere i MRV og vil også omfattes av EUs klimavotesystem. Det kan således være naturlig å tro at offshorefartøy på et senere tidspunkt vil bli omfattet av FuelEU Maritime, men dette er usikkert per nå.

I FuelEU Maritime vil bruken av grønn ammoniakk og andre RFNBO-drivstoff (fornybare drivstoff av ikke-biologisk opprinnelse) være mer fordelaktig enn f.eks. bruk av biodrivstoff i de første årene. Det er også mulig å selge overoppfyllelse av kravet til andre aktører som ikke oppfyller kravet.

4. Lokale virkemidler

Det kan være mulig for kommunen eller lokal havn å stille krav til skip som legger til kai. F.eks. kan det stilles krav til bruk av nullutslippsdrivstoff eller bruk av landstrøm når skipet ligger til kai. Dette kan tvinge frem alternative løsninger.

Finansiering

- Finansiering av fartøy med ny og til dels uprøvd teknologi, til høyere kostnad og med grader av økt usikkerhet tilknyttet driftsmessige merkostnader med ny teknologi, herunder drivstoffkostnader, innebærer helt andre risiki sammenlignet med finansiering av konvensjonelle fartøy, noe som har innvirkning på kapitaltilgang og -kilder.
- Sagt på en annen måte, konsepter som befinner seg tidlig på innovasjonskurven vil normalt kreve innslag av kapital med betydelig høyere risikovilje sammenlignet med modne konsepter som lettere tiltrekker seg for eksempel bankfinansiering. Sterke (offtake) kontrakter kan for øvrig bidra til å gjøre slike prosjekter mer «bankable».
- Betrakningene om finansiering i dette kapitlet er nokså generelle, da man ikke har et ferdig business case å vurdere. Basert på foreliggende informasjon så langt, antas at en kombinasjon av kontrakter og virkemidler (som beskrevet i forrige kapittel) vil være nøkkelen til å kunne utløse fremmedkapitalfinansiering.



Finansiering av offshorefartøy kan komme fra flere kilder, hvor de vanligste er en kombinasjon av egenkapital og fremmedkapital, gjerne fra kommersielle banker og finansieringsinstitusjoner som Eksfin. Avhengig av prosjektets karakter og (eventuell mangel på) «bankability», finnes det også muligheter for ytterligere kapitaltilførsel fra ulike støtteordninger («virkemiddelapparatet», subsidieordninger etc) som kan avlaste risiko for og ta ned kapitalbehovet fra egenkapitalen og fremmedkapitalen.

Historisk sett har den norske offshoreflåten i stor grad vært finansiert med lån fra kombinasjonen av kommersielle banker (gjerne flere) og Eksfin. Lån til denne flåten har typisk hatt 5 års løpetid og 12-15 års nedbetalingsprofil. Belåningsgrad har variert avhengig av en rekke faktorer. Lån til offshoreskip har blitt gitt til rederier, mens rederiene har chartret

ut skipene til befraktere eller operert dem i spotmarkedet. Andre kapitalkilder som obligasjonslån har også blitt benyttet, men i mindre omfang enn banklån.

Et svært viktig premis for kommersielle banker og andre finansieringsinstitusjoner er at disse nettopp er 1) kommersielle, og svarer til sine aksjonærer - og i tillegg er 2) sterkt regulerte, med krav til kapitalbase, reserver, risikostyring mm. Det har stor betydning for både (risikjusterte) avkastningskrav og risikoappetitt. Disse institusjonene er ikke ment eller rigget for hverken å ta egenkapitalrisiko eller å subsidiere prosjekter. Til dette finnes andre institusjoner og kilder, som beskrevet i kapittelet om rammebetingelser og virkemidler.

Vurdering av «bankability»

1. Investeringskostnad (Capex)

Som det fremgår av piloten forøvrig, vil et ankerhåndteringsfartøy som skal benytte ammoniakk som drivstoff være mer kostbart å bygge enn et skip basert på tradisjonell teknologi. Vi legger til grunn at byggekostnad på skipet vil være omkring 2,0 mrd. NOK, noe som er omtrent 400 MNOK mer enn skip basert på konvensjonell teknologi.

Denne tilleggskostnaden utgjør en risiko for egen- og fremmedkapitalen, da nytteeffekten (bruksområder, inntjeningspotensial/kommersiell verdi o.l.) sannsynligvis vil være lik de rimeligere konkurrentene med tradisjonell teknologi.

Hva gjelder løpende maintenance capex så antar vi at dette vil være noe dyrere enn for skip med mer ordinære motorer.

2. Driftskostnad (Opex)

Opex består av løpende kostnader til skip, og inkluderer mannskapskostnader, drivstoffkostnader, andre driftskostnader o.l.

Den typiske modellen for offshorefartøy er at det er befraktere av skip som dekker utgifter til drivstoff. Det er befraktere som bestemmer bruken av skipet, dets seilingsmønster o.l., og dermed også er ansvarlig for å dekke kostnadene til dette. Selv om dette ikke er en direkte kostnad for rederiet som eier skipet, vil drivstoffkostnader ha betydning for skipets konkurransekraft og rateoppnåelse dersom kostnadene ved å drifte et slikt skip er høyere enn tilsvarende tonnasje med konvensjonelle fremdriftssystemer.

3. Risikovurderinger

Mange faktorer påvirker tilgang og pris på kapital generelt og eventuelle lånebetingelser for øvrig, og faktorene kan vektlegges ulikt hos ulike typer kapitalkilder.

Banker og andre finansieringsinstitusjoner vil alltid se på prosjekter i konkurranse med andre prosjekter (og kunder) de ser på, og de ulike prosjektene blir veiet mot hverandre ut fra ulike perspektiver med hensyn til risiko, avkastning, bærekraft etc. Risikovurdering er helt sentralt, omfattende, helhetlig og berører mange ulike risikoparametere relatert til kunde, kontantstrøm og betjeningsevne, og prosjektet /pantobjektet som sådan. Dette blir gjerne kalt de 3 «C'er»; client, cash-flow, collateral, og er basis for hva man gjerne kaller «godt kreditthåndverk».

a) Kunden – Långivere ønsker å vite hvem de gjør forretning med

For banker er HVEM (kunden) gjerne like viktig som HVA (prosjektet/fartøyet) man blir bedt om å finansiere, basert på erfaringer gjennom flere maritime sykler. Kundevurderingen kan

inkludere (men ikke nødvendigvis være begrenset til) eiere; herunder deres kapitalbase, deres erfaring og track record, strategi, ledelsens kvalitet, erfaring og gjennomføringsevne, governance, ESG status, generell transparens, tilgang til ulike kapitalkilder med mer. Også i et rent prosjektselskap tillegges eiere og sponsorer betydelig vekt, herunder deres evne og vilje til å støtte prosjektene også når ting ikke går som planlagt.

b) Kontantstrøm – Långivere ønsker synlig eller sannsynliggjort gjeldsbetjeningsevne.

Visibilitet på inntekter er en nøkkelfaktor. Banker og andre långivere vil nøye analysere og vurdere inntektspotensialet, og gradene av forutsigbarhet knyttet til dette. Innen offshore har man generelt to ulike strategier med hensyn til forutsigbarhet; lange kontrakter eller korte kontrakter.

Med lange faste kontrakter så har man god visibilitet på kontantstrømmene, men skipet er lovet bort til en gitt pris i den gitte perioden.

Alternativt så kan man velge en strategi hvor skipet ikke har fast lang kontrakt, men heller opererer på kortere kontrakter. Naturlig nok har man da fordelen ved at oppsiden på inntektene ikke er låst inn som ved en lang kontrakt, samtidig som man har den fulle nedsiden i et svakere marked. I offshoremarkedet har man historisk sett at inntektene øker betydelig og kan gi «super profit» i perioder med begrenset tilbud, men også betydelige utfordringer når inntektene faller drastisk i perioder med tonnasjeoverskudd. Normalt vil banker kun ta risikoen ved kortere kontrakter i et veletablert fungerende marked med likvide objekter som sikkerhet.

I et scenario hvor en bank blir bedt om å vurdere risikoen knyttet til et spesialbygget skip (eventuelt med ukjent teknologi) som har høyere capex og opex enn sine konkurrenter, så vil forutsigbare kontantstrømmer være et helt essensielt tema. Det å vite at skipet har en fast kontraktsfestet kontantstrøm, som fullt dekker både capex og opex elementene, og helst fra en kjent sterk kontraktsmotpart, vil gjerne være en forutsetning.

c) Sikkerheten/pantet – Långivere ønsker en sikker «second way out» om lånet ikke lar seg tilbakebetale på vanlig måte

Generelt kan man si at offshoreskip av samme typen i stor grad konkurrerer mot hverandre, da de kjemper om de samme kontraktene, enten det er lange eller korte kontrakter, med mindre befraktere har satt noen spesielle krav i en kontrakt som vil favorisere skip med eksempelvis én spesiell type fremdriftsmaskineri. Men som banker så svarer også befraktere for sine aksjonærer, hvor økonomisk avkastning ikke er til å komme bort fra at vil være en nøkkelindikator på et prosjekt. Dog, i større og større grad har også miljømessige aspekter fått økende betydning for mange selskaper.

Store deler av den eksiterende offshoreflåten ble konstruert og levert i årene 2007 til 2014. Konstruksjonskostnaden var vesentlig lavere enn den er i dag, og skipenes gjeld har over tid blitt gradvis eller helt nedbetalt. Derfor vil break-even (sum av skips utgifter, inkludert drift, renter, avdrag, med mer) være betydelig lavere for eldre skip.

Dette skipet vil i stor grad konkurrere mot rimeligere skip, selv om nytteeffekten av skipet (hvilket arbeid det kan utføre) vil være tilnærmet lik som sine rimeligere konkurrenter. Alt annet like, så er dette noe som tilsier høyere risiko for långivere.

Eksempel på finansielt case, og nødvendige tilleggsvurderinger for rederier, banker og befraktere

Som nevnt legges det til grunn at et nybygg vil være kostbart, og muligens 20 % mer kostbart enn et nybygg med ordinært fremdriftsmaskineri hva gjelder capex.

Vi har derfor gjort noen enkle kalkuleringer av hvor mye ekstra dagrate et skip med høyere investeringskostnad vil måtte tjene, for at investeringen fra rederiets side skal regne hjem. Vi har ikke hensyntatt drivstoffkostnad i eksempelet, da dette tilligger befrakter og er som sådan utenfor selve investeringskalkylen for reder. Imidlertid vil den økte (usikkerheten forbundet med) drivstoffkostnaden kunne påvirke vurderingen av kontraktspotpart og – lengde.

Følgende antakelser ligger til grunn for nåverdiberegningene av kontantstrømmene:

- Investeringskostnad: NOK 2,000,000,000. Benevnes "Eksempelkost" under, og representerer (beste estimat) på hva det vil koste å bygge en AHTS med ordinært fremdriftsmaskineri i dag.
- Opex: NOK 300,000 per dag.
- Maintenance capex: NOK 30,000,000 hvert 5. år (men gjenstand for inflasjon)
- Inflasjon: 2.5%, gjeldende for både charter rate, opex og maintenance capex
- Levetid for skip: 30 år
- Finansiering: investeringen får 70% lån fra bank på levering, hvorpå lånet løper og skal nedbetales til null over 12 år, med rentekostnad på 7.5%.

Basert på overstående antakelser så beregner vi at skipet må ha en dagrate på NOK 1,064,000 per dag (365 dager basis), dersom man legger til grunn diskonteringsrate på 10%. Setter man høyere diskonteringsrate, eksempelvis 14%, vil en slik rate ved de samme antakelsene være omkring NOK 1,308,000 per dag. Sammenligner vi med spotraten for en AHTS som seiler i Nordsjøen, så har denne spotraten vært rett i underkant av GBP 50,000 gjennom 2024. Men denne spotraten tar ikke høyde for at det kan være nedetid eller ledig tid mellom jobber.

Basert på forutsetningen om at skipet vil være mer kostbart enn standard tonnasje viser nedenstående matrise påkrevd merinntekt per dag for å dekke ulike nivåer av investeringskostnad utover Eksempelkost. Videre viser tabellen ulike nivåer av diskonteringsrater. I alle tilfellene er dagraten gjenstand for inflasjon som antatt over.

Økt byggekost mot Eksempelkost	Påkrevd dagrate utover basisrate v/ diskonteringsrate			
	10 %	12 %	14 %	16 %
2 000 000 000	1 063 917	1 184 738	1 307 796	1 431 761
100 000 000	37 590	43 644	49 813	56 028
200 000 000	75 180	87 288	99 625	112 055
300 000 000	112 769	130 932	149 438	168 083
400 000 000	150 359	174 576	199 250	224 111
500 000 000	187 949	218 221	249 063	280 139
600 000 000	225 538	261 865	298 875	336 166
750 000 000	281 923	327 331	373 594	420 208

Overstående viser altså at dersom man eksempelvis kommer frem til en byggekostnad på NOK 2,400,000,000 for dette skipet, så vil den nødvendige dagraten være (NOK 1,063,917 + NOK 150,359) NOK 1,214,276 for å forsvare investeringen. Dette er ved diskonteringsrate på 10%. Øker man diskonteringsraten til 14% så vil dagratebehovet være (NOK 1,307,796 + NOK 199,250) NOK 1,507,046.

Grønn finansiering er mulig

Med nullutslipp basert på grønn ammoniakk som drivstoff vil skipet klart kvalifisere til ulike former for «grønn finansiering». I dagens marked ligger den «grønne rabatten» som regel på opp til 10 basispunkter (0,1% prosentpoeng av marginen). Bakgrunnen for nivået på rabattene ligger i bankenes reguleringer, hvor det ikke gis noen lette i kapitalkravene for grønne lån. Rabattene gis således for det «felles gode» og som et mulig bidrag til reduksjon av fremtidig risiko. Men dette hensyntas dermed ikke i bankenes modeller i dag, og det reduserer bankenes avkastning på lånet. Temaet har vært gjenstand for regelmessig diskusjon men den europeiske banktilsynsmyndigheten (EBA) setter hensynet til finansiell stabilitet og ønsket om å unngå insentiver til «bobler» først.

For finansinstitusjoner vil i utgangspunktet de samme kravene til business caset og de tre «C'ene» ligge til grunn også for grønne lån. Imidlertid tillegges ønsket om en grønnere portefølje med mindre utslipp på stadig større vekt i kredittvurderingene.

Funn og veien videre

For at norsk havvindutvikling skal lykkes er man avhengig av bred støtte både i befolkningen generelt og i lokalsamfunnene som berøres. Et av de viktigste forholdene for å oppnå aksept og gjennomslag for havvind i Norge vil være å sikre nødvendig fokus på klima og bærekraft i utviklingen.

Denne pilotstudien har utredet muligheter, barrierer og løsninger for å kunne realisere et nullutslippskonsept for installasjon og drift av flytende havvindturbiner. Teknisk og økonomisk gjennomførbarhet for utviklingen av et AHTS-nybygg utrustet med ammoniakk-batteri-fremdriftssystem og nødvendige bunkringsløsninger har blitt vurdert.

- Det er **ikke identifisert noen store tekniske barrierer knyttet til utvikling av et nytt skipsdesign** som tilfredsstillende nullutslippsdrift med ammoniakk og batterier knyttet til installasjon, drift og vedlikehold av flytende havvind på Utsira Nord.
- Det er heller **ikke identifisert noen større tekniske utfordringer ved valgt forsyningskjede og bunkringsløsning for ammoniakk**, eller de skisserte bunkringsoperasjonene for ammoniakk på Karmsund Havn.
- Imidlertid ser man **utfordringer knyttet til manglende forutsigbarhet og krevende rammevilkår for ammoniakk som drivstoff**. Det er behov for målrettede mekanismer/støtteordninger som sikrer både investeringsstøtte og reduserer energikostnadene i driftsfasen. Videre er det behov for mer attraktive finansieringsvilkår for utslippsfrie offshorefartøy.
- Det er også stor risiko knyttet til å investere i et kostbart nullutslippsfartøy hvor etterspørselen i øvrige deler av offshorenæringen er lav og det er liten/ingen betalingsvillighet for slike løsninger. Innføring av felles klimakrav til offshorefartøy vil kunne sikre en **større etterspørsel etter nullutslippsløsninger i offshorebransjen**, og pilot-fartøyet vil være attraktivt for en rekke andre formål og operasjoner i norske farvann.
- Det vil også være behov for at fremtidige utlysninger for flytende og bunnfast havvind i Norge **premierer utviklingen av ambisiøse klimaløsninger** knyttet til de maritime operasjonene som utføres ved installasjon, drift og vedlikehold av havvindparkene.
- Blåvinge har behov for **større forutsigbarhet** i fremtidige signaler knyttet til havvindutvikling i Norge og tilhørende rammevilkår for å utløse nullutslippsløsninger i bransjen. Dette vil gi oss trygghet til å utvikle og satse på langsiktige relasjoner og partnerskap i næringen, som sammen utvikle løsninger som piloten har identifisert.

Vedlegg 1

Overall Single Line Diagram



Blåvinge ABB
Onboard DC Grid SLD

Vedlegg 2

Ammonia properties and risks

An introduction to ammonia properties and risks are provided in Chapter 3 of the *Ammonia as a marine fuel safety handbook*⁹ developed as part of the *Green Shipping Programme* and is reproduced below.

Properties: overall

Ammonia in its pure form is referred to as anhydrous (“without water”) ammonia. Under atmospheric temperature and pressure, ammonia is a colourless, toxic gas with a sharp and penetrating odour. The basic properties of ammonia are summarized and compared with natural gas in Figure 1.

Although gaseous, anhydrous ammonia is lighter than air, the rapid evaporation following a sudden release of pressurized, liquid ammonia may cause liquid carry-over to the gas cloud. The ammonia droplets may disperse in the gas, forming a cloud that is heavier than the ambient air. Ammonia may behave in buoyant, neutral, or dense fashion depending on the circumstances of its escape into the atmosphere. Studies show that the crucial parameter which determines whether the ammonia is likely to form part of a buoyant, neutral, or dense mixture is the airborne liquid fraction. For ammonia releases with a content of airborne liquid fractions below 4% (by mass), a buoyant mixture is always formed, while for high liquid fractions (>20%), the mixture is always dense. In between, the mixture may be buoyant, neutral, or dense, depending on the atmospheric humidity.

Ammonia can cause stress corrosion cracking in steels, which must be addressed in the selection of materials in contact with ammonia, including tanks and materials intended to contain ammonia in the case of leakages. Ammonia has alkaline properties and will also corrode galvanized metals, cast iron, copper, brass and copper alloys. Not all rubbers and polymers typically used for gaskets and sealing are compatible with ammonia use. Hence, careful material selection is required in design of ammonia fuel systems.

Ammonia is flammable, but hard to ignite. Outdoors, ammonia vapours will generally not constitute a fire hazard. Indoors, in confined areas, the risk of ignition will be higher, especially if oil and other combustible materials are present. Pressure vessels used for storage of ammonia may explode if exposed to high heat input.

Ammonia is transported in the liquid state; therefore, it must either be compressed or refrigerated or some combination of the two. Fully refrigerated ammonia storage tanks contain liquid at -33°C at atmospheric pressure, while fully pressurised tanks are designed for 18 bar which corresponds to the ammonia vapour pressure at 45°C.

Ammonia is a hygroscopic compound, which means it seeks water from the nearest source, including the human body. Mucous membranes, like the eyes, respiratory system and skin, have high moisture contents and is especially at risk when put into contact with ammonia. An additional concern with respect to direct exposure is the low boiling point of ammonia, as it will freeze on skin contact. It will cause caustic burns similar to, but more severe than, those caused by dry ice. A direct blast to the face can cause severe damage to the throat and lungs.

⁹ <https://grontskipsfartsprogram.no/wp-content/uploads/2023/06/Ammonia-as-a-Marine-Fuel-Safety-Handbook-Rev.02-1.pdf?t=1699660800060>

When large amounts are inhaled, the throat swells shut, and victims may suffocate. Exposure to vapours or liquid may also cause blindness.

The hygroscopic properties of ammonia are also relevant when evaluating the dispersion of released ammonia gases. In an emergency, a water spray may be used to dissolve ammonia gas from the air to reduce the dispersion. The amount of water and the layout of the spray system related to the ammonia discharge sources will require further studies to ensure the desired effect.

It should be noted that applying water directly into a pool of liquefied ammonia will cause a violent reaction which may subject responders to direct contact with ammonia, and it will also increase the evaporation rate of toxic gases. The water and ammonia form ammonium hydroxide, which is a corrosive liquid, so efforts should if possible be made to control the run-off. Further, it should be noted that ammonia leaks and releases to open air occurring in rainy or windy conditions, can react with rain- or sea water and form ammonium hydroxide, which is also moderately toxic and can affect crew and passengers. This should be considered in the arrangement and location of vent masts and ventilation outlets.

Property	Ammonia (NH ₃)	Methane (CH ₄)
Boiling temperature (1 bar)	-33 °C	-162 °C
Vapour pressure (45 °C)	18 bar	–
Liquid density (at boiling temp.)	0.68 tonnes/m ³	0.43 tonnes/m ³
Specific gravity (Air: 1)	0.51	0.547
Expansion ratio liquid/gas	850	600 ⁷
Flammability range ⁸	15-28%	5.3-17%
Auto ignition temperature	651°C	537°C
Minimum ignition energy ⁹	40-170 mJ	0.27 mJ
Laminar burning velocity	0.07 m/s	0.37 m/s
Solubility in water (at 20 °C)	531 g/l	No
Main hazards	Toxic	Explosive
	Corrosive	Cryogenic
	Flammable	Flammable
	Explosive	Asphyxiating

Figure 1: Properties of ammonia vs. methane

Ammonia properties: focus on toxicity

Toxicity is in many ways the key hazard related to ammonia. The fact that harmful concentrations range down to a fraction of a percentage makes even smaller leakages hazardous, and the extent of a hazardous gas cloud potentially very large. This must be considered in the development of ammonia fuelled ship designs and has been considered with particular care in the development of class rules for ammonia fuel. The toxicity has severe implications for health effects; Ammonia is a toxic substance which has a sharp suffocating odour at low concentrations in gaseous form. Acceptable human exposure limits to ammonia are defined by legislation and is typically a function of concentrations and exposure time. The ammonia exposure limit is set between 25-50 ppm with dangerous consequences for exposure to concentrations above 300 ppm. Examples of exposure guidance are shown in Figure 2 and Figure 3 below.

Effect	Ammonia concentration in air (by volume)
Readily detectable odour	20 – 50 ppm
No impairment of health for prolonged exposure	50 – 100 ppm
Severe irritation of eyes, ears, nose and throat. No lasting effect on short exposure	400 – 700 ppm
Dangerous, less than ½ hours exposure may be fatal	2000 – 3000 ppm
Serious oedema, strangulation, asphyxia, rapidly fatal	5000-10000 ppm

Figure 2: Exposure guidance¹⁰

¹⁰ Fuel conditioning system for ammonia fired power plants. Accessed at NH3 Fuel Association. Accessed at <https://nh3fuelassociation.org/wp-content/uploads/2012/10/evansbrian.pdf>

Ammonia 7664-41-7 Expressed in ppm					
	10 min	30 min	60 min	4 h	8 h
AEGL 1	30	30	30	30	30
AEGL 2	220	220	160	110	110
AEGL 3	2700	1600	1100	550	390

AEGL 1: Notable discomfort, irritation, or certain asymptomatic non-sensory effects. However, the effects are not disabling and are transient and reversible upon cessation of exposure.

AEGL 2: Irreversible or other serious, long-lasting adverse health effects or an impaired ability to escape.

AEGL 3: Life-threatening health effects or death.

Figure 3: EPA Acute Exposure Guideline Levels¹¹

From the above figures it is obvious that an ammonia release within the hull of a ship has the potential to generate lethal gas concentrations in confined spaces. There is also a potential for dangerous concentrations in open air due to e.g., large spills or tank overpressure. Toxicity is in many ways the key hazard related to ammonia, and the property that separates it most from natural gas; it is harmful to personnel at concentrations well below its lower flammability limit of 15% in air.

Introduction of ammonia as fuel in the maritime sector poses challenges that are different from the ones seen in the onshore industry, the principal difference being the limited safety distances available and a limited possibility of safe evacuation when at sea.

Frequent situations with personnel in close proximity to operations such as bunkering, maintenance of ammonia systems, frequent coupling and de-coupling of equipment are main concerns. Adding to the concern is the possibility of exposing shore-side personnel to ammonia during port calls. Similar operations are performed in the land-based industry and sharing of experience of how to handle them safely will be important.

This must be considered in ship design and class rule development, with respect to passenger and crew areas, escape ways, mustering stations and location of, and access to, life rafts and PPE.

For natural gas, whose primary risks are related to fires or explosions, safety barriers removing ignition sources can mitigate the consequence of a leakage. For ammonia it is different, as leakages will have a direct effect on exposed personnel.

Environmental effects

The toxic properties of ammonia, but also the production pathways and gases generated in the combustion of ammonia, may have environmental effects. Release of ammonia to the sea

¹¹ Environmental Protection Agency Acute exposure guideline levels for airborne chemicals. Available online: <https://www.epa.gov/aegl>

has impact on the environment. Ammonia is classified as toxic to aquatic life with long lasting effects.¹²

Using ammonia as fuel would lead to near zero GHG emissions from the ship (uncertainty remains on N₂O-emissions), but depending on the production pathway of the ammonia, there can be significant upstream or well-to-tank emissions. Combustion of ammonia in internal combustion engines may generate NO_x and also N₂O which is a powerful greenhouse gas. It is assumed that existing SCR technology is capable of handling the NO_x problem, and that engine manufacturers will need to find solutions to handle N₂O if ammonia is going to be a viable zero emission fuel.

Regulatory status for ammonia as fuel on ships

The regulatory framework existing today for ammonia utilized as fuel in shipping can be found detailed in Chapter 4 the report *State of Play – status on regulatory development for zero-carbon fuels*,¹³ developed as part of the project *Nordic Roadmap for the introduction of sustainable zero-carbon fuels in shipping*, initiated by the Nordic Council of Ministers, and in Chapter 4 of the *Ammonia as a marine fuel safety handbook*¹⁴ developed as part of the *Green Shipping Programme*.

Current regulations

SOLAS

The use of fuels is regulated by the International Maritime Organization (IMO) through the International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS). The regulations for conventional fuel oils are prescriptive and based on decades of experience. Utilizing fuels with a flashpoint below 60°C (defined as Low Flashpoint Fuels) has generally been prohibited to prevent tank explosions and fires.

In 2015, the SOLAS Convention was amended to allow the use of gases or low flashpoint fuels for ships complying with the International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-Flashpoint Fuels (IGF Code).

The IGF Code

The IGF Code provides an international standard for the safety of ships using gases or lowflashpoint fuel, other than gas carriers which have to comply with separate requirements in the IGC Code. The vessel considered in this pilot study is subject to the IGF Code.

The IGF Code requires that the safety, reliability, and dependability of the systems shall be equivalent to that achieved by new and comparable conventional oil-fuelled main and auxiliary machinery. It is emphasized that operational procedures shall not replace safety barriers through the ship design.

The IGF Code specifies a set of functional requirements applicable for all fuel types covered by the Code, but only contains specific design requirements to LNG. Until fuel specific

¹² Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS). United Nations, New York, and Geneva, 2011. https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev04/English/ST-SG-AC10-30-Rev4e.pdf

¹³ <https://futurefuelsnordic.com/insight-into-zero-carbon-fuels-safety-and-regulations/>

¹⁴ <https://grontskipsfartsprogram.no/wp-content/uploads/2023/06/Ammonia-as-a-Marine-Fuel-Safety-Handbook-Rev.02-1.pdf?t=1699660800060>

regulations are in place, approval of ships using other gaseous or low flashpoint fuels than LNG will be based on first-principle analysis demonstrating that the design complies with the functional requirements of the IGF Code Part A. This risk-based approval process is referred to as the 'alternative design' approach (part A section 2.3 in the IGF Code), where an equivalent level of safety needs to be demonstrated as specified in SOLAS regulation II-1/55 and approved by the Administration.

The approval process for the alternative design approach is described in IMO MSC.1/Circ.1455. It can be a time-consuming process with a high degree of uncertainty and therefore potentially have a higher business risk than the prescriptive experience-based rules that the maritime industry is used to working with.

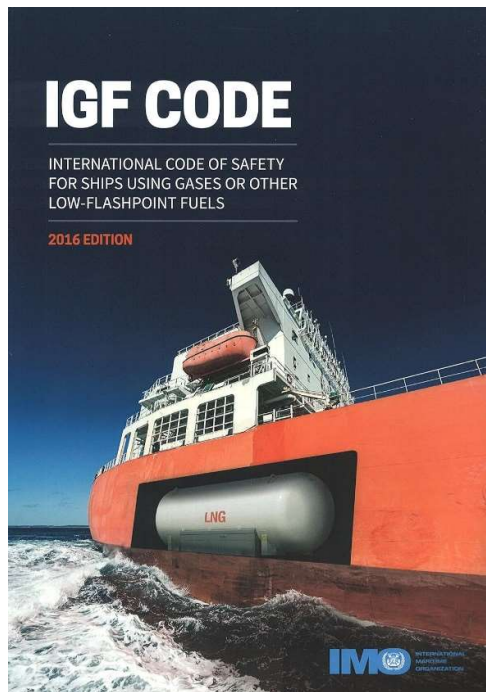


Figure 4: The IGF Code

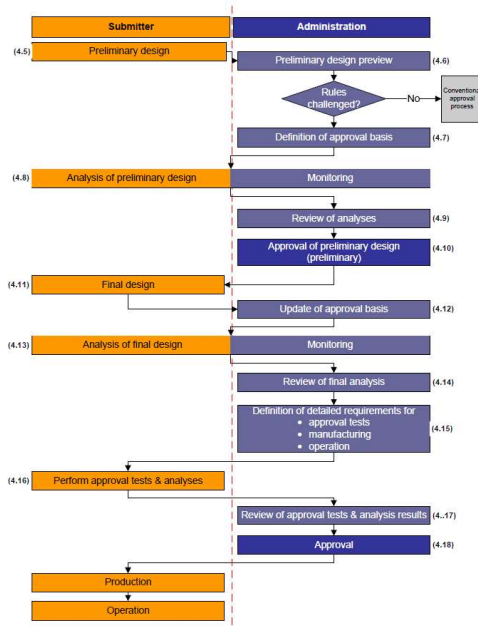


Figure 5: The alternative design and approval process per MSC.1/Circ.1455

IGF Code LNG safety principles and requirements applicability for ammonia fuel

The report *Fuel properties and their consequences for safety and operability*,¹⁵ developed as part of the project Nordic Roadmap for the introduction of sustainable zero-carbon fuels in shipping, initiated by the Nordic Council of Ministers, assesses the physical properties and related safety risks of natural gas, for which the IGF Code has put internationally recognised safety barriers in place to ensure safe use of natural gas as a fuel – and compares them to the physical properties and related safety risks of hydrogen, ammonia, and methanol. The aim is to map differences in behaviour between the fuels that may warrant a different approach to safe ship design when hydrogen, ammonia or methanol is used as a fuel.

The report finds many of the safety principles in the IGF Code for natural gas can be applied to ammonia – with substantial modifications to account for the additional toxicity risk upon loss of containment. The IGF Code requirements for natural gas fuel do not account for fuel toxicity, which necessitates stricter barriers to protect against ammonia exposure during normal operation and in emergency situations.

The suitability of using safety concept of the current regulations in the IGF Code for natural gas when applied to ammonia fuel is shown at a high level in Figure 6 below.

¹⁵ <https://futurefuelsnordic.com/insight-into-zero-carbon-fuels-safety-and-regulations/>

		IGF can be used		IGF minor changes		IGF major changes		IGF questionable		
	Segregation		System integrity		Double barriers				Leakage detection	Automatic isolation of leakages
	Mechanical damage	External fire	System design	Operational and emergency discharges	Piping	ESD machinery space	Double barrier spaces	Ventilation	LEL	ESD valves
Ammonia			corrosivity pressure toxicity	toxicity	toxicity	toxicity	toxicity	toxicity	toxicity	toxicity

Figure 6: IGF Code main safety principles applicability for ammonia

Rules from classification societies

When a Classification Society has developed a set of rules covering the use of a fuel where specific design requirements are not included in the IGF Code, a Flag Administration may accept the application of this rule set to ease the alternative design approach. A set of class rules may also form basis for development of international regulations in IMO. For ammonia as fuel, class rules and guidelines from various classification societies have existed since 2021 to accommodate owners, shipyards, and designers considering ammonia as fuel. It should however be noted that the class rules have various detail level and remain to be proven as no ammonia fuelled ship is realized yet.

DNV released classification rules for ammonia fuel 1 July 2021 with entry into force 1 January 2022. The rules were have been revised in July 2022 and 2023. DNV RU-SHIP Pt.6 Ch.2 Sec.14 Gas fuelled ammonia is rule set for the DNV Class notation Gas fuelled ammonia. The ruleset has been developed with basis in the current safety philosophies employed by the IGF Code for LNG (with segregation of the fuel systems, secondary enclosures, leak detection and isolation of leakages as the four main safety principles). Particular emphasis has been put on the toxicity of ammonia. The IGC Code has also been taken into consideration to meet the risks related to toxicity, and experience from DNV's class rules for refrigerating systems using ammonia (DNV Pt.4 Ch.6 Sec.6) has also been taken into account in the rule development process. In addition to the above rule basis, specially tailored requirements to the toxicity of ammonia have been developed for the class notation.



RULES FOR CLASSIFICATION

Ships

Edition July 2023

Part 6 Additional class notations**Chapter 2 Propulsion, power generation and auxiliary systems**

The content of this service document is the subject of intellectual property rights reserved by DNV AS ("DNV"). The user accepts that it is prohibited by anyone else but DNV and/or its licensees to offer and/or perform classification, certification and/or verification services, including the issuance of certificates and/or declarations of conformity, wholly or partly, on the basis of and/or pursuant to this document whether free of charge or chargeable, without DNV's prior written consent. DNV is not responsible for the consequences arising from any use of this document by others.

The PDF electronic version of this document available at the DNV website dnv.com is the official version. If there are any discrepancies between the PDF version and any other available version, the PDF version shall prevail.

DNV AS

Figure 7: DNV Rules for Classification of Ships

Development of international regulations in IMO

The development of guidelines for the safety of ships using ammonia as fuel was initiated at the 8th session of the sub-committee on carriage of cargoes and containers (CCC8) in September 2022 and is currently under consideration in a correspondence group following the session of CCC9¹⁶ that was held in September 2023. The guidelines will be structured as the IGF code with goals and functional requirements, in addition to new chapters regulating the toxicity related safety provisions. Based on the work in the Nordic Roadmap project, Norway on behalf of the Nordic countries submitted a proposal for a base document for “draft interim guidelines for the safety of ships using ammonia as fuel” with the correspondence group, as an information paper with supporting information to CCC9. The information paper was developed with the work described in Section 0 of this report as a basis, and contained a base document including functional and prescriptive requirements as a foundation for further consideration and development in the sessions and correspondence group. Japan submitted a similar information paper a base document including functional and prescriptive requirements.¹⁷ The information papers were partly reviewed in CCC9 in September 2023. The work will continue in a correspondence group towards CCC10 in September 2024. The work plan, updated at CCC9, foresees the further development of guidelines for ammonia to be completed at CCC10 in September 2024 and approved by MSC 109 in December 2024.

Directly pertaining to technical requirements in future interim guidelines, the Report of the CCC 9 Working Group states that in order to facilitate further discussion in the correspondence group towards CCC10, overarching directions and principles for the further development of the interim guidelines for ships using ammonia as fuel were discussed, and it was agreed that the following principles should be taken into account by the correspondence group:

¹⁶ <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/CCC-9th-session.aspx>

¹⁷ CCC 9/3: AMENDMENTS TO THE IGF CODE AND DEVELOPMENT OF GUIDELINES FOR ALTERNATIVE FUELS AND RELATED TECHNOLOGIES. Report of the Correspondence Group.

1. A holistic risk assessment should be carried out for the approval of ships using ammonia as fuel;
2. Among the three different storage options for ammonia, i.e. refrigerated ammonia, semi-refrigerated ammonia and pressurized ammonia, only the former two should be considered for the purpose of the interim guidelines as a first stage, and that the use of pressurized ammonia systems would be possible through the alternative design process;
3. Portable tank provisions for ammonia should not be specifically developed, whereby Administration looking into approving portable tanks for ammonia storage having to look into general provisions in the ammonia Guidelines, as well as the alternative design process;
4. ESD machinery space concept will not be considered for the Guidelines with the default option of having a gas-safe machinery space and Administrations looking into ESD approval for ammonia needing to go through the alternative design process;
5. Consideration of safe refuge on board ships using ammonia as fuel in case of ammonia contamination/leaks, taking into account the ship type and number of people on board; In this regard, it could be possible that the application of the interim guidelines could exclude specific ship types;
6. Provisions for personnel safety and PPE, recognized as a last line of defense, should be developed, taking into account shore-based industry practice and class rules;
7. In considering concentration limits for ammonia exposure for personnel in emergency cases with a major release of ammonia, the design should be that during normal operations there should be no ammonia present; and
8. To address ammonia release in the case of safety reasons (not emergency), e.g. as in a system shut-down scenario, release mitigating measures should be considered in the guidelines which may include ammonia scrubbers; in preparing such provisions the disposal of residues should be considered.

DNV Class evaluation of Blåvinge concept ammonia fuelled AHTS

As a part of this pilot project, the classification society DNV has reviewed the Blåvinge concept ammonia fuelled AHTS vessel design based on below listed drawings. A detailed technical review of the ammonia fuel system has not been carried out. The review has been carried out based on DNV's Gas fuelled ammonia rules in DNV RU-SHIP Pt.6 Ch.2 Sec.14. It is acknowledged that the ship is also subject to an Alternative Design Process in accordance with SOLAS regulation II-1/55 (ref. also IGF 2.3 and MSC.1/Circ.1455) and subject to Flag approval. This process could result in additional requirements. However, DNV's review has not detected major issues, seen in light of DNV's class rules, that DNV believes cannot be solved through technical design and measures.

Title	Drawing no.	Rev. no	Date
Design philosophy – gas fuelled ammonia – PN2804	2804-707-101	0	January 5, 2024
General Arrangement	2804-101-001	-	December 2023