

Nye Ambulansefartøy

Mulige konsept for null/lavutslipp drivstoff/energibærere 2022



Noen av dagens ambulansebåter, kun for illustrasjon

Referring to convention of Paris March 20, 1883, for "The protection of industrial property", we emphasize that all technical drawings, descriptions, models specifications, etc. belong to the design firm, and cannot be made public, copied or otherwise used without the written consent of our firm.

B	Etter gjennomsyn oppdragsgiver	22.11.2022	AM		
A2	Endelig utgave til gjennomsyn	20.11.2022	AM		MKD
A1	WORKING til gjennomsyn	14.11.2022	AM		
A	Utgitt etter intern kontroll	08.11.2022	AM		
U	Utkast	06.11.2022	Arne Markussen	Terje Richardsen	
Rev	Beskrivelse	Dato	Sign	Kontroll	Godkjent

Dok Nr: 22147-RX-01

Printed on: november 22, 2022

File: N:\M22\22147 Lavutslipp Ambulansebåter Helgelandssykehuset\22147 Helgelandssykehuset Ambulansebåter Alternative drivstoff Rev B 20221122.docx

INNHold

FORORD	5
SAMMENDRAG OG ANBEFALINGER	6
Aktuelle nye energibærere	6
Anbefalte mulige nye energibærere	7
Hybride anlegg	7
Kostnader, investering og drift	8
CO2 avgifter vil favorisere nye energibærere	9
Totalkostnader drivstoff og investering, spesifikk totalkostnad pr. CO2 enhet.	9
Energireducerende tiltak må vektlegges	10
Energireduksjon gir redusert klimagassutslipp også ved fortsatt dieseldrift	10
Tilgjengelighet av alternative drivstoff er en utfordring	10
Finansielle støtteordninger for prosjektutvikling og realisering	11
Videre arbeid	11
1. INTRODUKSJON	13
1.1 Hensikt	13
1.2 Grunnlag	13
1.3 Krav til nye fartøy	13
1.4 Aktuelle fartøy for studien	14
2. AKTUELLE ALTERNATIVE ENERGIBÆRERE (DRIVSTOFF)	16
2.1 Alternative energibærere, egenskaper	16
3. FOSSIL DIESEL OG BIODIESEL	18
3.1 Konvensjonell MDO	18
3.2 Biodiesel	18
3.3 Tekniske forhold og merkostnad ved implementering	19
4. NATURGASS LNG) OG BIOGASS (LBG)	19
4.1 LNG og LBG	19

5.	ELEKTRISITET OG BATTERIER	19
5.1	Ren elektrisk drift med batteri	19
5.2	Hybrid drift, diesel + elektrisk	24
5.3	Tekniske forhold og merkostnad ved implementering av elektrisk drift	24
6.	HYDROGEN, AMMONIAKK OG METANOL	25
6.1	Egenskaper, aktuelle systemer og lagringsalternativer	25
6.2	Miljøegenskaper for ulike aktuelle energibærere	27
6.3	Forbruk og kostnader for drift med Hydrogen, Ammoniakk og Metanol	27
6.4	Brenselceller for Hydrogen, Ammoniakk og Metanol	29
6.5	Ventilasjon og eksplosjonsfare, generelt	29
6.6	Tanker for flytende Hydrogen	30
6.7	Tanker for komprimert Hydrogen	31
6.8	Tanker for flytende Ammoniakk	31
6.9	Tanker for Metanol	32
6.10	Begrensninger og utfordringer med hydrogen, ammoniakk og metanol	32
6.11	Aktuelle klassenotasjoner vedrørende batteri og brenselceller	33
7.	SPESEILLE UTFORDRINGER VED IMPLEMENTERING ALTERNATIVE DRIVSTOFF	34
7.1	Konsekvenser for vekt og hastighet	34
7.2	Arrangement av ventilasjon fra tanker og maskinrom	34
7.3	Kostnader ved implementering	35
7.4	Tilgjengelighet, logistikk	35
8.	ENERGIREDUSERENDE TILTAK	35
8.1	Vektreduksjon	35
8.2	Energisparing øker mulighetene for implementering av alternative drivstoff	36
8.3	Potensialer for besparelser	37
8.4	Redusert utslipp ved fortsatt dieseldrift	37

9. OPPSUMMERING AV DE VIKTIGSTE DATA FOR AKTUELLE ENERGI BÆRERE	38
10. AKTUELLE REGELVERK OG RELEVANTE GUIDER	39
10.1 DNV regelverk	39
10.2 IMO regelverk	39
10.3 Guider og anbefalinger	39

Forord

På oppdrag fra Sykehusinnkjøp har vi utarbeidet denne studien med henblikk på å implementere ulike null-/lavutslipp energibærere/drivstoff i nye Ambulansebåter for operasjon på Helgeland.

Rapporten bygger på tilsvarende studie gjennomført i 2021 (Polarkonsult rapport 21216-RX-01).

Rapporten er også oppdatert med bakgrunn i Sykehusinnkjøp sin rapport «Tjenestedesign – ambulanserbåt, Forprosjektrapport, oktober 2022». Den nevne rapporten har ikke i tilstrekkelig grad belyst de utfordringer og muligheter som vi som maritimt kompetansemiljø vurderer finnes for de ulike energibærerne. Derfor har Polarkonsult AS levert en rapport som går mer i dybden rundt dette, og vi anbefaler at denne leses i samme kontekst.

Vi har tatt for oss de aktuelle energibærere for et fartøy av denne typen. For de mest aktuelle er det gjennomført en del vurderinger og mer detaljerte beregninger. For de energibærere som av ulike årsaker anses som uaktuelle, har vi kun gjengitt kortfattet argumentasjon. I rapporten har vi både brukt begrepene *energibærere* og *drivstoff* som i praksis har samme betydning i denne sammenheng.

Vi har satt Diesel (MDO) som referanse og har vurdert de øvrige i forhold til dette. Utgangspunktet for vurderingene er at alternative løsninger skal gi rekkevidde og hastigheter tilsvarende eksisterende fartøy.

Polarkonsult AS, 22. november 2022

*Arne Markussen
Prosjektleder*

Sammendrag og anbefalinger

Aktuelle nye energibærere

I tabellen under er vist en sammenstilling av muligheter og utfordringer knyttet til de aktuelle energibærere.

Fargene på cellene indikerer grad av utfordring, vektøkning, arrangementsutfordringer, etc. sett i forhold til referansen diesel.

Utslipp og kostnader	Uendret ift diesel	Lavere	Litt høyere	Moderat høyere	Vesentlig høyere
Tekniske utfordringer	Uendret ift diesel	Gunstigere	Noe krevende	Moderat krevende	Ganske Krevende

Energi-bærer	Utslipp ift konvensjonell diesel		Tekniske utfordringer arrangement ift konvensjonell diesel			Kostnader ift konvensjonell diesel		Logistikk og tilgang bunkring
	CO2	NOx	Vekt Installasjon	Vekt drivstoff	Arrangement	Installasjon	Drift	
Diesel MDO	Høy	Tier II/III	Moderat	Moderat	Moderat	Moderat	Moderat	Enkel
Biodiesel	60% lavere 2)	Tier II/III	Uendret	Uendret	Uendret	Lav	Høyere	Lav/Moderat
Elektrisk (batteri)	Null 1)	Null	Vesentlig høyere	Null	Vesentlig Vanskeligere	Mye høyere	Lavere	Enkel
Hybrid (Diesel + el)	Nær referanse	Tier II/III	Moderat høyere	Noe lavere	Moderat	Moderat høyere	Nær referanse	Enkel
LNG	25 % Lavere	Tier III	Vesentlig høyere	Litt høyere	Vanskeligere	Høyere	Moderat høyere	Moderat/Vanskelig
LBG	Null 2)	Tier III	Vesentlig høyere	Litt høyere	Vanskeligere	Høyere	Moderat høyere	Moderat/Vanskelig
Hydrogen Brenselcelle	Null 1)	Null	Moderat høyere	Vesentlig lavere	Moderat vanskeligere	Mye høyere	Moderat høyere	Uklar
Ammoniakk Brenselcelle	Null 1)	Noe Lavere UKLAR	Moderat høyere	Moderat høyere	Moderat vanskeligere	Høyere	Moderat høyere	Uklar
Metanol Brenselcelle	Null 1)	Null	Noe høyere	Moderat høyere	Moderat	Moderat høyere	Moderat høyere	Uklar

Tabell 0-1, Kvalitative konklusjoner for de ulike alternativer. Diesel er referanse.

- 1) Forutsetter produksjon basert på fornybar energi (Vann/vind kraft). Grønn Hydrogen, Ammoniakk, Metanol
- 2) Forutsetter avansert produksjon fra biomasse (avfall)

De kvalitative vurderingene tar utgangspunkt i teknologi på 2022/23-nivå. Utviklingen innen området nye energibærere går imidlertid raskt med framvekst av ny teknologi som både kan redusere kostnader, spare vekt og tilby alternative arrangementsløsninger. Det vil derfor være viktig å følge med på teknologiutviklingen. Kostnadsestimatene tar også utgangspunkt i 2022-priser.

Anbefalte mulige nye energibærere

Med grunnlag i de vurderingene som er gjengitt i rapporten finner vi at følgende energibærere kan være aktuelle for Ambulansebåter når en prioriterer reduksjon av klimautslipp høyt.

- **Fossil diesel, referanse**
Drift med fossil diesel (MDO) utgjør referanse og bør være godt kjent. Priser på diesel er p.t. meget høy og fluktuerende i et urolig energimarked. I beregninger er lagt inn priser på dagens nivå.
- **Biodiesel / konvensjonell forbrenningsmotor**
Drift med avansert biodiesel, produsert av biologisk avfall, gir pr. definisjon nullutslipp. Krever lav investering, men gir høyere driftskostnader, ca 2 ganger referanseverdien. Dette er moden teknologi som kan implementeres raskt.
- **Grønn Hydrogen / Brenselceller**
Er teknologisk krevende, høye investeringskostnader, høye driftskostnader og gir økt vekt på fartøyet. Lav egenvekt på drivstoff fordrer store tankvolumer og for kompakte Ambulansebåter vil dette medføre at bunkringsfrekvens må økes. Hydrogen er fremtidsrettet og gir høy gjennomslagskraft i tilgjengelige støtteordninger. Relativt kjent og til dels moden teknologi, men som bør utredes noe nærmere før eventuell anskaffelse gjennomføres.
- **Grønn Ammoniakk / Brenselceller**
Som for Hydrogen, teknologisk krevende, høye investeringskostnader, høye driftskostnader og økt vekt. Også Ammoniakk er fremtidsrettet og gir høy gjennomslagskraft i tilgjengelige støtteordninger. Investeringskostnader og driftskostnader ligger dog noe under Hydrogen og de teknologiske utfordringene er noe enklere. Relativt kjent og til dels moden teknologi, men som bør utredes noe nærmere før eventuell anskaffelse gjennomføres. Høyere energitetthet pr. volum gir noe bedre rekkevidde enn hydrogen gitt akseptable tankstørrelser. Lavere energitetthet pr. vektenhet gir økt operativ vekt på fartøyet.
- **Grønn Metanol / Brenselceller**
Moderat krevende teknologi, men noe enklere enn hydrogen og ammoniakk. Moderat investeringskostnad og driftskostnad. Til dels moden teknologi, men som bør utredes noe nærmere før eventuell anskaffelse gjennomføres. Kan lagres i skrogtanker som derfor kan gi god rekkevidde.

Både hydrogen, ammoniakk og metanol fordrer komponenter som gir økt operativ vekt på fartøyet og derved høyere forbruk. Vekt er hurtigbåtens-, og følgelig også ambulansbåtens, verste fiende.

Hybride anlegg

En kan også tenke seg Hybride anlegg, dvs. kombinasjoner av ulike energibærere. Alle alternative energibærere (LNG, LBG, Elektrisk, Hydrogen, Ammoniakk, Metanol) kan uten de store utfordringer kombineres med konvensjonell diesel. For enkelte energibærere vil det også være til dels nødvendig med diesel reservekraft. Dette gjelder spesielt for Hydrogen, Ammoniakk og Metanol der tilgjengelighet kan være en utfordring. Elektrisk framdrift og batteripakke gjør hybride anlegg vesentlig mer aktuell enn anlegg der framdrift besørges av direktdrevet diesel.

Energi-bærer	Diesel MDO	BIO Diesel	Elektrisk Batteri	LNG	LBG	Hydrogen	Ammoniakk	Metanol
Diesel MDO								
BIO-diesel								
Elektrisk Batteri								
LNG								
LBG								
Hydrogen Brenselcelle								
Ammoniakk Brenselcelle								
Metanol Brenselcelle								

Tabell 0-2 Aktuelle kombinasjoner, Sterkest grønn farge er mest aktuell, rød indikerer ikke-anbefalte kombinasjoner

Både Hydrogen, Ammoniakk og Metanol kommer i Grønn, Blå og Grå utgaver avhengig av produksjonsform. Forutsatt grønn produksjon basert på fornybar energi (vannkraft, vindkraft eller biologisk materiale) vil disse energibærerne i prinsippet regnes som nullutslipp ved forbrenning. Da er transport av drivstoffet, fram til det er om bord, ikke medregnet. Blå utgaver kan, dersom produksjonsanlegg drives med CO2 fangst, også betegnes som tilnærmet nullutslipp, mens de grå utgaver etter alt dømme har utslipp av klimagasser som er høyere enn referanse (MDO).

Vi har ikke utredet hybrid drift spesielt i denne studien for ambulansebåtene. Alle de alternative drivstoffene krever- eller bør ha reserve dieselaggregat som kan settes i drift ved black-out eller tomme tanker for det alternative drivstoffet. Størrelsen på dette aggregatet må tilpasses oppdragsgivers krav til hastighet i et slikt tilfelle. Vi anser kombinasjoner av drivstoffene Hydrogen, Ammoniakk og Metanol som uaktuelle idet disse vil kreve store og dyre installasjoner for hver av disse.

Kostnader, investering og drift

Merkostnader for tilpasning er estimert til

Merkostnad CAPEX i mill kr.	Biodiesel	Batteri 50 nm	Hydrogen	Ammoniakk	Metanol
Ambulansebåt	~ 0	30 – 40	30 – 35	25 – 30	15 – 20

Tabell 0-3 CAPEX merkostnad pr. fartøy for de ulike alternativer

Kostnad for drivstoff (grønn versjon) for de ulike alternativer er gitt i Tabell 0-4 nedenfor.

Merkostnader for drivstoff er ca 20-50% høyere i forhold til diesel. Drivstoffprisene er i dagens marked imidlertid svært ustabile, men det har i de senere årene vært en tendens til at merkostnadene for alternative drivstoff er redusert, samtidig som prisene på fossile drivstoff er

skutt i været i 2021-22. Vi regner med at energimarkedet vil stabilisere seg etter hvert og at fossile drivstoff kommer ned på normale priser.

Drivstoffkostnader i mill kr. pr. år ved 25 kn (2022 tall) pr. fartøy	Fossil Diesel	Biodiesel	Hydrogen	Ammoniakk	Metanol
Ved rekkevidde 300 nm	3,7	7,1	5,7	6,0	6,9
Merkostnad ift diesel		3,4	2,0	2,3	3,2
Ved rekkevidde 200 nm	3,7	7,1	5,5	5,6	6,6
Merkostnad ift diesel		3,4	1,8	1,9	2,9

Tabell 0-4 Årlige kostnader for ulike drivstoff (grønn versjon) pr. fartøy ved 35.000 nm årlig utseilt distanse

CO2 avgifter vil favorisere nye energibærere

Fossile drivstoff vil imidlertid få økende CO2 avgifter som kan gjøre disse dyrere framover. Slik endring vil være i favør av nye energibærere, i tråd med hensikten med CO2 avgiften.

Inneværende år (2022)

CO2 avgift 591 kr/tonn, tilsvarende kr. 2,05 pr liter diesel

Forslag statsbudsjett 2023

CO2 avgift 766 kr/tonn, tilsvarende kr. 2,65 pr liter diesel

Antydte nivå fram mot 2030

CO2 avgift ca. 2000 kr/tonn, tilsvarende ca. kr. 7,00 pr. liter diesel.

Dette indikerer prisøkning på diesel fra dagens kr. 14 pr. liter til kr. 19 pr. liter tilsvarende ca 35% økning. Dette er verd å merke seg i et 10-års perspektiv. Økningen i CO2 avgift vil ikke slå inn på alternative grønne drivstoff.

Merkostnadene for alternative drivstoff angitt i Tabell 0-4 vil, ved økning i CO2 avgift opp mot antydte 2030-nivå, i så fall bli om lag 1-1,5 mill kr lavere pr. år.

Totalkostnader drivstoff og investering, spesifikk totalkostnad pr. CO2 enhet.

Med grunnlag i de gjennomførte kostnadsestimatene for Investering og drift, kan totale merkostnader utledes.

Ved en slik sammenstilling kan også kostnad pr. tonn redusert karbonavtrykk utledes. I beregningen er det forutsatt at de alternative energibærerne fremstilles ved grønne metoder, dvs. av fornybar energi/bioråstoff.

Merinvesteringene er avskrevet over 20 år med 5% rente p.a. Vedlikeholdskostnader er ikke medtatt idet slike kostnader pr. i dag er meget usikre. Det er imidlertid grunn til å tro at det vil

påløpe ekstra vedlikeholdskostnader for alternativene Hydrogen, Ammoniakk og Metanol i forhold til diesel, men at disse tre vil ha relativt like merkostnader.

Ambulansefartøy tilpasning (MNOK)	Diesel	Biodiesel	Batteri	Hydrogen	Ammoniakk	Metanol
Merkostnad tilpasning (median)	0,0	0,0	50,0	32,5	27,5	17,5
Årlig kapitalkostnad, 5%/20 år	0,0	0,0	3,8	2,5	2,1	1,3
Merkostnad energi ift diesel, 300 nm rekkevidde	0,0	3,4	-3,0	2,0	2,3	3,2
Samlet merkostnad eks. vedlikehold, etv.	0,0	3,4	0,8	4,5	4,4	4,5
Reduksjon CO2 utslipp (tonn) (grønne alternativer)	712					
Kostnad pr. tonn årlig redusert CO2 utslipp (NOK)	0	4 775	1 153	6 297	6 182	6 373

Tabell 0-5 Årlige totalkostnader for ulike alternativer av tilpasning. Kostnad pr. tonn redusert CO2 utslipp.

De presenterte kostnadstallene er usikre og preges av urolige tider i energimarkedet. Det er også vanskelig å skaffe konkrete priser på de grønne versjonene. Oppgitte bunkerspriser på verdensmarkedet er basert på de fossile (grå) utgaver.

Det kan også påregnes endringer i driftskostnader ut over selve drivstoffet; vedlikehold, utskiftinger, klassekostnader, etc. Kostnadsnivået er usikkert, men vi tror ikke dette vil få stor betydning for valg av alternativ for Ambulansebåter.

Det er imidlertid liten tvil om at overgang til alternative drivstoff vil medføre en viss årlig kostnadsøkning.

Energireducerende tiltak må vektlegges

Høy investeringskostnad, høye drivstoffkostnader, høy vekt for installasjon er drivere mot å ta i bruk alternative drivstoff. Dersom alternative drivstoff skal tas i bruk vil derfor reduksjon i energibruk være meget sentralt, både kostnadsmessig og teknologisk.

I en prosjektutvikling må det legges stor vekt på energireducerende tiltak, både teknologisk og operativt. I rapporten pekes det på ulike tiltak som vi i sum mener har potensiale til reduksjon i størrelsesorden 20-30%. Prosentsatsen forutsetter at besparelsene tar utgangspunkt i fartøy med like kapasiteter for behandling, innredningsarealer, sjødyktighet, etc.

I et utviklingsprosjekt vil slike teknologiske og operative tiltak kunne utvikles parallelt med teknisk utvikling av teknologi knyttet til de alternative drivstoff.

Energireduksjon gir redusert klimagassutslipp også ved fortsatt dieseldrift

Energireducerende tiltak vil også kunne redusere utslipp av klimagasser direkte selv om en velger fortsatt drift med konvensjonell diesel.

20-30% reduksjon i energiforbruk vil ved fortsatt drift med diesel vil kunne redusere årlig utslipp med 150-200 tonn CO2 pr. fartøy. Det er ikke gjort estimat på hva slike tiltak vil koste. Vi har grunn til å tro at slike tiltak vil kunne gjennomføres til langt lavere kostnad enn merkostnadene ved å ta i bruk hydrogen, ammoniakk eller metanol.

Tilgjengelighet av alternative drivstoff er en utfordring

Tilgjengelighet av elektrisk energi for batteri-/elektrisk drift må betegnes som god. Nord-Norge har overskudd av elektrisk energi, mens fordelingsnettet enkelte steder ikke er dimensjonert for store ladeeffekter. Lading i etablerte større havner vil være mulig uten større tiltak. Flere havner har

ytterligere planer om utbygging av landstrømanlegg. Ved lading på mer perifere lokasjoner i ambulanssebåtens operasjonsområde kan batteripakke på land kompensere for manglende overføringskapasitet i nettet. Utbygging av ladestasjoner for ambulanssebåter vil måtte påregnes.

Pr. i dag finnes det ikke infrastruktur for levering av alternative drivstoff Hydrogen, Ammoniakk og Metanol. Levering av disse må baseres på levering fra tankbil.

Utbygging av infrastruktur vil være avhengig av økende etterspørsel. «Fremtidens Hurtigbåt» kan være et prosjekt som driver fram distribusjon av hydrogen. Også andre etablerte initiativ kan være pådrivere.

Det er imidlertid lite trolig at det vil bli etablert omfattende infrastruktur for alternative drivstoff de nærmeste 5-10 år.

Finansielle støtteordninger for prosjektutvikling og realisering

Det finnes en rekke støtteordninger for prosjektering og gjennomføring av prosjekter med henblikk på realisering av prosjekter med nye lav- og nullutslipp energibærere.

Her finner vi eksempelvis Grønn Plattform, Forskningsrådets IPN, Regionale Forskningsfond, Enova sine støtteordninger, NOx- fondet, etc.

Det er grunn til å nevne **Grønn Plattform** nærmere. Dette er et program finansiert av Forskningsrådet, Innovasjon Norge og Siva. Hensikten er å gi muligheter for grønn verdiskaping gjennom større prosjekter. Prosjektene skal omfatte hele verdikjeden fra forskning og kunnskapsproduksjon til testing, kommersialisering og industrialisering av bærekraftige, grønne produkter og tjenester. Prosjektene skal ha et støttebehov i størrelsesorden 30 til 80 mill. kr. Dette kan ligge godt til rette for deltakelse fra forskning, designselskap, båtprodusent, utstyrsleverandør, kunde (Helseforetak) og brukere. Søknadsfristen var 14. september 2022. I regjeringens forslag til statsbudsjett for 2023 er det avsatt 600 mill. kr. til Grønn Plattform for 2023-25. Rammen er eksempelvis tilstrekkelig til 10-15 ulike prosjekt.

Som forløper for et større prosjekt innen Grønn Plattform kan det være aktuelt å gjennomføre et mindre FoU-prosjekt (Innovasjonsprosjekt i næringslivet IPN, Innovasjonsprosjekt i offentlig sektor, Regionale Forskningsfond, o.l.) med henblikk på en nærmere studie av energisparing og hvilket potensiale en kan forvente. Det kan også være aktuelt å gjøre nærmere analyser for å velge det mest realistiske alternative drivstoff for ambulanssebåter. Dette vil være et FoU-prosjekt som kan berede grunnen for å gjennomføre et spissere prosjekt innen Grønn Plattform.

Et større prosjekt vil også kunne gjennomføres med støtte fra EU's Green Deal satsing innen **Horisont Europa**. Da kreves samarbeid med bedrifter og institusjoner i andre EU-land. Vi vil tro at flere europeiske land har lignende ambulansetjenester.

Videre arbeid

Basert på avtalen med Sykehusinnkjøp er dette en kortfattet og skissemessig vurdering som skal gi et bilde av mulighetene for lav/nullutslipps ambulanssebåter.

Det foreligger foreløpige anbefalinger, men i forkant av en anskaffelse bør det gjennomføres nærmere avklaringer av konkrete tekniske konsekvenser, investeringskostnader, logistikkutfordringer, etc. Det bør derfor gjennomføres en detaljert konseptutredning av de mest aktuelle energibærerne. Spesielt for Hydrogen, Ammoniakk og Metanol vil en nærmere utredning være aktuelt.

Det vil fremgå av vurderingene at noen av løsningene vil medføre høyere vekt og ikke minst økte investeringskostnader. Vi må dog presisere at estimatene for investeringskostnad er svært usikre. Vi tror det kan være formålstjenlig at oppdragsgiver vurderer rekkevidde og kanskje hastighet for å redusere de negative effektene av noen av de alternative energibærerne for at de skal kunne framstå som realistiske.

For å muliggjøre bruk av null- og lavutslipp energibærere vil redusert energibruk i drift være sentralt. Reduksjon av energiforbruk til oppvarming, ventilasjon, etc. gjennom bruk av varmegjenvinning, bedre isolasjon, belysning, etc. er tiltak som må implementeres.

Likeledes kan alternative skrogformer og fremdriftssystemer bidra til redusert energibruk til framdrift. Foiler, luftputeteknologi, luftinjisering, etc. er teknologier som bør ses nærmere på. Prosjektet Framtidens hurtigbåt vil kunne gi verdifull innsikt framover.

Leveringssikkerhet/frekvens for alternative drivstoff vil være sentralt i en vurdering av dette.

En utrednings- og anskaffelsesprosess der slike energibærere er ønsket, vil ligge til rette for støtte fra ulike offentlige støtteordninger. Også bruk av alternative anskaffelsesprosesser må vurderes; FoU kontrakter, konkurransepreget dialog, etc.

Det eksisterer en rekke finansierings- og støtteprogram som kan benyttes i både utrednings- og realiseringsfase. Det er all grunn til å vurdere etablering av prosjekter som kan motta finansiell støtte til gjennomføring av prosjekt. Prosjektene må designes i henhold til formål og krav innen de enkelte ordninger.

Polarkonsult kan gjennomføre videre utredninger og fasilitere videre prosjektarbeid dersom oppdragsgiver er innstilt på det.

1. Introduksjon

1.1 Hensikt

På oppdrag fra Sykehusinnkjøp og Helgelandssykehuset har vi utarbeidet denne kortfattede mulighetsstudien for å kunne implementere ulike null/lavutslipp energibærere/drivstoff i nye Ambulansebåter for operasjon på Helgeland.

1.2 Grunnlag

Utredningen tar utgangspunkt i operasjonsmønstre for eksisterende Ambulansebåter i Helgelandssykehusets tjeneste med stasjonering i Rødøy, Bjørn og Indre Kvarøy. Disse grunnlagsdata er beholdt uendret i forhold til 2021 rapporten idet vi ikke har opplysninger om endring.

Oppdragsgiver har oppgitt oppdragsintensitet over 10 mnd som gir følgende årlige aktivitet:

Stasjonering	Registrert pr. 10 mnd			Årlig				
	Ant oppdrag	Distanse (km)	Varighet (timer)	Distanse (nm)	Varighet (timer)	Pr. oppdr (timer)	Snitt ant pr. dag	Snitt dist (nm)
Vega	848	53 598	1943	34 729	2331	2,29	2,8	34
Dønna	651	36 228	1367	23 474	1649	2,10	2,2	30
Lurøy	536	36 153	1365	23 425	1638	2,58	1,8	37
Grunnlag i beregninger, analyser				35 000				

Dagens fartøy, Brd Aa, eksempelvis Eyr Myken, byggeår 2012

- Loa x B = 20,00 x 4,65
- Framdriftsmotorer: 2 x Volvo D13 marine diesel, 2 x 588 kW
- Propelleranlegg: Volvo IPS 1050
- Toppfart 40 knop
- Servicefart i utrykning 35 knop

1.3 Krav til nye fartøy

Oppdragsgiver fremholder at nye følgende bør ha kapasiteter tilsvarende eksisterende fartøy

- Rekkevidde for hver bunkring settes til 300 nm
- Servicefart i utrykning 35 knop
- Typisk lengste strekning for syketransport (Dønna) er 3 timer tilsvarende 100 nm, dvs. 200 nm totalt.¹

¹ Rapporten «Tjenestedesign – ambulansebåter» oktober 2021.

1.4 Aktuelle fartøy for studien

I den senere tiden er det levert flere to-skrogs fartøy for ambulansetjeneste i ulike deler av landet. Disse er i hovedsak noe større enn en-skrogs fartøyene nevnt ovenfor og har jevnt over bedre sjøegenskaper og evne til å opprettholde fart i grov sjø.

I rapporten «Tjenstedesign – ambulansebåter» trekkes anskaffelse av to-skrogs fartøy fram som et sterkt ønske fra ulike hold.

Eksempelfartøy er **Rosedoktoren, Rygervakt og Thea Jensen** som alle er noe større fartøy enn **Eyr Myken**.

I denne studien har vi derfor landet på å vurdere to alternative fartøykonsept med egenskaper og effekter som anses som representative for båttypen.

	Typisk (stor) katamaran	Typisk enskrogsbåt
Lengde	22,0 m	20,0 m
Bredde	7,8 m	4,5 m
Servicefart	30 knop	35 knop
Toppfart	32-35 knop	40 knop
Maskineri	2 x 550/750 kW	2 x 500/600 kW
Forbruk (l/nm) økonomi fart	8 l/nm – ved 24-25 knop	7 l/nm – ved 33 knop

Selv om lengde på disse to prinsipielt ikke er veldig forskjellig, er dette to ganske ulike fartøy mht plassforhold og fasiliteter om bord. Katamaranen har vesentlig større plass om bord med nesten dobbelt dekkareal som enskrogsbåten. Størrelsen medfører også at katamaranen har større energiforbruk og for å holde forbruk på et akseptabelt nivå er maks servicefart og økonomifart lavere.

Vi har innhentet opplysninger om fart/effekt fra ulike produsenter og mener følgende kurver er representative for fart/effekt. Vi har også satt opp en kurve for katamaran som viser effekten på nødvendig effekt ved økende vekt. Denne effekten er vesentlig for vurderingene og er berørt senere i rapporten.

Med bakgrunn i begrenset budsjett for denne studien, har vi fokusert på 22 m katamaran idet problemstillinger og vurderinger ikke vil være vesentlig forskjellige for enskrogsbåten. Den har om lag 50% motstand ift katamaranen, men også om lag 50% av dennes størrelse/bæreevne. Problemstillingene vil derfor være ganske like.

Motstandskurvene er tillagt 15% sjøtillegg i forhold til stille vann.

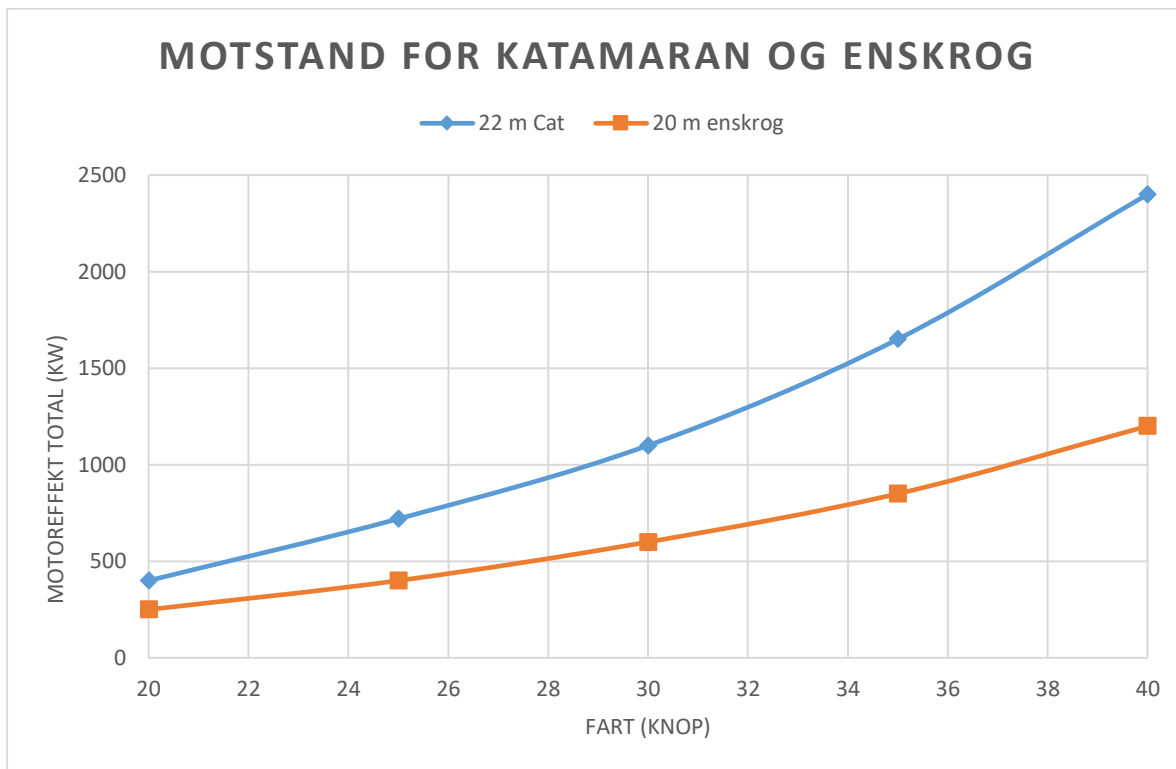


Figure 1, Typisk effektbehov for en- og toskrogsbåt

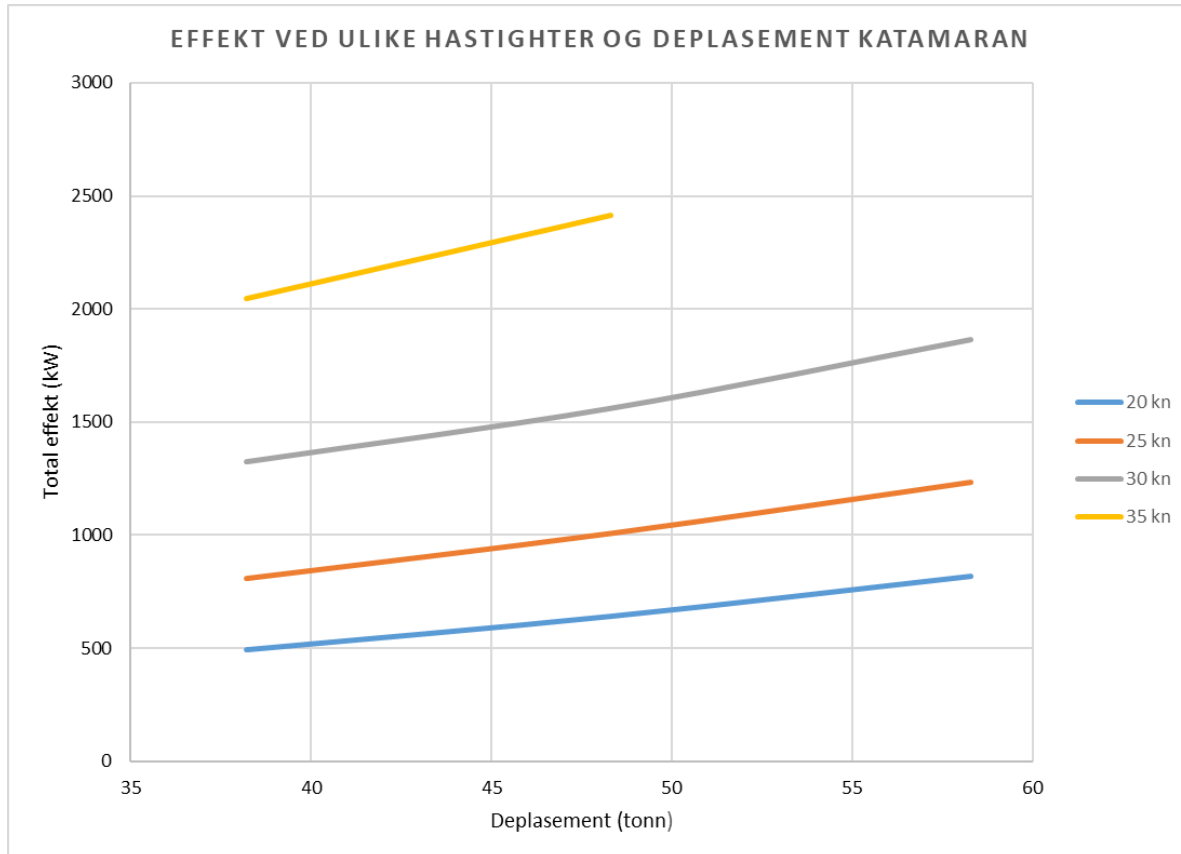


Figure 2, Effekt av økende deplasement for katamaran

2. Aktuelle alternative energibærere (drivstoff)

2.1 Alternative energibærere, egenskaper

Studien omfatter følgende aktuelle energibærere

	Diesel	Biodiesel	LNG	LBG	Hyd	Amm	Metanol	EL
Energiinnhold (kWh/kg)	11,8	11,5	13,8	13,0	33,3	5,2	5,5	-
Energiinnhold (kWh/liter)	9,9	9,7	5,9	5,5	2,3	3,5	4,2	-
Lagertemp	Normal	Normal	- 160	-160	- 250	-33 Normal	Normal	
Lagringstrykk	Atm	Atm	1-10 bar	1-10 bar	1-10 bar	Atm 18 bar	Atm	-
Egenvekt	0,85	0,85	0,45	0,42	0,07	0,68	0,79	-
Ca pris (kr/kg) Kr/liter for diesel	14	27	20	30	60	9	12	-
Pris pr. kWh (kr)	1	2	1,45	2,30	1,80	1,75	2,15	0,70
Termisk virkningsgrad 1)	42%	42%	45%	45%	48%	48%	48%	95%
Pris pr. aksel kWh (kr)	2,40	4,8	3,20	5,10	3,75	3,65	4,50	0,75
Pris relativ til MDO	1 X	2 X	1,35 X	2,2 X	1,55 X	1,5 X	1,9 X	0,3 X

Tabell 2-1 Oversikt aktuelle energibærere

- 1) Antatt termisk virkningsgrad i motor eller brenselcelle
- 2) Prisene i de gule feltene må anses som foreløpige i denne utgaven

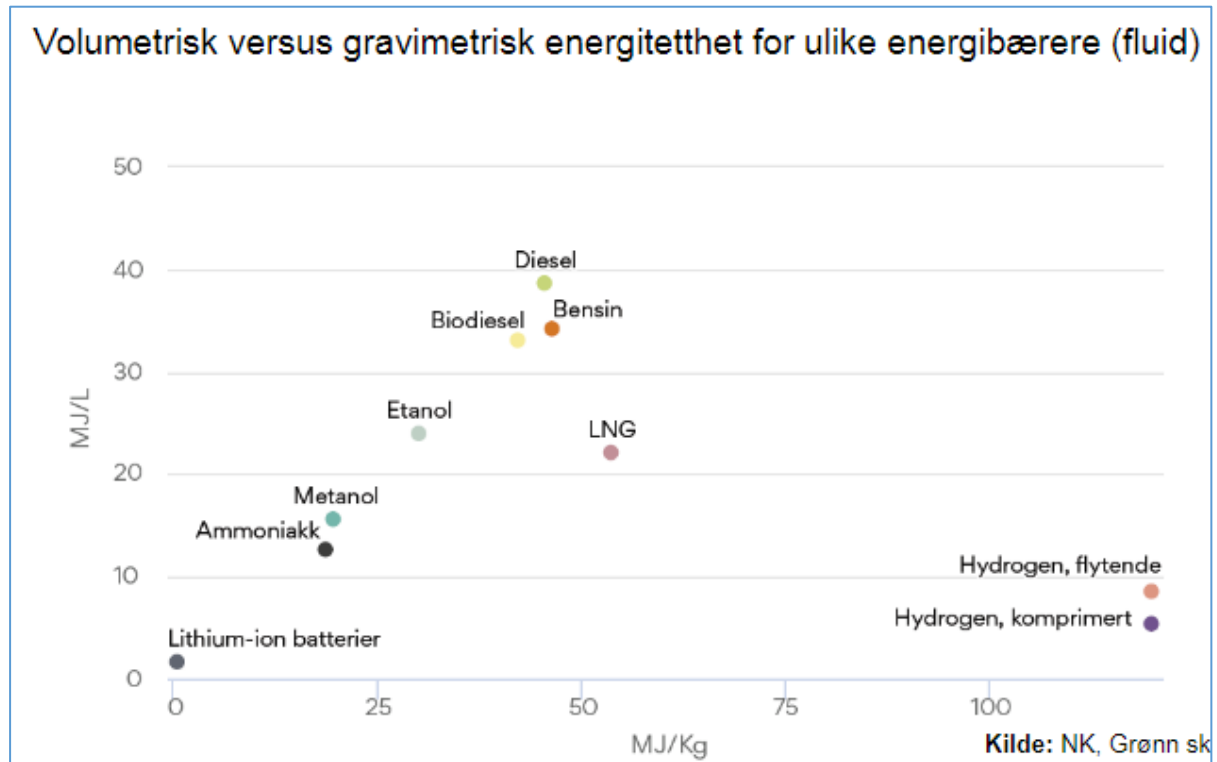


Figure 3 - Energitetthet ulike drivstoff

Vi kan generelt si at for lik rekkevidde og fart:

- Flytende Hydrogen tar vesentlig mer plass, men er lettere enn diesel.
- Komprimert Hydrogen tar enda mer plass og er lettere enn diesel.
- Ammoniakk og Metanol tar både mer plass og er tyngre enn diesel. Dette grunnet lavere energitetthet.

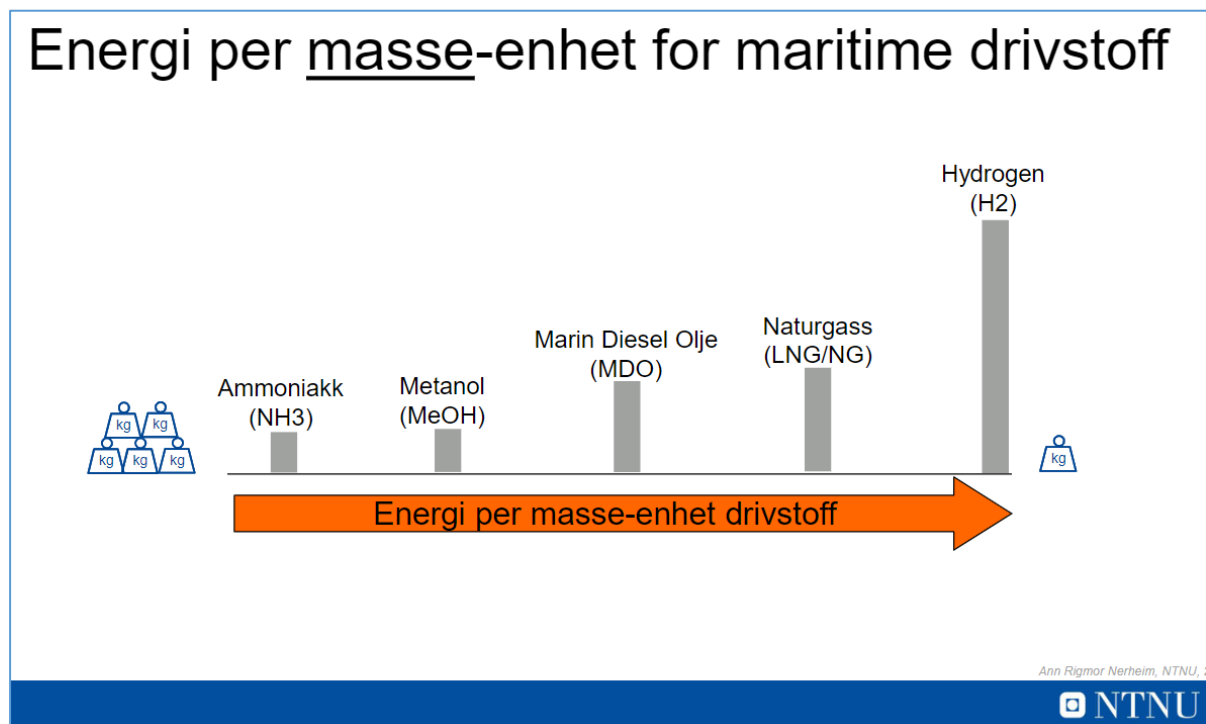
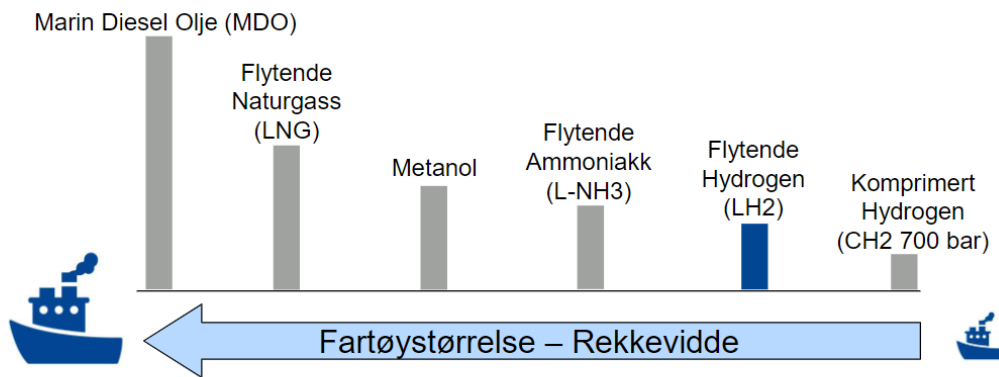


Figure 4 - Energitetthet pr masse

Energi per volum-enhet for maritime drivstoff



Ann Rigmor Nerheim, NTNU, 2019


Figure 5 - Energitetthet pr volum

3. Fossil diesel og biodiesel

3.1 Konvensjonell MDO

Med basis i foregående grunnlagsdata har vi satt opp forbruksdata for Dieseldrift.

Beregnet årlig CO2 utslipp for konvensjonell dieseldrift pr. fartøy med 35.000 nm drift er:

22 m Cat Fart (kn)	Nominell Effekt (kW)	Diesel, Årlig 35 000 nm				CO2 utslipp tonn
		Tid (timer)	l/nm	m3	tonn	
20	500	15,00	5,91	207	176	557
25	800	12,00	7,56	265	225	713
30	1150	10,00	9,06	317	269	854
35	1750	8,57	11,81	413	351	1114
40	2300	7,50	13,58	475	404	1281

Tabell 3-1, Utslippsdata ved konvensjonell dieseldrift

Dette vil være referanseanlegg for studiene av alternative energibærere/drivstoff

3.2 Biodiesel

Det er pr. i dag fullt mulig å kjøre på ulike kvaliteter av biologisk diesel i de aktuelle dieselmotorer som er på markedet.

MDO Marine dieselolje eller gassolje som i dag.
Pris i modell: 14 kr/liter

Biodiesel: Fellesnavnet for biodiesel er FAME (fettsyremetylester). Kan redusere CO2 utslipp med opptil 90% avhengig av fremstillingsmetode. Her finnes det også mange undergrupper. Ved forbrenning slipper også biodiesel ut CO2 på nivå med fossil diesel, men fremstillingen av biodiesel medfører netto lavere utslipp.

HVO100 Andre generasjons biodrivstoff. HVO100 M-22 reduserer CO2 utslipp med 60%. Tekniske egenskaper er tilnærmet lik fossil diesel og i beregninger har vi ikke tatt hensyn til små forskjeller. HVO100 er om lag dobbelt så dyr enn MDO.
Pris i modell: 27 kr/liter

B100 B100 Biodiesel RME *Premium*. Tekniske egenskaper omtrent som HVO100. B100 er om lag dobbelt så dyr som MDO.
Pris i modell: 27 kr/liter

De ulike alternativene er aktuell for Ambulansebåter.

22 m Cat Fart (kn)	Nominell Effekt (kW)	Diesel, Rekkevidde 300 nm				Årlig kost		
		Tid (timer)	l/nm	m3	tonn	(kNOK)	HVO100	B100
20	500	15,00	5,91	1,77	1,51	2 894	5 581	5 581
25	800	12,00	7,56	2,27	1,93	3 704	7 143	7 143
30	1150	10,00	9,06	2,72	2,31	4 437	8 557	8 557
35	1750	8,57	11,81	3,54	3,01	5 788	11 162	11 162
40	2300	7,50	13,58	4,07	3,46	6 656	12 836	12 836
Rekkevidde	300				Kr/liter	14,00	27,00	27,00
Tankstørrelse ved angitt rekkevidde og 25 kn				2,9				

Tabell 3-2, Data for drift med MDO og biodiesel, spesifikt forbruk ca 200 g/kWh

3.3 Tekniske forhold og merkostnad ved implementering

De fleste dieselmotorer kan kjøres på biodiesel med minimale tilpasninger og justeringer.

I forhold til denne skissemessige studien, kan vi derfor fastslå at dette alternativet ikke har nevneverdige tekniske og prismessige konsekvenser ved implementering.

4. Naturgass LNG) og biogass (LBG)

4.1 LNG og LBG

Naturgass (LNG Liquid Natural Gas, i hovedsak metan) har om lag 25% lavere CO2 utslipp enn diesel. LBG (Liquid Bio Gas) framstilt av biologisk avfall er definert som null-utslipp av CO2.

Teknologi for LNG/LBG er utviklet for større motorer/skip, der både motorer, tanker og tilhørende systemer er tunge og store. LNG/LBG er derfor uaktuell for båttypen.

5. Elektrisitet og batterier

5.1 Ren elektrisk drift med batteri

El-drift er i dag kjent teknologi og kan regnes som «hyllevare». En installasjon vil omfatte elektriske motorer på framdriftsenhet, nødvendig elektroinstallasjoner som tavler, frekvensomformere, elektronisk styring samt selve batteriene. Det bør også installeres en

dieselgenerator for nøddrift dersom fartøyet går tom for strøm. Dette regnes som essensielt på denne type fartøy med krav til operasjonssikkerhet. Dieselgenerator kan drives med biodiesel for å beholde fartøyet som nullutslipp.

Det eksisterer en rekke leverandører av utstyr og batteri. Rådende teknologi for maritime batterier har tidligere vært typiske rack plassert i egne batterirom. Tradisjonelt har også kravet til C-faktor for slike installasjoner vært i området 1,0 - 3,0. Disse har typisk hatt en gravimetrisk energitetthet på 80 Wh/kg (13 kg/kWh) og en volumetrisk energitetthet på 88Wh/liter (0,011 m³/kWh).

C-faktor er et mål på hvor raskt et batteri kan lades og utlades. Eksempelvis C-faktor 1 for et rack på 250 kWh kan ved c-faktor 3,0 ta ut 750 kW, c-faktor 1,0 gir 250 kW og c-faktor 0,5 gir 125 kW.

C-faktor er derfor en vesentlig størrelse å ta i betraktning når store effekter skal tas ut. I vårt tilfelle for Ambulansebåter vil dette være ved toppfart, for typisk katamaran opp mot 1500 kW og for mindre enskrogsbåt opp mot 1200 kW. Med tillegg av hotell last (elektrisk forbruk) vil uttak fra en batteripakke være opp mot 1600 kW.

C-rate betraktes opp mot hele batteripakken. I de aktuelle tilfellene kalkulert under vil en batteriinstallasjon måtte bli minimum 2000 kW. C-rater på 0,4-0,5 vil da være tilstrekkelig for effektuttak på ca 800 kW i 25 knop. Dette gjør at de mest kompakte nye teknologiene kan benyttes.

Utvikling av batteriteknologi


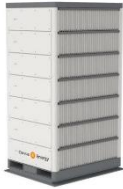


Når vi snakker batteriteknologi bør vi omtale to elementer:

- Celleteknologi, dvs. hvordan de enkelte battericellene genererer elektrisk energi. Dette omfatter ulike kjemiske teknologier, Lithium Ion, Lithium Iron, Calcium ion, Zink-mangan, etc. Dette er avansert teknologi og det gjøres stadig framskritt på dette området. Pr. i dag finnes det ikke norske produsenter, men det snakkes om etablering av batterifabrikker.
- Pakketeknologi, dvs. hvordan de enkelte cellene «stables opp» og styres i et rack eller en annen konfigurasjon. Nødvendig kjølesystem integreres i disse oppsettene. Norske leverandører er eksempelvis Corvus Energy, Siemens og Kongsberg. Ingen av disse utvikler og produserer battericeller selv.

I det siste er det utviklet nyere konfigurasjoner der mer energieffektive battericeller pakkes slik at en oppnår lav vekt og/eller lavt volum avhengig av krav for båttypen.

For ambulansefartøy vil både vekt og volum være en begrensende faktor.

Typisk Eksempler fra Corvus Energy	Høy C-faktor Orca Energy	Kompakt Blue Whale	Lav vekt Dolphin Energy «Treg» lading	Lav vekt Dolphin Power «Hurtig» lading»
Gravimetrisk tetthet (Wh/kg)	77	110	180	130
Volumetrisk tetthet (Wh/liter)	88	130	100	75
C - rate	1,0 – 3,0	0,7 – 1,0	0,4 – 1,0	2,2 utlading 1,6 lading

Typisk rack				
Eksempel på stor konfigurasjon	1000 kWh	3600 kWh	300 kWh	300 kWh
Mål: (l x d x h) (m)	7,00 x 0,75 x 2,25	10,5 x 1,40 x 2,85	2,60 x 0,50 x 2,40	2,60 x 0,50 x 2,40
Vekt: (tonn)	13	30	1,75	1,75
Spesifikk vekt, modul	13 kg/kWh	9 kg/kWh	5,5 kg/kWh	8 kg/kWh
Spesifikt volum, modul	0,011 m3/kWh	0,008 m3/kWh	0,010 m3/kWh	0,013 m3/kWh
Praktisk spesifikt volum inklusiv serviceareal	0,02	0,01	0,015	0,02
Batterivekt for 300 nm i 25 knop	170 t	105 t	80 t	80 t
Batterivekt for 50 nm i 25 knop	28 t	18 t	13 t	13 t

Tilleggsvolum for serviceareal, kabling, ventilasjon, brannslukking varierer. De mest kompakte konfigurasjonene er typen Blue Whale der enhetene kan stå meget tett og ved service hentes via en gantry (omtrent som et automatisert lager).

Battericontainer

Det bør også nevnes at det leveres ferdige batteripakker i standard 10 og 20 fot containere. Eksempelvis 20' container totalt 1500 kWh med vekt 25 tonn, dvs. spesifikk vekt ca 16 kg/kWh. Dette er høyere enn enhetsvektene over, men inkluderer kjølesystem, ventilasjon og brannslukking. Det er verdt å merke seg at operativt deplasement for ambulansebåt i størrelse The Jensen er ca 40 tonn.

Det finnes også ferdige containere basert på de nyutviklede modulene, eksempelvis 3000 kWh med vekt ca 30 tonn.

Ferdige containere kan være en løsning dersom en vurderer elektrisk framdrift og ønsker å gjøre batteribytte til ferdig ladet container i stedet for å lade. Dette kan eliminere ladetid dersom det kreves hurtig utrykning etter endt tidligere oppdrag.

For ambulansebåter vil type Dolphin Energy/Power være aktuelt, og disse kan eksempelvis plasseres mot skuteside i et katamaranskrog (se bilde).

Selv om ren elektrisk drift synes uaktuelt kan dette være representativ konfigurasjon i hybrid samvirkning med andre energibærere som er gjengitt senere.

Oppdragsgiver har satt krav til rekkevidde på 300 nm. Representativ kontinuerlig effekt er ca 800 kW og med hastighet om lag 25 knop i 12 timer tilsier dette et samlet energiforbruk på 10.000 kWh. Med 80% utnyttelse gir dette batterivekt på ca 75 tonn basert på batteritypene med lavest vekt og vil kreve bruttovolum ca 250 m³. I forhold til et ambulansefartøy med deplasement ca 40 tonn sier det seg selv at dette er umulig.



Figure 6, Eksempel på kompakt installasjon i katamaranskrog

Vil lavere rekkevidde gi realistiske muligheter?

Dersom el-drift med batteri skal være mulig, må rekkevidde reduseres drastisk til antatt maksimal utkjørt distanse pr. oppdrag samt hurtiglading ved ankomst stasjon. Dersom det kommer umiddelbart nytt oppdrag eller at lading ikke er fullført, må fartøyet over på dieseldrift.

Ved 25 knop hastighet og en rundtur på 50 nm vil energibehovet være ca 1700 kWh. Dersom fartøyet skal være fulladet og klar ila 30 min vil nødvendig ladeeffekt måtte være ca 3000 kW. Dette er tilsvarende de mest heftige høyspennings ladeanlegg som er installert for de siste fergesamband. Slik hurtig lading vil imidlertid kreve C-rate på minimum 2,0 noe de mest kompakte konfigurasjonene ikke klarer. Mest aktuelle system er Dolphin Power.

Siden ambulansebåter ikke går i fast rute vil elektrisk drift kreve ladestasjoner flere steder eller at en aksepterer at fartøyet til tider må drives med reservekraft (diesel/biodiesel).

Et alternativ til høy ladestrøm er å bytte ut hele batteripakken med en fulladet batteripakke, men dette anses i beste fall som en teoretisk og lite praktisk mulighet idet en ikke vet hvor fartøyet vil trenge «påfyll» av ferdig ladet batteripakke.

Ved elektrisk drift må en ha moderate forventninger til fart. Marsjfart 25 knop anses som representativt. Katamaran har et operativt deplasement på ca 40 tonn og med rekkevidde 50 nm vil det kreve ca 13 tonn batteri og oppta ca 40 m³ plass om bord. Det er for så vidt plass til batterirom på 40 m³ under dekk (to rom på ca 12 m² med normal høyde), men utfordringa ligger på vekt. Samlet tilleggsvekt i operasjon er ca 13 tonn netto og er sammenlignbart med løsningene for hydrogen, ammoniakk og metanol, men da under forutsetning av kun 50 nm rekkevidde.

Fartøyets motstand øker med ca 1 kN pr. tonn økt vekt, ref. Figure 2. Dette er en negativ spiral der økt vekt genererer større motstand som igjen gir økt vekt, etc. Denne effekten er tatt hensyn til i tabellen under.

I motsetning til saktegående ferger der nødvendig batterivekt er lav i forhold til deplasement vil batterivekten for Ambulansefartøy være urealistisk høy.

Batteri	Rekkevidde		
	300 nm	100 nm	50 nm
Tilpasning Ambulansebåt, 22 m katamaran	300 nm	100 nm	50 nm
Vektsberegning Lettskip	Vekt (t)	Vekt (t)	Vekt (t)
Representativ operativ vekt	40		
Energibehov (kWh)	10 000	3 400	1 700
Batteri +25% kapasitet - 6 kg/kWh	75,0	25,5	12,8
Kabling, elektrokomponenter	1,0	1,0	1,0
Fundamenter, etc for batteripakker	1,5	1,0	0,5
Ventilasjon, brannslukking i batterirom	1,5	1,0	0,5
Elektromotorer 2 x 500 kW	2,0	2,0	2,0
Reserve diesel generatorsett, ca 100 kW	0,8	0,8	0,8
Fradrag dieselmotorer og eksosanlegg	-3,5	-3,5	-3,5
Propellanlegg, ror, etc (som for diesel)			
Margin, 5%	3,9	1,4	0,7
SUM vektøkning lettskip	82,2	29,2	14,8
Eliminert vekt diesel	-2,0	-2,0	-2,0
Samlet vektøkning på fartøyet i drift	80,2	27,2	12,8
Operativ vekt	120,2	67,2	52,8
Økning i dypgang (cm)- 0,75 t/cm	107,0	36,3	17,0
Nominell effekt ved 38 t deplasement (kW)	810		
Effektbehov ved 25 knop fra Figur 2 (kW)	Urealistisk	1500	1100
Effektøkning		85 %	36 %

Tabell 5-1, Konsekvenser for vekt ved el-drift

Hva ser vi for oss fremover

De siste 10 år har det vært en sterk utvikling av batterier, både på celleteknologi og på systemteknologi (pakking av celler). Bruk i fartøy krever vesentlig større grad av systemer rundt selve cellene for å gjøre installasjonene sikre. Dette krever både ekstra vekt og ikke minst volum. Dersom cellene kunne pakkes sammen uten nevneverdige sikkerhetssystemer kunne både vekt og volum vært redusert. Batterier i el-biler er til sammenligning både lettere og ikke minst mer kompakte enn maritime batterier.

Batterileverandørene som Corvus og Kongsberg forventer fortsatt en videreutvikling av teknologien, spesielt på cellenivå der andre kjemier kommer til anvendelse. Dette er gjenstand for mye forskning og utvikling. Det er vanskelig å tallfeste denne utviklingen med hensyn på % angivelse av reduksjon i vekt/volum, men innenfor 5-10 års perspektiv er halvering ikke usannsynlig. Enkelte forskningsmiljø antyder også en mangedobling av energitetthet for faststoff batterier, men dette er nok et stykke inn i framtida.

Til sammenligning har det vært om lag en halvering av vekt og volum de siste 5-10 år.

For at elektrisk drift og batterier i ambulanssebåter skal være realistisk uten at rekkevidde og hastighet reduseres dramatisk, må nok både vekt og volum reduseres med anslagsvis 75%. En slik utvikling ser vi neppe for oss de første 5-10 år. I tillegg må ladenettverk og logistikk muliggjøre lading flere steder i ambulanssebåtenes driftsområde.

I beregningene er tatt utgangspunkt i de nyeste maritime batterisystemene, eksempelvis Corvus Dolphin Energy.

22 m Cat Fart (kn)	Nominell Effekt (kW)	Elektrisk, Rekkevidde 50 nm			Batteri	Batteri	Batterierom	Årlig kost kNOK
		Tid (timer)	kWh/nm	kWh	ESU (kWh)	Vekt (t)	Vol (m3)	
20	500	2,50	26,32	1 316	1 645	10	33	691
25	800	2,00	33,68	1 684	2 105	13	42	884
30	1150	1,67	40,35	2 018	2 522	15	50	1 059
35	1750	1,43	52,63	2 632	3 289	20	66	1 382
40	2300	1,25	60,53	3 026	3 783	23	76	1 589

Tabell 5-2. Data for elektrisk drift, pris elektrisk energi satt til 75 øre pr. kWh.

5.2 Hybrid drift, diesel + elektrisk

Som alternativ til helelektrisk drift med diesel nødkraft, kan en tenke seg et Hybrid anlegg med moderat batteripakke som kan benyttes som såkalt «peak shaving», framdrift i sakte fart og manøvrering samt forsyne fartøyet med strøm ved landligge. Avhengig av batteripakkens størrelse vil dette medføre en viss reduksjon av utslipp av klimagasser, men effekten vil være liten. En moderat 400 kWh batteripakke (5 tonn) som lades to ganger pr. dag vil kanskje redusere utslipp med ca. 5-10%. Dette alternativet kan utredes nærmere om ønskelig.

Et hybrid anlegg kan arrangeres med

- Direkte mekanisk drift fra dieselmotor, men med elektromotor/generator på gear. En bruker ofte betegnelsen seriehybrid på disse anleggene.
- Deselelektrisk anlegg med batteripakke der dieselgenerator leverer energi til batteripakke som igjen driver framdrift og øvrig elektrisk forbruk.

I stedet for drift av forbrenningsmotoren på diesel kan også biodiesel anvendes og gi et vesentlig lavere karbonavtrykk.

5.3 Tekniske forhold og merkostnad ved implementering av elektrisk drift

Vi anslår at en batteripakke på 2000 kWh for helelektrisk drift (50 nm rekkevidde) totalt vil komme på 20-30 mill kr inklusiv øvrig tilpasning av fartøyet for elektrisk drift. I tillegg må det påregnes omfattende landanlegg og eventuelt ekstra batteripakker på gitte lokasjoner. Dette vil være en meget kostbar løsning og vi estimerer at 50 mill kr. ikke er usannsynlig, men dette er høyst usikre anslag.

Nord-Norge har som kjent rikelig med elektrisk energi, men utfordringene er dårlig kapasitet i nettet, dette gjelder nok spesielt i grisgrendte strøk i øysamfunnene. Ladeanlegg for hurtiglading, ca 3 MW er nok krevende mange steder mht kapasiteten i nettet, men dette kan avhjelpest vesentlig ved å installere batteripakker på land. Avhengig av hyppigheten for lading av båten, kan den landbaserte batteripakken på eksempelvis 3 MWh saktelades over eksempelvis 10 timer med kun 300 kW effekt som bør være håndterlig mange steder. Mange havner har bygget ut eller er i ferd med å bygge ut landstrømanlegg, også for lading. Lading ved de større havnene vil ikke by på de største problemene. Ambulansetjenesten er likevel i en spesiell situasjon mht lite regulært «trafikkmønster».

Landstrømanlegg for offentlig bruk i havner er etablert flere steder, ofte i samarbeid med privat aktør. Dette er anlegg som har en vesentlig høyere pris pr. kWh enn representativt i nettet og kan sammenlignes med ladestasjoner for biler, p.t. ca 5 kr/kWh. Prisen gjenspeiler de anleggskostnadene havna har påtatt seg. Dersom Helseforetak selv etablerer ladestasjon, vil kostnaden være vesentlig lavere. I våre kalkyler er dette lagt til grunn med 0,75 kr/kWh.

Dersom en skal hurtiglade batteripakke om bord kreves høye effekter. Dette fordrer tilpasset ladesystem med høyeffekts plugg(er), ladetårn, etc. Flere norske leverandører utvikler og leverer slike løsninger (Plugg, Corvus Energy, Cavotec, m.fl.) Ladestasjon kobles til strømmettet.

Investeringskostnad for batteripakke alene er typisk ca 9000 NOK/kWh. I tillegg kommer systemer for ventilasjon, brannsikring, etc.

En batteripakke på ca 400 kWh for hybrid drift vil ha en investeringskostnad på ca 6 MNOK. I tillegg vil det komme kostnader til gir, elektromotorer, frekvensomformere, elektronikk, etc. slik at samlet merkostnad for hybrid anlegg kan komme på ca 8 MNOK.

En moderat batteripakke på 400 kW vil kreve C-faktor på opp mot 3,0 for å kunne brukes som tilleggskraft. Dette er batterier med energitetthet på ca 12 kg/kWh og med tillegg av vekt på utstyret nevnt ovenfor, estimeres en mervekt på ca. 5 tonn som igjen reduserer hastighet med ca 1 knop.

6. Hydrogen, Ammoniakk og Metanol

6.1 Egenskaper, aktuelle systemer og lagringsalternativer

Vi velger omtale av systemer for Hydrogen, Ammoniakk og Metanol under ett idet brenselceller vil være den aktuelle forbrenningsteknologien for mindre fartøy. Forbrenningsmotorer kan være aktuelt på lengre sikt, men er i dag ikke moden teknologi for ambulanséfartøy.

Både Hydrogen, Ammoniakk og Metanol kommer i Grå, Blå og Grønn utgave med grunnlag i fremstillingsmetode. I Norge har vi tilgjengelig fornybar energi og Grønne drivstoff vil være rådende og er derfor definert som null-utslipp.

Drift med Hydrogen, Ammoniakk og Metanol kan være basert på to ulike teknologier

- **Direkte drift i forbrenningsmotorer**, men med betydelig tilpasning. Enkelte motorleverandører (eks. ABC og Wartsila) har slike motorer under utvikling og som vil kunne leveres om kort tid, men dette er pr. i dag større og tyngre motorer over 1000 kW. De er ikke ferdig utviklet, men forventes å kunne leveres innen kort tid (2022-23). For mindre motorer tilpasset ambulanséfartøy er det så vidt vi vet ikke konkret utvikling på gang

Metanol og Etanol er velkjent fra bilindustri som E100, E85, M85 etc. Dette er mindre motorer. Flere leverandører av skipsmaskineri leverer fleksifuel motorer som kan drives på Metanol, herunder MAN og Wartsila, men disse er mye større motorer enn aktuelt for ambulansébåter. Volvo har en serie V8 motorer som også kan kjøres på Metanol, men disse er i størrelse 2-300 kW og litt for knapp for de aktuelle fartøyene. Det er ikke usannsynlig at det kan komme aktuelle motorer for Metanol på markedet.

- Drift med **brenselceller** (Fuel Cell) som produserer elektrisk energi som i samvirkning med et batteri av moderat størrelse driver elektromotorer for framdrift. Fartøyet blir i prinsippet elektrisk, men elektrisk energi produseres om bord fra Hydrogen.
- **Hydrogen** (H₂) lagres om bord enten i flytende eller komprimert form. Begge lagringsteknologier krever spesielle tanker.

- Flytende, LH2: 1-10 bar, minus ca 250°C.
Lagring i en eller to større cryogene isolerte tanker, Fylles med slanger fra tank på land eller fra tankbil
- Komprimert, CH2: 350-700 bar, omgivelsestemp
Lagring i stort antall småflasker, Bytter ut tomme flasker med fulle
- **Ammoniakk (NH3)** lagres om bord i flytende form og krever spesielle tanker.
 - Flytende, NH3: 1 bar, minus 33 °C.
Lagring i en eller to større cryogene isolerte tanker, Fylles med slanger fra tank på land eller fra tankbil
 - Flytende, NH3: Trykktank, 18 bar, omgivelsestemperatur
 - Ammoniakk må konverteres til hydrogen for forbrenning i brenselceller.
Konverteringen skjer i en egen «Fuel Preparation Unit», heretter kalt FPU som plasseres i et eget rom i tilknytning til brenselcellene.
- **Metanol (CH3OH)** kan lagres i tradisjonelle skrogtanker, men krever spesiell ventilasjon og kofferdammer til øvrige rom/tanker.
 - Metanol har omgivelsestemperatur ved atmosfærisk trykk, omtrent som diesel/bensin. Det kreves derfor ikke spesielle trykktanker som for Hydrogen og Ammoniakk. Dette gjør at tanker for Metanol i prinsippet kan integreres i skroget, men forbruket i volum og vekt er om lag 2,5-3 ganger så høyt som diesel. Dette vil påvirke fartsegenskapene på fartøyet som igjen må kompenseres med noe høyere effekt på framdrift.
 - Også Metanol må konverteres til hydrogen for forbrenning i brenselceller.
Konverteringen skjer i en egen FPU som plasseres i et eget rom i tilknytning til brenselcellene.

Hydrogen er en lett gass med høy brennverdi pr. kg. Når en tar hensyn til lagringstankene medfører dette at hydrogen tar vesentlig mer plass enn diesel, men er lettere.

x

Dette kan illustreres ved

	Marine Diesel	Komprimert Hydrogen	Flytende Hydrogen	Ammoniakk	Metanol
Trykk		200-700 bar	1 – 10 bar	1 – 10 bar	1 bar (atm)
Energiinnhold (kWh/kg)	11,8	33,3	33,3	5,2	5,6
Energiinnhold ift MDO (VEKT)		2,8	2,8	0,45	0,50
Energiinnhold (kWh/liter)	9,9	1,7	2,3	3,5	4,2
Energiinnhold ift MDO (VOLUM)		0,17	0,23	0,35	0,42

6.2 Miljøegenskaper for ulike aktuelle energibærere

Studien omfatter følgende aktuelle energibærere

% ift referanse-verdi MDO	MDO Referanse	Biodiesel	LNG	LBG «Bio LNG»	HYD	AMM	MET	EL
Direkte forbrenningsmotorer								
CO2	100%	40% 2)	75%	0	0	0	0	0
NOx	100% 1)	100% 1)	10%	10%	40% 1)	~ 100% 1) 4)	40% 1)	0
Brenselceller								
CO2	-	-	-	-	0	0	0	-
NOx	-	-	-	-	0	Usikkert 3)	0	-

Tabell 6-1 Miljøegenskaper ulike alternativer

- 1) Senkes til Tier III ved SCR anlegg
- 2) Andre generasjons biodrivstoff
- 3) Nitrogen forbindelser fra cracking av Ammoniakk til Hydrogen. Pr. i dag usikkert nivå.
- 4) Pr. i dag må ammoniakkmotor dual fuel med min 20% MDO/80% NH3. Pr. i dag uklar NOx utslipp, men må uansett reduseres med SCR anlegg.

Utslipp av CO2 for LBG, Hydrogen, Ammoniakk og Metanol forutsetter grønn produksjon.

Utslipp av klimagasser, CO2

Basert på grønn Hydrogen, Ammoniakk eller Metanol vil CO2 utslipp pr. definisjon bli eliminert. Basert på gjennomsnittlig CO2 utslipp på ca 700 tonn pr. fartøy for dieseldrift, vil full konvertering til alternative nullutslipp drivstoff redusere utslipp fra hver ambulansebåt med ca 700 tonn CO2.

6.3 Forbruk og kostnader for drift med Hydrogen, Ammoniakk og Metanol

I tabellene under er gjengitt forbruk og kostnader ved bruk sammenlignet med diesel for rekkevidde **300 nm**. I beregningene er det tatt hensyn til økt forbruk grunnet økt vekt, ref. Kap 7. Økning i energiforbruk ved 300 nm rekkevidde er i størrelsesorden 35 – 50%.

Rekkevidde 300 nm

22 m Cat Fart (kn)	Nominell Effekt (kW)	Vektjustert Effekt (kWh)	Diesel, Rekkevidde 300 nm				Årlig kost (kNOK)	Hydrogen, Rekkevidde 300 nm				Årlig kost kNOK
			Tid (timer)	l/nm	m3	tonn		Tid (timer)	kg/nm	m3	tonn	
20	500	680	15,00	5,91	1,77	1,51	2 894	15,00	2,13	9,12	0,638	4 467
25	800	1088	12,00	7,56	2,27	1,93	3 704	12,00	2,72	11,67	0,817	5 718
30	1150	1564	10,00	9,06	2,72	2,31	4 437	10,00	3,26	13,98	0,979	6 850
35	1750	2380	8,57	11,81	3,54	3,01	5 788	8,57	4,25	18,23	1,276	8 935
40	2300	3128	7,50	13,58	4,07	3,46	6 656	7,50	4,89	20,97	1,468	10 275
Rekkevidde	300	36 %				Kr/liter	14,00	300			Kr/kg	60,00
Tankstørrelse ved angitt rekkevidde og 25 kn					2,9					20,0		

Tabell 6-2, Hydrogen vs diesel, 300 nm

22 m Cat Fart (kn)	Nominell Effekt (kW)	Vektjustert Effekt (kWh)	Diesel, Rekkevidde 300 nm				Årlig kost (kNOK)	Ammoniakk, Rekkevidde 300 nm				Årlig kost kNOK	
			Tid (timer)	l/nm	m3	tonn		Tid (timer)	kg/nm	m3	tonn		
20	500	740	15,00	5,91	1,77	1,51	2 894	15,00	14,92	6,58	4,477	4 701	
25	800	1184	12,00	7,56	2,27	1,93	3 704	12,00	19,10	8,43	5,731	6 017	
30	1150	1702	10,00	9,06	2,72	2,31	4 437	10,00	22,88	10,10	6,865	7 208	
35	1750	2590	8,57	11,81	3,54	3,01	5 788	8,57	29,85	13,17	8,954	9 402	
40	2300	3404	7,50	13,58	4,07	3,46	6 656	7,50	34,32	15,14	10,297	10 812	
Rekkevidde	300	48 %					Kr/liter	14,00	300			Kr/kg	9,00
Tankstørrelse ved angitt rekkevidde og 25 kn						2,9					11,2		

Tabell 6-3, Ammoniakk vs diesel, 300 nm

22 m Cat Fart (kn)	Nominell Effekt (kW)	Vektjustert Effekt (kWh)	Diesel, Rekkevidde 300 nm				Årlig kost (kNOK)	Metanol, Rekkevidde 300 nm				Årlig kost kNOK	
			Tid (timer)	l/nm	m3	tonn		Tid (timer)	kg/nm	m3	tonn		
20	500	685	15,00	5,91	1,77	1,51	2 894	15,00	12,91	4,87	3,874	5 423	
25	800	1096	12,00	7,56	2,27	1,93	3 704	12,00	16,53	6,23	4,958	6 941	
30	1150	1576	10,00	9,06	2,72	2,31	4 437	10,00	19,80	7,46	5,939	8 315	
35	1750	2398	8,57	11,81	3,54	3,01	5 788	8,57	25,82	9,73	7,747	10 846	
40	2300	3151	7,50	13,58	4,07	3,46	6 656	7,50	29,70	11,19	8,909	12 473	
Rekkevidde	300	37 %					Kr/liter	14,00	300			Kr/kg	12,00
Tankstørrelse ved angitt rekkevidde og 25 kn						2,9					8,3		

Tabell 6-4, Metanol vs. Diesel, 300 nm

For å dempe økning i vekt og derav energiforbruk foreslås å reduseres rekkevidde til 200 nm. Dette vil kreve hyppigere bunkring eller tidvis drift på konvensjonell diesel eller biodiesel.

Rekkevidde 200 nm

22 m Cat Fart (kn)	Nominell Effekt (kW)	Vektjustert Effekt (kWh)	Diesel, Rekkevidde 200 nm				Årlig kost (kNOK)	Hydrogen, Rekkevidde 200 nm				Årlig kost kNOK	
			Tid (timer)	l/nm	m3	tonn		Tid (timer)	kg/nm	m3	tonn		
20	500	650	10,00	5,91	1,18	1,00	2 894	10,00	2,03	5,81	0,407	4 270	
25	800	1040	8,00	7,56	1,51	1,29	3 704	8,00	2,60	7,44	0,521	5 466	
30	1150	1495	6,67	9,06	1,81	1,54	4 437	6,67	3,12	8,91	0,624	6 548	
35	1750	2275	5,71	11,81	2,36	2,01	5 788	5,71	4,07	11,62	0,813	8 541	
40	2300	2990	5,00	13,58	2,72	2,31	6 656	5,00	4,68	13,36	0,935	9 822	
Rekkevidde	200	30 %					Kr/liter	14,00	200			Kr/kg	60,00
Tankstørrelse ved angitt rekkevidde og 25 kn						1,9					12,7		

Tabell 6-5, Hydrogen vs. Diesel, 200 nm

22 m Cat Fart (kn)	Nominell Effekt (kW)	Vektjustert Effekt (kWh)	Diesel, Rekkevidde 200 nm				Årlig kost (kNOK)	Ammoniakk, Rekkevidde 200 nm				Årlig kost kNOK	
			Tid (timer)	l/nm	m3	tonn		Tid (timer)	kg/nm	m3	tonn		
20	500	690	10,00	5,91	1,18	1,00	2 894	10,00	13,92	4,09	2,783	4 383	
25	800	1104	8,00	7,56	1,51	1,29	3 704	8,00	17,81	5,24	3,562	5 611	
30	1150	1587	6,67	9,06	1,81	1,54	4 437	6,67	21,34	6,28	4,267	6 721	
35	1750	2415	5,71	11,81	2,36	2,01	5 788	5,71	27,83	8,19	5,566	8 767	
40	2300	3174	5,00	13,58	2,72	2,31	6 656	5,00	32,00	9,41	6,401	10 082	
Rekkevidde	200	38 %					Kr/liter	14,00	200			Kr/kg	9,00
Tankstørrelse ved angitt rekkevidde og 25 kn						1,9					7,0		

Tabell 6-6, Ammoniakk vs Diesel, 200 nm

22 m Cat Fart (kn)	Nominell Effekt (kW)	Vektjustert Effekt (kWh)	Diesel, Rekkevidde 200 nm				Årlig kost (kNOK)	Metanol, Rekkevidde 200 nm				Årlig kost kNOK	
			Tid (timer)	l/nm	m3	tonn		Tid (timer)	kg/nm	m3	tonn		
20	500	650	10,00	5,91	1,18	1,00	2 894	10,00	12,25	3,08	2,450	5 146	
25	800	1040	8,00	7,56	1,51	1,29	3 704	8,00	15,68	3,94	3,137	6 587	
30	1150	1495	6,67	9,06	1,81	1,54	4 437	6,67	18,79	4,72	3,757	7 890	
35	1750	2275	5,71	11,81	2,36	2,01	5 788	5,71	24,50	6,16	4,901	10 292	
40	2300	2990	5,00	13,58	2,72	2,31	6 656	5,00	28,18	7,08	5,636	11 836	
Rekkevidde	200	30 %					Kr/liter	14,00	200			Kr/kg	12,00
Tankstørrelse ved angitt rekkevidde og 25 kn						1,9					5,3		

Tabell 6-7, Metanol vs. Diesel, 200 nm

6.4 Brenselceller for Hydrogen, Ammoniakk og Metanol

For drift i 25-30 knop kreves propulsjonseffekt på ca 800-1200 kW. Brenselceller er i stadig utvikling mot høyere effekter og kompakte løsninger. Eksempelvis TECO 2030 med produksjon i Narvik, produserer 400 kW brenselceller med typebetegnelse FCM400. FCM 400 har dimensjoner L x D x H = 1375 x 738 x 2100 mm. Vekt 1200 kg.

Også andre produsenter, blant annet Corvus er i ferd med å utvikle brenselceller.

Brenselceller trives best på konstant effekt ca 80% og bør derfor produsere elektrisk energi til en batteripakke. Flexibiliteten i brenselceller er imidlertid blitt forbedret vesentlig i det siste. TECO uttaler at deres FCM 400 trenger kun 10 sekunder på oppstart og at den bruker 5 sekunder på effektøkning fra 7% til 90%. Også andre produsenter som Corvus hevder endog enda bedre fleksibilitet slik at batteripakke ikke er påkrevet. Det må dog legges til at brenselcellenes slitasje øker ved stadig skiftende pådrag. Batteripakke anbefales derfor.

Denne fleksibiliteten er nesten på linje med dieselgeneratorer og stiller kun moderate krav til størrelse på batteripakke. Batteripakke, kan i motsetning til ren elektrisk drift være av moderat størrelse og bør tilpasses fartøyets operasjonsprofil. Batteripakkens størrelse bestemmes i stor grad av andre operative krav. For å oppnå ønsket hastighet vil 3 slike enheter være aktuelt.

Rent praktisk kan to slike enheter plasseres i et skrog og vil oppta ca 3 m lengde med dybde 80 cm og høyde 2,1 m. Celle 3 kan plasseres i det andre skroget. Total vekt vil være ca 3,6 tonn.

Det kan også være mulig å installere to FC 400 og en noe større batteripakke for å kunne dra ut større effekt ved kortvarig toppfart.

6.5 Ventilasjon og eksplosjonsfare, generelt

Alle inntak og utløp av ventilasjon fra utstyr og rom som inneholder installasjoner for fremdrift bestående av Hydrogen, Ammoniakk eller Metanol skal ha fastlagte avstander fra antennelseskilder, serviceområder og andre ventilasjonsåpninger (f.eks. maskinrom).

Avstandskravene er spesifikk for de tre drivstoffene og gjengis i det enkelte etterfølgende kapitler og gjelder:

- Ventilasjon Inntak
- Ventilasjon utløp
- Ventilasjon inntak for Rør-i-rør system
- Gassmast

Med ventilasjons- inn og ut- løp menes normal ventilasjon av rommet. Gassmast er for konkret direkte utslipp av gassen eller ved «purging» med eksempelvis nitrogen.

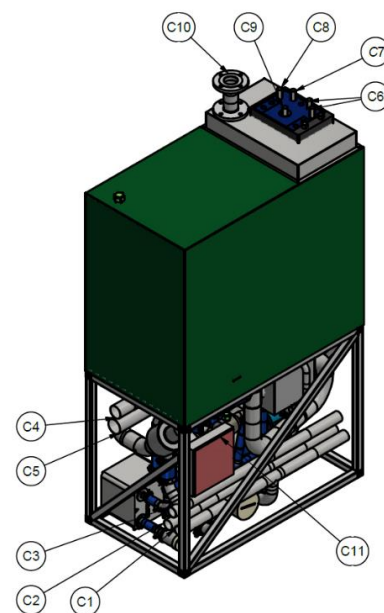


Figure 7 - Teco 2030 FCM400 Fuel Cell



Figure 8 - Corvus brenselcelle i kabinett

Ambulansebåter har ikke spesielle forhold som vil kreve omfattende EX sikring. Ved bruk av gassfarlige energibærere med krav til sikkerhetsavstander for ventilasjon samt gnistkilder må opplistet utstyr innenfor de gjeldene krav til avstander gjøres EX sikre.

For et nybygg vil det være avgjørende at det, ved prosjektering av elektrisk anlegg samt ventilasjonsåpninger til rom med gnistfare, blir tatt behørig hensyn til de sikkerhetsavstander som regelverket krever.

6.6 Tanker for flytende Hydrogen

Hydrogentank kan ikke fylles mer enn ca 70%, dvs. et behov på 7-11 m³ hydrogen (25 kn) vil kreve en lagertank på 14-20 m³ som vil ha moderate dimensjoner, eksempelvis diameter 2 m og lengde ca 8 m. Denne vil kunne plasseres i akterkant av styrehus eller under dekk. En kan også installere to tanker med halvparten av volumet hver.

Hvert av skrogene har bredde ca 2,5 m og minimum 10 m fri lengde.

Det er dog en rekke krav til plassering av hydrogentanker som må ivaretas og det er sannsynlig at fartøyene må tilpasses hydrogendrift.

Siden hydrogen har meget høy brennverdi pr. kg, vil masse hydrogen være kun ca 25% av diesel.

Flytende hydrogen er utsatt for sloshing som medfører problemer med tilførsel til motor/brenselcelle. Tendensen er størst ved tverrskips plassering av sylindrisk tank. Det anbefales derfor at hydrogentanker plasseres i langskips retning eller vertikalt (stående). Dette er tatt hensyn til i forslagene til arrangement.

Dersom hydrogentank plasseres under dekk, må rommet utstyres med egen tvungen ventilasjon og adkomst via gass-sluse. Ved plassering på åpent dekk, er dette ikke nødvendig. Tanken skal uansett utstyres med overrissingsanlegg.

Ventilasjon

Følgende avstandskrav gjelder:

Ventilasjon Inntak:	3 meter sone radius
Ventilasjon utløp:	1 meter sone radius
Ventilasjon inntak for Rør-i-rør system:	1,5 meter
Gassmast:	10 meter radius



Figure 9 - Tank for LH₂, flytende hydrogen, denne er større enn det som er nødvendig for ambulansébåtene

6.7 Tanker for komprimert Hydrogen

For mindre fartøy kan også komprimert hydrogen oppbevart på trykkflasker med trykk ca 700 bar være aktuelt. Slike flasker kan være på størrelse med «vanlige» små gassbeholdere eller større trykktanker som illustrert under. Komprimert hydrogen oppbevares ved normaltemperatur og krever ikke kryogen tank (isolert). Tankene i seg selv tar plass og har relativt høy vekt, så komprimert hydrogen bør fylles oftere enn tilfeller er for flytende. En bytter da tomme flasker med fulle, noe som gjør «bunkring» sikkerhetsmessig enklere enn for flytende hydrogen.

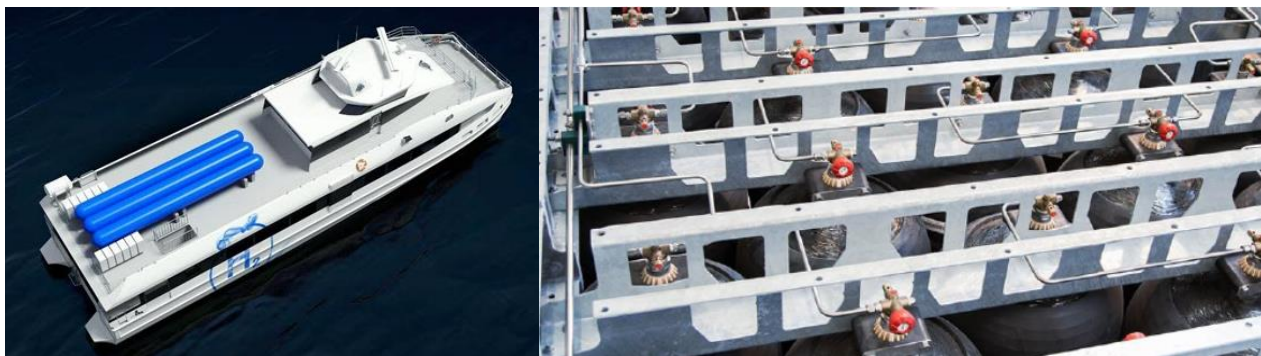


Figure 10- Eksempler på lagring av komprimert hydrogen, CH₂

Valg av komprimert hydrogen kan utredes nærmere, men er etter vår vurdering ikke realistisk grunnet plassbehov i forhold til kompakte ambulansbåter.

6.8 Tanker for flytende Ammoniakk

Nødvendig volum av ammoniakk vil være netto ca 5-8 m³, dvs. noe mindre tank enn for hydrogen. Dette krever en brutto lagertank på 7-11 m³ som vil ha moderate dimensjoner, eksempelvis diameter 2 m og lengde ca 6 m. Denne vil kunne plasseres i akterkant av styrehus eller under dekk. En kan også installere to tanker med halvparten av volumet hver.

Tanker for ammoniakk vil i prinsippet være ganske lik tanker for hydrogen, men grunnet høyere temperatur er forholdene enklere.

Siden ammoniakk har lav brennverdi pr. kg, vil masse ammoniakk være omtrent det dobbelte av diesel for samme rekkevidde. Dette er en vesentlig observasjon siden vektøkning er ugunstig for et hurtiggående fartøy.

Ammoniakk tank kan i motsetning til hydrogentak fylles til ca 90%. Ammoniakk er ikke like utsatt for sloshing i tankene og tanker kan da gjerne plasseres tverrskips i tillegg til langskips og vertikal plassering.

Det kreves eget brannsløkkesystem ved bunkringsstasjonen.

Også for ammoniakk tank plassert under dekk, kreves at rommet utstyres med egen tvungen ventilasjon og adkomst via gass-sluse. Ved plassering på åpent dekk, er dette ikke nødvendig. Tanken skal uansett utstyres med overrislingsanlegg.

Ventilasjon

Følgende avstandskrav gjelder:

Ventilasjon Inntak:	10 meter sone radius 4,5 m over dekk, konstant ventilasjon og mekanisk tilbakeslagsfunksjon
Ventilasjon utløp:	1 meter sone radius
Ventilasjon inntak for Rør-i-rør system:	1,5 meter
Gass mast:	Tilsvarende fartøyets bredde, men maksimum 25 meter radius. For typisk katamaran ambulansebåt blir det ca 8 m.

6.9 Tanker for Metanol

Av Tabell 2-1, fremgår det i korte trekk at forbruk av Metanol er høyere både målt i vekt og volum enn diesel og kan i stor grad likestilles med Ammoniakk. Metanol er noe mer effektivt enn ammoniakk målt i volum.

Vektøkning er i likhet med Ammoniakk ugunstig for hurtiggående fartøy.

Metanol har dog en meget klar fordel i forhold til både Hydrogen og Ammoniakk siden det kan lagres i ordinære skrogtanker ved atmosfæretrykk og omgivelsestemperatur. Tankene kan godt fylles ca 95%. Arrangement for avlufting av metanoltanker er noe krevende med krav til store avstand fra ventilasjonsutløp til antennespunkter, innredning, m.m.

Ventilasjon, kofferdam

Følgende avstandskrav gjelder:

Ventilasjon Inntak:	3 meter sone radius
Ventilasjon utløp:	1 meter sone radius
Ventilasjon inntak for Rør-i-rør system:	1,5 meter
Gass mast:	10 m I tillegg 15 m radius på tankventilasjon fra metanoltanker,
Kofferdam rundt tanker	Metanoltanker må bygges med kofferdam mot andre rom som ikke inneholder komponenter som behandler metanol. Slike kofferdammer (voider) skal ha separat lense-system og må ha mulighet til purging med nitrogen eller flooding med vann. Rør-systemer for metanol skal ha dobbel sikring (rør-i-rør).

6.10 Begrensninger og utfordringer med hydrogen, ammoniakk og metanol

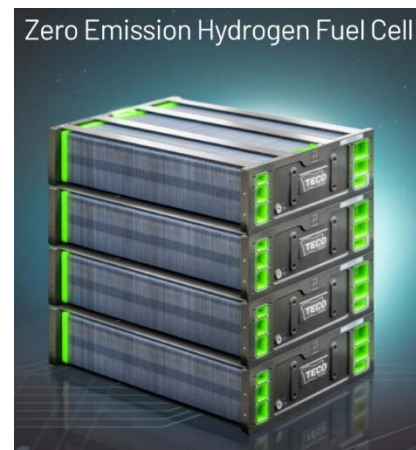
Det må påpekes at det foreløpig eksisterer flere utfordringer og usikkerheter knyttet til drift med både hydrogen, ammoniakk og metanol som må løses/tilpasses før et fartøy kan realiseres. Det er for tiden flere pilotprosjekter på gang, men disse er i hovedsak fokusert på noe større fartøy med relativt sett lavere effekter/energibehov i forhold til fartøystørrelse.

Det er imidlertid noen prosjekter i utvikling hos flere produsenter av mellomstore fartøy. Utviklingen går raskt og det kan forventes erfaringer som gjør realisering av hydrogen- eller

ammoniakkdrevet fartøy realistisk. Mange av disse prosjektene er støttet av Enova, Grønn Skipsfartsprogram, ZeroKyst (fiskerirettet), Pilot-E, m.fl.

For Hydrogen, Ammoniakk og Metanol er de viktigste utfordringer:

- Kompetanse i rederiets bemanning
- Servicemuligheter, reparasjoner
- Leveringsmuligheter, bunkring
- Prosedyrer ved bunkring
- Flytende hydrogen gir problematikk vedrørende lavtemperatur, typisk minus 250 °C.
- Sloshing i kryogen tank
- Noe høyere pris på drivstoff
- Høy investeringskostnad
- Foreløpig noe uklart regelverk, men DNV har nye regelverk for alternative energibærere under utvikling, herunder også regelverk for FORBEREDT for hydrogen/ammoniakk



6.11 Aktuelle klassenotasjoner vedrørende batteri og brenselceller

Både for batteri og brenselceller har i DNV aktuelle klassenotasjoner som stiller krav både til arrangement og utstyr, herunder krav om redundans.

Fuel Cell (power) For fartøy der brenselceller benyttes for elektrisk framdrift, dvs. der brenselcelle er en av hovedkildene til framdrift. (power) notasjonen krever ikke to uavhengige installasjoner, men har visse krav til redundans.

Fuel Cell (safety) For installasjoner der brenselceller ikke er en av hovedkildene.

Battery (power) For fartøy der batterisystemene benyttes for elektrisk framdrift, dvs. der batterisystemet er en av hovedkildene til framdrift. Dersom fartøyet går rent elektrisk krever (power) notasjonen to uavhengige batterisystemer i to adskilte rom. Erfaringen er dog at DNV tar hensyn til andre systemer for hjelpkraft, eksempelvis dieselgeneratorer slik at kravet ikke trenger anses som absolutt. Vi anser at dette håndteres case-by-case.

Battery (safety) For batteriinstallasjon over 20 kWh og der batterisystemet ikke er en av hovedkildene. Ikke krav til redundans.

Fartøy som skal kunne seile enten med brenselceller eller batteri alene, må ha (power) notasjon. (safety) notasjonen benyttes dersom installasjonene kun fungerer som «peak shaving/lastutjevning» eller elektrisitet til hotell/utstyr, energikilde ved landligge, m.m.

7. Spesielle utfordringer ved implementering alternative drivstoff

7.1 Konsekvenser for vekt og hastighet

Vektøkning er hurtiggående fartøyers verste fiende. Dessverre har det seg også slik at de nye alternative energibærerne pr. i dag er forbundet med til dels betydelige vektøkninger; i hovedsak knyttet til vekt på utstyr.

Brenselceller, konverteringsenheter, drivstofftank og batteribank er de viktigste drivere for økt vekt. Tabell 7-1 under viser et overslag over vektendringer for fartøy med 300 nm og 200 nm rekkevidde. Ved 300 nm rekkevidde viser overslag 15-20 tonn mervekt, tilsvarende 30-50% økt vekt ift representativ vekt på katamaran.

Vektøkning har en spiraleffekt ved at økt vekt genererer økt forbruk som igjen medfører økt vekt av tank og medbrakt drivstoff. I denne utredningen velger vi å ta med effekten av 1. runde vektøkning og se bort fra ytterligere runder.

Ved å redusere rekkevidden dempes effekten av vektøkninger noe. Redusert hastighet kan også dempe effekten av vektøkning. Ved å senke rekkevidden til 200 nm kan tilleggsvekt reduseres til 11-12 tonn tilsvarende 30-40% vektøkning.

Tilpasning Ambulansebåt, 22 m katamaran	For 300 nm rekkevidde			For 200 nm rekkevidde		
	Hydrogen	Ammoniakk	Metanol	Hydrogen	Ammoniakk	Metanol
Vektsberegning Lettskip	Vekt (t)	Vekt (t)	Vekt (t)	Vekt (t)	Vekt (t)	Vekt (t)
Representativ operativ vekt	40			40		
Tankvolum (m3)	20	11	8	12	7	5
3 Brenselceller a' 1,2 t	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
Konverteringsenhet (fuel preparation unit)		2,5	2,5		2,5	2,5
200 kWh batteri, 8 kg/kWh	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Kabling, elektrokomponenter	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Fundamenter, etc i skrog	0,5	0,5	0,2	0,5	0,5	0,2
Tank (ex innhold) Metanol: Skrogtanker	7,0	3,0	0,5	4,5	1,5	0,4
Røranlegg, ventilasjon, brannslukking	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Elektromotorer 2 x 500 kW	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Reserve diesel generatorsett, ca 100 kW	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Fradrag dieselmotorer og eksosanlegg	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5
Propellanlegg, ror, etc (som for diesel)						
Margin, 10%	1,4	1,3	1,0	1,2	1,1	1,0
SUM vektøkning lettskip	15,4	13,8	10,7	12,7	12,1	10,6
Tilleggsvekt i drift (drivstoff)	-2,0	2,0	1,5	-1,5	0,5	0,5
Samlet vektøkning på fartøyet i drift	13,4	15,8	12,2	11,2	12,6	11,1
Operativ vekt	53,4	55,8	52,2	51,2	52,6	51,1
Økning i dypgang (cm)- 0,75 t/cm	17,9	21,0	16,2	14,9	16,8	14,7
Nominell effekt ved 38 t deplasement (kW)	810			810		
Effektbehov ved 25 knop fra Figur 2 (kW)	1100	1200	1110	1050	1120	1050
Effektøkning	36 %	48 %	37 %	30 %	38 %	30 %

Tabell 7-1, Vektendringer for drift med hydrogen, ammoniakk og metanol, konsekvenser for nødvendig effekt

7.2 Arrangement av ventilasjon fra tanker og maskinrom

Det fremgår tidligere i rapporten, Kap. 6.5 - 6.10 at det er konkrete krav til avlufting, gassmast, etc, fra tankrom og rom for brenselceller. Avstandskravene er uavhengig av fartøystørrelse og kan derfor være krevende for små fartøy.

DNV mener dog at arrangement vil bli vurdert «case by case» slik at tilpasninger kan være aktuelt.

Det er imidlertid grunn til å vektlegge dette forhold spesielt ved design av fartøy for alternative drivstoff.

7.3 *Kostnader ved implementering*

Kalkulerte merkostnader ved konvertering (for nybygg). Retrofit vil være vesentlig dyrere. Estimatenes er dog beheftet med vesentlig usikkerhet.

Batteri for 50 nm rekkevidde	ca 50 mill kr.
Hydrogen, 200 – 300 nm rekkevidde	30 – 35 mill kr
Ammoniakk, 200 – 300 nm rekkevidde	25 – 30 mill kr.
Metanol, 200 – 300 nm rekkevidde	15 – 20 mill kr.

7.4 *Tilgjengelighet, logistikk*

Det finnes pr. i dag ikke etablerte distribusjonsordninger for hydrogen, ammoniakk og metanol. DNV har i sin kunnskapsbase «*Alternative fuels insight*» en oversikt over infrastruktur globalt. Det finnes både produksjon- og bunkringsanlegg flere steder, men infrastrukturen for disse drivstoffene er ikke på høyde med konvensjonell bunkers.

Ifølge DNV finnes det i Midt- og Nord-Norge terminal for Ammoniakk i Glomfjord samt Metanol ved Tjeldbergodden. Infrastruktur for LNG er noe mer utbygget.

Drift av ambulansébåter på de alternative drivstoffene må pr. i dag baseres på levering fra tankbil. En utbygging av infrastruktur for slike drivstoff vil være avhengig av økende etterspørsel, dvs. at det realiseres flere skip basert på disse drivstoffene. «*Fremtidens Hurtigbåt*» i regi av 4 Fylkeskommuner i nord kan være et prosjekt som driver fram distribusjon av hydrogen. Også andre etablerte initiativ kan være pådrivere.

Det er imidlertid lite trolig at det vil bli etablert omfattende infrastruktur for alternative drivstoff de nærmeste 5-10 år.

8. **Energireducerende tiltak**

8.1 *Vektreduksjon*

For å holde vekten på fartøyet under kontroll slik at tilleggsvektene ikke medfører en negativ spiral, må verft/designer sette fokus på vektreduserende tiltak. Dette være seg materialkvaliteter, utstyrvalg, strukturoptimalisering, etc.

Generell vektreduksjon har en positiv effekt på fartøyets motstand og derved positiv effekt på motoreffekt og forbruk som igjen har vektreduserende virkning, se ellers Figure 2, Effekt av økende deplasement for katamaran. Denne spiraleffekten er et kjent fenomen innen skipsdesign, men som blir enda tydeligere for alternative drivstoff.

Tiltak for reduksjon av energibruk vil redusere både investeringskostnader og driftskostnader og derfor gjøre overgang til alternative drivstoff mer aktuell.

8.2 *Energisparing øker mulighetene for implementering av alternative drivstoff*

Det bør også utredes hvordan en kan implementere energireducerende tiltak om bord for å redusere både forbruk, kostnader og vekt. Disse henger nøye sammen og blir enda viktigere for alternative drivstoff.

Vi tenker det kan være aktuelt å se nærmere på, men ikke begrenset til:

Tiltak knyttet til hotell, dvs. innredningsarealene

- Økt termisk isolasjon rundt innredning
- Varmegjenvinning fra kjølesystemer
- Varmegjenvinning, varmpumper og balansering av HVAC systemer
- Utelukkende bruk av LED belysning
- Bruk av solcellepaneler på tak der det er mulig.

Tiltak knyttet til skrog og propeller

Også her tenker vi det er aktuelt å se nærmere på, men ikke begrenset til:

- Ytterligere optimalisering av skrog, både for motstand i stille vann og i sjøgang
- Videreutvikling av propulsjonsløsninger
- Foilteknologi som i fullblods hydrofoilbåter
- Foiler for delvis heving av fartøyet for reduksjon av motstand. Ved bruk av foiler må en være oppmerksom på at ambulansebåter ofte skal inn i trange farvann med begrensninger i dybde.
- Injisering av luft for motstandsreduksjon «luftsmøring»
- Optimalt anti-begroings bunnstoff
- Luftpute katamaraner
- Nye skrogformer, eksempelvis Trimaran
- Mer aerodynamiske overbygg (reduisert luftmotstand)
- Bruk av lette materialer og komponenter

Operative forhold

- Redusert hastighet for ikke-kritisk transport og forflytning uten pasient
- Ruteplanlegging og vær ruting dvs. unngå seilas i hardt vær (motsjø)
- Redusere mengde innhold av drivstoff og ferskvann til et minimum
- Nøye vurdere alt av stores og inventar og redusere mulige overflødige vekter om bord
- Hyppig skrogrensjøring mht begroing

Alle tiltak må balanseres opp mot- og ikke redusere ambulansebåtens primære kapasitet.

8.3 *Potensialer for besparelser*

Det er krevende å estimere mulige besparelser som kan oppnås gjennom de beskrevne tiltakene. Det har avgjørende betydning hvilket utgangspunkt som ligger til grunn. Det er åpenbart at et eldre design vil ha vesentlig større potensiale for besparelser enn et nytt design for ambulansebåter.

Potensiale for energireduksjon med basis i et eldre design vil gjennom de nevnte tiltakene kunne være betydelig, kanskje opp mot 50% på årlig basis.

Et estimat bør imidlertid ta utgangspunkt i ambulansebåter utviklet og bygget i de siste årene (state of the art). Det er også sentralt at en vurderer effekten av tiltak basert på fartøy med like kapasiteter for behandling, innredningsarealer, sjødyktighet, etc.

Vi tror det gjennom implementering av tiltak som nevnt over og uten hensyn til kostnader kan være mulig å redusere årlig energibruk med ca 20% og opp mot 30%. Et slikt potensiale krever at en ikke begrenses av økonomiske hensyn.

8.4 *Redusert utslipp ved fortsatt dieseldrift*

Tiltakene som er antydnet over vil også redusere utslipp av klimagasser direkte selv om en velger drift med konvensjonell diesel.

Vi har ikke vurdert kostnadene ved implementering av tiltak som nevnt over. Et pålitelig kostnadsestimat vil kreve detaljerte analyser og ligger utenfor denne studien. Vi har grunn til å tro at slike tiltak vil kunne gjennomføres til langt lavere kostnad enn merkostnadene ved å ta i bruk hydrogen, ammoniakk eller metanol.

20-30% reduksjon i energiforbruk vil ved fortsatt drift med diesel kunne redusere årlig utslipp pr. fartøy med samme prosentsetning. Det kan medføre årlig utslippsreduksjon på 150-200 tonn CO₂ pr. fartøy. Anslaget baserer seg på utgangspunktet i Tabell 3-1 og med utrykningsfart 25 knop.

9. Oppsummering av de viktigste data for aktuelle energibærere

Det er mye tall i foregående kapitler så her følger et forsøk på oppsummering

25 knop	Fossil Diesel	Bio-diesel	Hydrogen	Ammoniakk	Metanol	Hel Elektrisk
Rekkevidde	200 nm					50 nm
Volum drivstoff (m3)	1,5	1,5	7,9	5,2	4,2	~
Vekt drivstoff (tonn)	1,3	1,3	0,5	3,5	3,3	~
Årlig kost drivstoff (MNOK)	3,7 1)	7,2	5,8	5,6	7,0	0,9
Tankvolum brutto (m3)	1,9	1,9	13,5	7,0	5,6	-
Tilleggsvekt, installasjon (tonn)	-	0	13	13	13	~
Merkostnad investering (MNOK)	-	liten	30-35	25-30	15-20	50

Tabell 9-1. Oppsummering

- 1) I 2022 utgjør CO₂- og grunnavgift 3,81 kr/liter av den budsjetterte prisen på 14,00 - dvs. ca 35%.

Noen av løsningene vil medføre høyere vekt og ikke minst økte investeringskostnader. Vi tror det kan være formålstjenlig at oppdragsgiver vurderer rekkevidde og kanskje hastighet for å redusere de negative effektene av noen av de alternative energibærerne for at de skal kunne framstå som realistiske. Leveringssikkerhet/frekvens for alternative drivstoff vil være sentralt i en vurdering av dette.

10. Aktuelle regelverk og relevante guider

10.1 DNV regelverk

- DNV Rules for classification (July 2021), Part 6, Additional class notations, Chapter 2

10.2 IMO regelverk

- MSC.391(95) - INTERNATIONAL CODE OF SAFETY FOR SHIPS USING GASES OR OTHER LOW-FLASHPOINT FUELS (IGF CODE)
- MSC.1/Circ. 1621 - INTERIM GUIDELINES FOR THE SAFETY OF SHIPS USING METHYL/ETHYL ALCOHOL AS FUEL

10.3 Guider og anbefalinger

- DNV Handbook for hydrogen-fuelled vessels, MarHySafe JDP (2021-06)
- International Transport Workers' Federation (ITF) – Guidelines on IGF Code
- American Bureau of shipping (ABS) - GUIDE FOR METHANOL AND ETHANOL FUELLED VESSELS (Jan 2022)

LISTE OVER FIGURER

FIGURE 1, TYPISK EFFEKTBEHOV FOR EN- OG TOSKROGSBÅT	15
FIGURE 2, EFFEKT AV ØKENDE DEPLASEMENT FOR KATAMARAN	15
FIGURE 3 - ENERGITETTHET ULIKE DRIVSTOFF	17
FIGURE 4 - ENERGITETTHET PR MASSE	17
FIGURE 5 - ENERGITETTHET PR VOLUM	18
FIGURE 6, EKSEMPEL PÅ KOMPAKT INSTALLASJON I KATAMARANSKROG	22
FIGURE 7 - TECO 2030 FCM400 FUEL CELL	29
FIGURE 8 - CORVUS BRENSSELCELLE I KABINETT	29
FIGURE 9 - TANK FOR LH2, FLYTENDE HYDROGEN, DENNE ER STØRRE ENN DET SOM ER NØDVENDIG FOR AMBULANSEBÅTENE	30
FIGURE 10- EKSEMPLER PÅ LAGRING AV KOMPRIMERT HYDROGEN, CH2	31

Liste over tabeller

TABELL 0-1, KVALITATIVE KONKLUSJONER FOR DE ULIKE ALTERNATIVER. DIESEL ER REFERANSE.	6
TABELL 0-2 AKTUELLE KOMBINASJONER, STERKEST GRØNN FARGE ER MEST AKTUELL, RØD INDIKERER IKKE- ANBEFALTE KOMBINASJONER	8
TABELL 0-3 CAPEX MER KOSTNAD PR. FARTØY FOR DE ULIKE ALTERNATIVER	8
TABELL 0-4 ÅRLIGE KOSTNADER FOR ULIKE DRIVSTOFF (GRØNN VERSJON) PR. FARTØY VED 35.000 NM ÅRLIG UTSEILT DISTANSE	9
TABELL 0-5 ÅRLIGE TOTALKOSTNADER FOR ULIKE ALTERNATIVER AV TILPASNING. KOSTNAD PR. TONN REDUSERT CO2 UTSLIPP.	10
TABELL 2-1 OVERSIKT AKTUELLE ENERGIBÆRERE	16
TABELL 3-1, UTSLIPPSDATA VED KONVENSJONELL DIESELDRIFT	18
TABELL 3-2, DATA FOR DRIFT MED MDO OG BIODIESEL, SPESIFIKT FORBRUK CA 200 G/KWH	19
TABELL 5-1, KONSEKVENSER FOR VEKT VED EL-DRIFT	23
TABELL 5-2. DATA FOR ELEKTRISK DRIFT, PRIS ELEKTRISK ENERGI SATT TIL 75 ØRE PR. KWH.	24
TABELL 6-1 MILJØEGENSKAPER ULIKE ALTERNATIVER	27
TABELL 6-2, HYDROGEN VS DIESEL, 300 NM	27
TABELL 6-3, AMMONIAKK VS DIESEL, 300 NM	28
TABELL 6-4, METANOL VS. DIESEL, 300 NM	28
TABELL 6-5, HYDROGEN VS. DIESEL, 200 NM	28
TABELL 6-6, AMMONIAKK VS DIESEL, 200 NM	28
TABELL 6-7, METANOL VS. DIESEL, 200 NM	28
TABELL 7-1, VEKTENDRINGER FOR DRIFT MED HYDROGEN, AMMONIAKK OG METANOL, KONSEKVENSER FOR NØDVENDIG EFFEKT	34
TABELL 9-1. OPPSUMMERING	38