



Rapport fase 2

Utviklingskontrakt utslippsfri hurtigbåt, Doffin 2017-138144

Brødrene Aa

Westcon Power & Automation

Boreal Sjø

Offentlig versjon



Innhold

Sammendrag	4
Konseptkonkretisering Brødrene Aa-konsortium fase 2.....	5
5.1 Teoretisk grunnlag	5
5.1.1 Klima- og miljøvedtak	5
5.1.2 Funksjonskrav og tjenestetilbud	6
5.1.3 Lovverk og forskrifter	7
5.1.4 Ulike energibærere	8
5.1.5 Utslippsfri/nullutslipp fremdrift	12
5.1.6 Nåverende teknologi	13
5.1.7 Nødvendig teknologiutvikling frem mot 2022	14
5.2 Nullutslipp fremdriftssystem i hurtigbåter	17
5.2.1 Energitetthet	17
5.2.2 Egenskaper hydrogen- vs. batterisystemer	18
5.2.3 Virkningsgrader for ulike energisystem	19
5.2.4 Hydrogensystem i maritime omgivelser	19
5.2.5 Innfesting batteri og hydrogentanker	20
5.2.6 Branntrygghet	20
5.2.7 Forbedringsmuligheter for fremdriftsløsninger	20
5.3 Konkretisering av rutene	20
5.3.1 Generelt om fartøyene	20
5.3.2 Ruta Trondheim-Vanvikan	21
5.3.3 Ruta Trondheim-Brekstad.....	33
5.3.4 Ruta Trondheim-Kristiansund	42
5.4 Kvalifikasjons- og driftsaspekt for hurtigbåter.....	44
5.5 Opplæring av administrativt personell/mannskap/driftspersonell	44
5.6 Miljøbudsjett.....	45
5.6.1 Forbruk av energi og utslipp for eksisterende løsning	45
5.6.2 Forbruk av energi og utslipp for planlagt løsning.....	45
5.6.3 Miljøkrav og måloppnåelse.....	47
5.7 Utvikling og testing.....	47
5.7.1 Risikoanalyse/HAZID.....	49
5.7.2 Klassing og godkjenning.....	51
5.8 CAPEX og OPEX	52
5.8.1 Kostnadsplan utvikling og bygging båt	52

5.8.2 Drifts- og vedlikeholdskostnader	53
5.9 Miljødata og digitale verktøy	55
5.9.1 Luftforurensning i Southampton	55
5.9.2 Luftforurensning i Europa fra fossile energikilder.....	55
5.9.3 Samfunnsøkonomisk kostnad for klimagassutslipp fra maritim transport.....	56
5.9.4 FCH JU Detailed Business Case Tool	57
5.9.5 FCH JU Funding and Financing Navigation Tool	58
5.9.6 Maranda – Maritime tool within the MobHy toolbox.....	58
5.9.7 V1 Scenarios – part of the TedHy toolbox	59
5.10 Samfunnsaksept.....	59
5.10.1 Hensikt.....	59
5.10.2 Tiltak	60
5.11 Helhetlig konseptløsning	60
5.11.1 Tekniske løsninger	60
5.11.2 Driftsmønster og energibruk.....	60
5.11.3 Kostnader rutedrift.....	61
5.11.4 Innovasjonsgrad	62
5.11.5 Realisme.....	62
5.11.6 Forbehold og restriksjoner.....	62
5.11.7 Samlet tjenestetilbud	63
5.11.8 Videre samarbeid og dialog med Trøndelag fylkeskommune.....	64
5.12 Realisering	64
5.12.1 Bygging og installasjon.....	64
5.12.2 Uttesting og idriftsetting.....	65
5.13 Vedlegg.....	66

Sammendrag

- Brødrene Aa-konsortiet tilbyr løsning for nullutslipps drift av alle de tre sambandene. Konsortiet har levert en helhetlig konseptløsning der tekniske løsninger, kostnader for bygging og drift av passasjerbåtene, driftsmønster og energibruk samt innovasjonsgrad har fått omfattende omtale.
- Leveransen besvarer og definerer løsninger for alle punkt i Trøndelag fylkeskommune sin utlysning og ivaretar tjenestetilbudet som en helhet.
- Det er utviklet to ulike fartøytyper for rutene, *Aero25* og *Aero 42 H2*.
- Ruta Trondheim-Vanvikan betjenes av to helelektriske rutebåter av typen *Aero25*, hver med kapasitet 97 pax. Totalt er kapasiteten økt med 1 444 pax per uke. Samlet energibruk er 23 % lavere enn for eksisterende rute. Driftskostnadene er ca. 30 % høyere sammenlignet med rutedrift med ett 130 pax dieseldrevet fartøy. Økning skyldes i hovedsak økte kostnader til bemanning.
- Rutene Trondheim-Brekstad og Trondheim-Kristiansund betjenes av tre hydrogendrevne fartøy av typen *Aero 42 H2*, hver med kapasitet 277 pax. Energiforbruket i rutene er henholdsvis 12 % og 47 % lavere enn for dagens materiell og kapasitet. Med energipris på 0,95 kr/kWh og 45 kr/kg for hydrogen vil hydrogendrift være 9 % dyrere enn dieseldrift. Prisøkning på diesel på 20 % vil gi like driftskostnader.
- Det er gjennomført HAZID for *Aero 42 H2* i regi av GEXCON. Representanter for Sjøfartsdirektoratet deltok. Det ble ikke gjort funn som hindrer videre utvikling og bygging av fartøytypen.
- Kostnader for fartøyene gjenspeiler høyt prisnivå for batteri og hydrogenteknologi. Pris for *Aero 25* er MNOK 59 (inkludert MNOK 17 som er kostnad for batterier, kraftelektronikk og ladesystem.) Pris for *Aero 42 H2* er MNOK 169 (inkludert MNOK 79 som er kostnader for hydrogentanker, brenselceller, batterier og kraftelektronikk.)
- Brødrene Aa ser det som realistisk å kunne levere fartøy av typen *Aero 25* og *Aero 42 H2* innen 2023.

Ocean Hyway Cluster v/ Trond Strømgren har vært prosjektleder for fase 2 og har skrevet rapporten i samarbeid med partene i konsortiet. Følgende har vært prosjektmedarbeidere og bidragsytere fra konsortiet:

Brødrene Aa: Håvard Kvist, Anstein Aa, Ole Andre Aa

Boreal Sjø: Lars-Erik Larsen

Westcon Power & Automation: Pål G. Eide

Konseptkonkretisering Brødrene Aa-konsortium fase 2

Denne rapporten omhandler Brødrene Aa-konsortiet sitt løsningsforslag til nullutslippsfri drift av hurtigbåtene fra Trondheim. Rapporten beskriver arbeidspunkt som gjelder konkretisering av hovedprosjektet. Punktene gjelder utarbeidelse og konkretisering av konseptet, omtalt som *konseptkonkretisering/prosjektbeskrivelse* av oppdragsgiver. Det innledende punktet 5.1 er av generell art og danner det teoretiske grunnlaget for de mer løsningsspesifikke punktene 5.2-5.12. Disse punktene omhandler teknologi og konkrete forslag til løsninger.

Rapporten må sees i sammenheng med rapporten Brødrene Aa-konsortiet leverte 31.08.2019 der fase 1 er grundig skildret. Mange av kapitlene i rapporten fra fase 1 gir grunnlagsinformasjon som er relevant for fase 2. Kapittel 5 i rapporten fra fase 1 har benevnelsen *Konseptkonkretisering fase 2* og beskriver strukturen for hvordan konseptkonkretiseringen legges frem. Strukturen i rapporten for fase 2 følger denne strukturen, inkludert en del endringer.

Rapporten har en del tillegg ut over bestilling. Slik utvidelse er gjort for å dekke et kunnskapsbehov hos de involverte fylkeskommunene og andre parter som skal lese rapporten.

5.1 Teoretisk grunnlag

5.1.1 Klima- og miljøvedtak

Brødrene Aa-konsortiet sine forslag til nullutslippsløsninger for maritim persontransport er et bidrag til å redusere utslipp fra maritim sektor. De tekniske løsningene har overføringsverdi nasjonalt og internasjonalt. Konsortiet sin innsats er forankret i planverk på ulike nivå og vil bidra til økt måloppnåelse i forhold til lokale, regionale, nasjonale og globale klimatiltak. Oversikt over forankring i overordnet planverk følger under.

Nasjonalt:

Klimameldingen, juni 2017¹

- 2030-målet om å redusere utslippene med 40 prosent kan nås med hovedvekt på innenlandske utslippsreduksjoner
- «Klimaendringene er en av vår tids største trusler. Samtidig ser vi en hurtig teknologisk utvikling der klimavennlige løsninger blir stadig billigere og øker i utbredelse. Vi står midt oppe i et kappløp der det haster med å redusere utslippene av klimagasser både i Norge og globalt.» Sitat, klima- og miljøminister Vidar Helgesen

Klimastrategi frem mot 2030, mai 2018²

- Stortinget ber regjeringen sikre, gjennom krav og/eller støtteordninger, at fergestrekninger og hurtigbåter på offentlig anbud benytter null- eller lavutslippsteknologi, der det ligger til rette for det.
- Stortinget ber regjeringen om en helhetlig strategi for forskning, teknologiutvikling og bruk av hydrogen som energibærer

¹ Klima- og miljødepartementet: *Meld. St. 41 (2016–2017) Melding til Stortinget. Klimastrategi for 2030 – norsk omstilling i europeisk samarbeid*. Oslo, juni 2017

² <https://www.stortinget.no/no/Saker-og-publikasjoner/Saker/Sak/?p=69170>

- Stortinget ber regjeringen ta initiativ til sonderinger med de andre nordiske landene med tanke på en felles nordisk hydrogenstrategi

Regjeringsplattformen, januar 2019³

- Regjeringen vil fremme en grønn omstilling ved blant annet å legge frem en handlingsplan for grønn skipsfart og en egen hydrogenstrategi, bidra til utvikling av avansert biodrivstoff og stimulere til biogassproduksjon
- Ha en helhetlig strategi for forskning, teknologiutvikling og bruk av hydrogen som energibærer
- Ha sektorvise ambisjoner for kutt i klimagassutslippene i ikke-kvotepiktig sektor, herunder halvere utslippene fra transportsektoren innen 2030 sammenlignet med 2005
- Legge en plan for å nå målet om fossilfri kollektivtrafikk innen 2025
- Stille krav om utslippsfrie eller fornybare løsninger i offentlige ferge- og hurtigbåtanbud der det ligger til rette for det
- Legge frem en handlingsplan for grønn skipsfart med ambisjon om å halvere utslippene fra innenriks sjøfart og fiske innen 2030, herunder stimulere til null- og lavutslippsløsninger i alle fartøykategorier

Globalt:

Paris Agreement, desember 2015⁴

- Governments agreed to a long-term goal of keeping the increase in global average temperature to well below 2°C above pre-industrial levels
- Cities, regions and local authorities shall scale up their efforts and support actions to reduce emissions, build resilience and decrease vulnerability to the adverse effects of climate change and uphold and promote regional and international cooperation

International Maritime Organisation (IMO), 2018⁵

- Reduction in total GHG emissions from international shipping by at least 50% by 2050 compared to 2008
- Reduction of CO₂ emissions per transport work, as an average across international shipping, by at least 40% by 2030, pursuing efforts towards 70% by 2050, compared to 2008

5.1.2 Funksjonskrav og tjenestetilbud

Løsningsforslaget fra Brødrene Aa med partnere tilfredsstillende Trøndelag fylkeskommune sin bestilling. Kapasiteten på de ulike rutene er på dagens nivå eller større. Alle båtene tilfredsstillende krav til universell utforming og har komfortstandard som for eksisterende fartøy eller bedre. Alle fartøy er designet og utrustet for de fartsområder som gjelder for de ulike rutene.

Forutsetninger for valg av fartøykonsept for alle tre rutene er som følger:

- Nødvendig mengde energi vil være tilgjengelig på kai
- Infrastruktur for både elektrisk energi og hydrogen vil være tilgjengelig
- Effekt for lading/fylling er stor nok til å overføre ønsket mengde energi på tilgjengelig tid
- Mindre tilpassing av kaianlegg for å gjennomføre mest mulig effektiv lading
- Oppdatert regelverk skal definere rest energimengde om bord ved ankomst endestopp

³ <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/politisk-plattform/id2626036/>

⁴ <https://unfccc.int/process#:a0659cbd-3b30-4c05-a4f9-268f16e5dd6b>

⁵ <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/GHG-Emissions.aspx>

Oversikten i tabell 1 viser nåværende og planlagt kapasitet og frekvens for rutene for dagene mandag til fredag. Blå felt viser eksisterende ruter, røde felt viser planlagte ruter.

Rute	Antall fartøy	Kapasitet per fartøy (pax)	Frekvens (totalt antall tur/retur per båt per dag)	Økt kapasitet (pax per dag)	Energibærer
Trondheim-Vanvikan	1	130	13		Diesel (MGO)
Trondheim-Vanvikan	2	97	9 eller 11	250	Batteri
Trondheim-Brekstad	1	130	4		Diesel (MGO)
Trondheim-Brekstad	1	277	4	588	Hydrogen
Trondheim-Kristiansund	2	275	3,44		Diesel (MGO)
Trondheim-Kristiansund	2	277	3,44	7	Hydrogen

Tabell 1. Nåværende og planlagt kapasitet på de tre hurtigbåtrutene fra Trondheim. Blå felt viser eksisterende ruter, røde felt viser planlagte ruter. Tabellen gjelder dagene mandag-fredag

5.1.3 Lovverk og forskrifter

Fartsområde og passasjerskipsklasse for passasjerfartøyene i de tre rutene fra Trondheim vil bli definert i samsvar med krav fra klasse, myndigheter og operatør/rederi. Utrustning og bygging av fartøy vil skje i samsvar med overordnet regelverk i FNs sjøfartsorganisasjon IMO sin High Speed Code og andre IMO-koder⁶ og dokument. I tillegg kommer underliggende nasjonale lover og forskrifter. En del av gjeldende reguleringer er gitt kort omtale under.

Fremdrift av fartøy med energi fra batteri har blitt vanlig i Norge de siste årene. Regler er utarbeidet og satt i system, blant annet av DNV GL. Regler for batteridrift finnes i DNV GL's *RULES FOR CLASSIFICATION, Ships - Part 6 Additional class notations, Chapter 2 Propulsion, power generation and auxiliary systems, Amended July 2018*.⁷

Hydrogen er blant gasser med lavt flammepunkt. For skip som bruker slikt drivstoff gjelder IMO sin IGF-kode, *The International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels*.⁸ Koden inneholder bl.a. spesifikke krav til brennstoffsystemer, lagertanker og operasjon av skip som bruker LNG som drivstoff. Koden åpner også for bruk av andre gasser og brennstoff med lavt flammepunkt.

Parallelt gjelder DNV GL sitt regulativ som referert til over. Seksjon 3 i regulativet omhandler installasjon og bruk av brenselceller i skip. Seksjonen spesifiserer de ulike komponentene i en slik installasjon og definerer dokumentasjonskrav og tilleggsopplysninger som må være på plass i forhold til godkjenning. Seksjon 5 omhandler system for bunkring, lagring og distribusjon av gass om bord. Merk at dette regulativet gjelder for andre gasser enn hydrogen. Deler av regulativet kan likevel ha nytteverdi for bruk av hydrogen om bord i skip.

Det er ikke etablert regelverk for hydrogenbaserte maritime fremdriftssystem. For å få godkjent alternative løsninger må IMO-dokumentet MSC.1/Circ.1455, *GUIDELINES FOR THE APPROVAL OF ALTERNATIVES AND EQUIVALENTS AS PROVIDED FOR IN VARIOUS IMO INSTRUMENTS*,⁹ datert 24. juni 2013, benyttes. Dokumentet beskriver fremgangsmåte for alternativ godkjenning av fartøy når det ikke finnes standardisert regelverk som gjelder for fartøytypen eller utrustningen om bord.

⁶[https://rules.dnvgl.com/ServiceDocuments/dnvgj/#!/industry/1/Maritime/2/DNV%20GL%20rules%20for%20classification:%20High%20speed%20and%20light%20craft%20\(RU-HSLC\)](https://rules.dnvgl.com/ServiceDocuments/dnvgj/#!/industry/1/Maritime/2/DNV%20GL%20rules%20for%20classification:%20High%20speed%20and%20light%20craft%20(RU-HSLC))

⁷<https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/RU-SHIP/2018-01/DNVGL-RU-SHIP-Pt6Ch2.pdf>

⁸<https://www.techstreet.com/mss/products/preview/1936909>

⁹<https://www.mardep.gov.hk/en/msnote/pdf/msin1339anx1.pdf>

På oppdrag fra Trøndelag fylkeskommune har DNV GL sammenfattet dokumentet APPLICABLE RULES FOR HYDROGEN FUEL CELL HIGH SPEED PASSENGER VESSELS IN NORWAY, Oslo 30.01.2019. Dokumentet skildrer hvilke regler og forskrifter som er relevante for hurtigbåter med fremdrift basert på hydrogen samt prosedyrer og fremgangsmåte for å oppnå godkjenning for slike fartøy. Dokumentet ble publisert i januar 2019.

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) er fagmyndighet og skal være involvert ved etablering av landbaserte bunkringsanlegg for hydrogen. DSB sine forskrifter pålegger virksomheter som skal bunkre flytende naturgass (LNG) til passasjerskip å innhente samtykke fra DSB i rimelig tid før bunkring kan starte opp, såkalt samtykkekrav.¹⁰ DSB arbeider med å revidere forskriften til å inkludere hydrogen.

Frem til revidert forskrift blir gjeldende har DSB vedtatt at det skal treffes vedtak om samtykkekrav for virksomheter som skal bunkre passasjerskip med hydrogen. DSB informerte aktuelle parter om dette i brev datert 05.04.2018:

*[.....] Frem til revidert forskrift trer i kraft, har DSB besluttet at det skal treffes vedtak om samtykkekrav for virksomheter som skal bunkre passasjerskip med hydrogen, jf. § 17 fjerde ledd. Det bes derfor om at virksomheter som planlegger bunkring av hydrogen til passasjerskip tar kontakt med DSB så tidlig som mulig for registrering samt veiledning ift. dokumentasjonskrav og forventet saksbehandlingstid., jf. forskrift om håndtering av farlig stoff§ 17 fjerde ledd. [.....]*¹¹

Et av forslagene i revidert forskrift vil gjelde nye regler for samtykkeklæring. DSB vil forslå at virksomheter skal få generelt samtykke til bunkring basert på virksomheten sin kompetanse og praksis, og ikke per samband slik som nå. Det vil også bli satt krav til bunkringsaktivitet.

DSB har bare ansvar for landsiden av et bunkringsanlegg. Denne delen av anlegget er i praksis lagertanker, pumper, fyllestasjon og tilhørende utstyr frem til påfyllingsflens om bord i fartøy. DSB vil være part i forhold til Trøndelag fylkeskommune eller den eller de aktørene som eier og drifter fremtidige bunkringsanlegg for hydrogen i Trondheim, Kristiansund og ev. mellomliggende steder. Brødrene Aa-konsortiet sitt tilbud inkluderer ikke den delen av energiforsyning som tilhører landsiden. Vi anser denne del av energiforsyningen tatt i vare av Trøndelag fylkeskommune.

5.1.4 Ulike energibærere

I maritim sammenheng vil valg av energibærer bli definert ut fra lengde på rute, fart, energiforbruk, mengde energi som kan lagres om bord, vekt på energilager, frekvens og tidsbruk for lading/bunkring og krav til energimengde til buffer/nødens energiforsyning. Det er klar sammenheng mellom skrogutforming, fart og vekt og mengde energi som trengs for å drive et fartøy fremover. Rask overfartstid kan gi rom for lengre ladetid, men fartøyet vil også bruke mer energi på overfarten.

Virkningsgrad ved lagring av energi i batteri er om lag 98 %. Dette er en svært optimal måte å lagre energi på og det er lite tap. For lagring av store mengder energi blir likevel vekt av batteribank svært høy. Slik teknologien er pr. august 2019 vil det ikke være hensiktsmessig å bruke batteri som energilager på tradisjonelle katamaranhurtigbåter for ruter som er over 15-20 nautiske mil. Distansen avhenger av ruteprofil og driftstimer per døgn. For lenger ruter vil batteriene bli for tunge. Erfaringstall fra hydrogenbåtprosjektet GKP7H2¹² viser at det per 2018 var behov for en batteripakke på 54 tonn for å levere samme energimengde til propell som fra 370 kg hydrogen.

¹⁰ <https://www.dsb.no/nyhetsarkiv/nyheter-2018/krav-om-samtykke-for-virksomheter-som-skal-bunkre-passasjerskip-med-hydrogen/>

¹¹ <https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/farlige-stoffer-npf/farlige-stoffer/krav-om-samtykke-for-bunkring-av-passasjerskip-med-hydrogen.pdf>

¹² Hydrogendrevet passasjerbåt. Pilot nr. 7 i DNV GL sitt Grønt kystfartsprogram

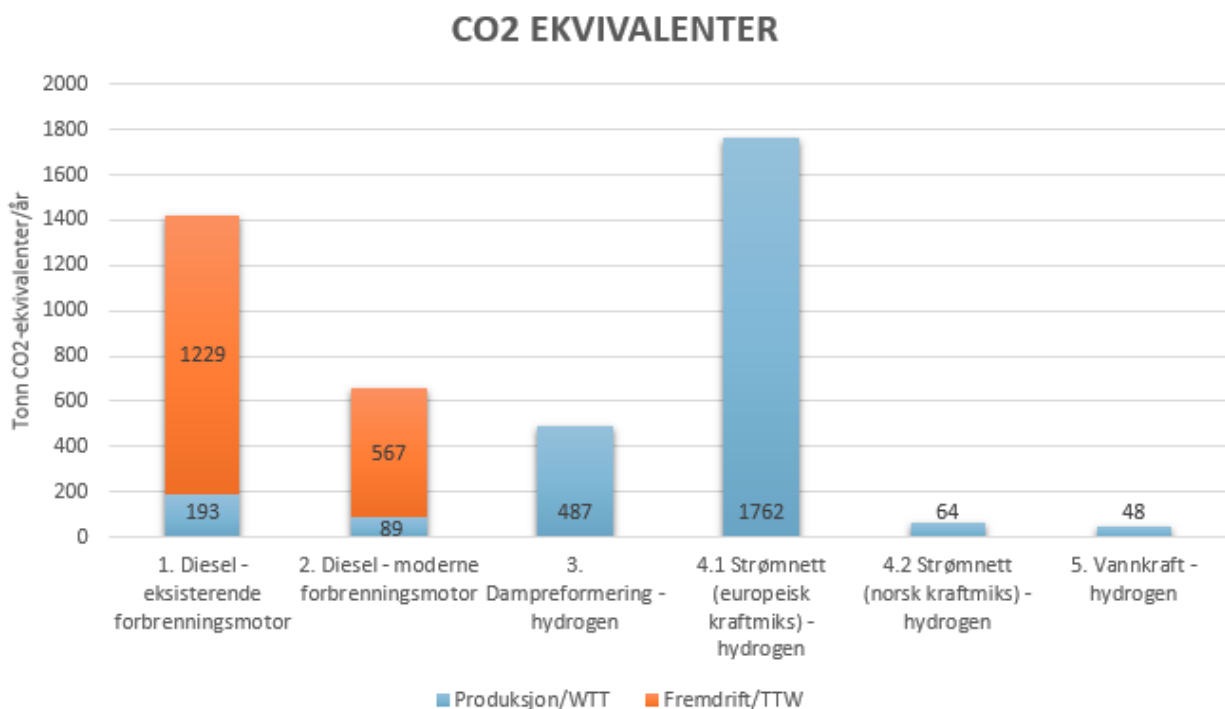
På grunn av høyt energiinnhold per vektenhet og utslippsfri drift er hydrogen ventet å bli en betydelig del av den fremtidige energimiksen på fartøy og skip. Ved bruk av brenselceller blir hydrogenet omformet til elektrisk energi som kan drive en propell via en elektromotor. Bruk av hydrogen og brenselceller til energiforsyning gir ingen skadelige utslipp til miljøet. Eneste utslipp er reint vatn. Utviklingen av maritime hydrogenbaserte fremdriftssystem går svært raskt og det er flere prosjekt i Norge og rundt om i verden som nå er under realisering.

Energiinnholdet i ulike drivstoff er vist i tabell 2.

Type drivstoff	Bensin	Diesel	MGO	Parafin	Hydrogen	Propan	Butan	LNG
Energiinnhold [kWh/kg]	12,06	11,83	11,89	11,94	33,33	12,88	12,58	13,1

Tabell 2. Energiinnhold i ulike typer drivstoff. Verdiene angir Lower Heating Value¹³

Produksjon av hydrogen kan skje på ulike måter og med ulik grad av utslipp til miljøet. Produksjon ved dampreforming fra kull eller naturgass uten CO₂-fangst eller ved elektrolyse med elektrisk kraft fra kullfyrte varmekraftverk gir store CO₂-utslipp. Produksjon av hydrogen fra norsk vannkraft har ingen utslipp knyttet til selve produksjonen, men har likevel små mengder utslipp knyttet til utbygging av vannkraftverkene og elektrolyseutstyret.



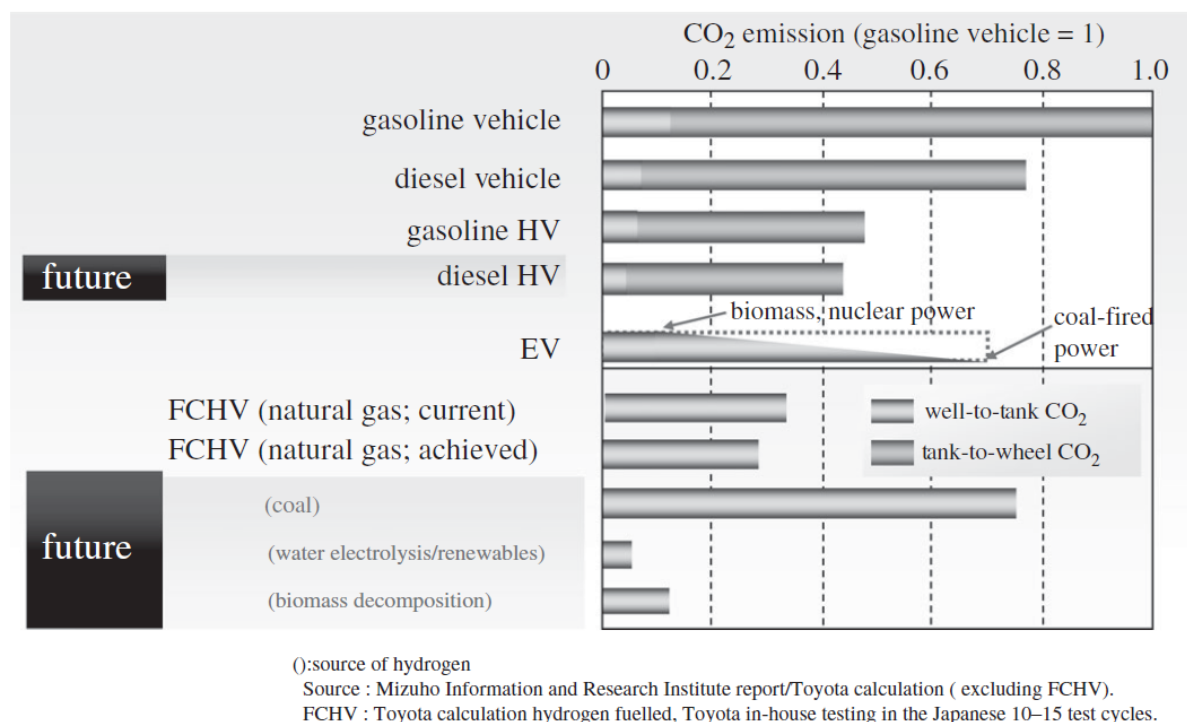
Illustrasjon 1. Utslipp av CO₂-ekvivalenter for ulike energikilder.¹⁴ Fremstillingen gjelder for fremdrift av passasjerfartøy med dagsforbruk på 6,3 MWh

Illustrasjon 1 viser årlig CO₂-utslipp fra GKP7H2-prosjektet sin case-rute basert på diesel og hydrogen produsert fra ulike energikilder. Eksempelet gjelder for et 30 meter langt karbonfiber katamaran-passasjerfartøy med dagsforbruk på 6,3 MWh energi i rute med lengde 115 nautiske mil.

¹³ Lower Heating Value - LHV (Lower Calorific Value eller Net Calorific Value – NCV) er energimengde avgitt ved forbrenning av væske eller gass uten at varmen fra vandamp i avgassen blir gjenvunnet

¹⁴ Jørgen Johan Liebig-Larsen og Ole Gunder Skiaker: *Bacheloroppgave Fra diesel- til hydrogenrevet hurtigbåt*, Sogndal 2017

Det er store forskjeller i CO₂-utslipp fra ulike typer forbrenningsmotorer i forhold til elektrisk fremdrift basert på batteri og hydrogen. Illustrasjon 2 viser utslipp fra kjøretøy basert på ulike energikilder. Merk at vannelektrolyse er ført opp som fremtidig teknologi. Begrepet *fremtidig* gjelder Johnson Matthey sin satsing. Vannelektrolyse er vanlig produksjonsmetode for hydrogen i Norge.



Illustrasjon 2. Fremstilling av CO₂-utslipp fra kjøretøy med fremdrift basert på ulike energikilder. HV står for Hybrid Vehicle. EV står for Electric Vehicle. FCHV står for Fuel Cell Hybrid Vehicle¹⁵

Virkningsgrad for brenselceller er pr. august 2019 oppe i 58 %¹⁶ basert på forholdet mellom energiinnholdet i hydrogen og mengde elektrisk energi levert ut fra brenselcelle. Noe energi går dessuten vekk til drift av kompressor og sirkulasjonspumpe i kjøleanlegg og ved interne tap i omformere og kraftelektronikk. Den reelle virkningsgraden for et system vil øke dess mer av varmen fra brenselcellene som kan gjenvinnes til bruk om bord.

Hydrogenbaserte energisystem har høyere vekt enn system basert på tradisjonelle dieselmotorer. Vektøkningen skyldes at tanken for lagring av trykksatt hydrogen er relativt tunge. Brenselceller har bedre virkningsgrad enn dieselmotorer. Dette veier opp for økt energibruk som følge av noe tyngre hydrogenbasert energisystem. Det totale energiforbruket for rutedrift med hydrogenbaserte passasjerbåter blir lavere enn for drift med dieseldrevne fartøy.

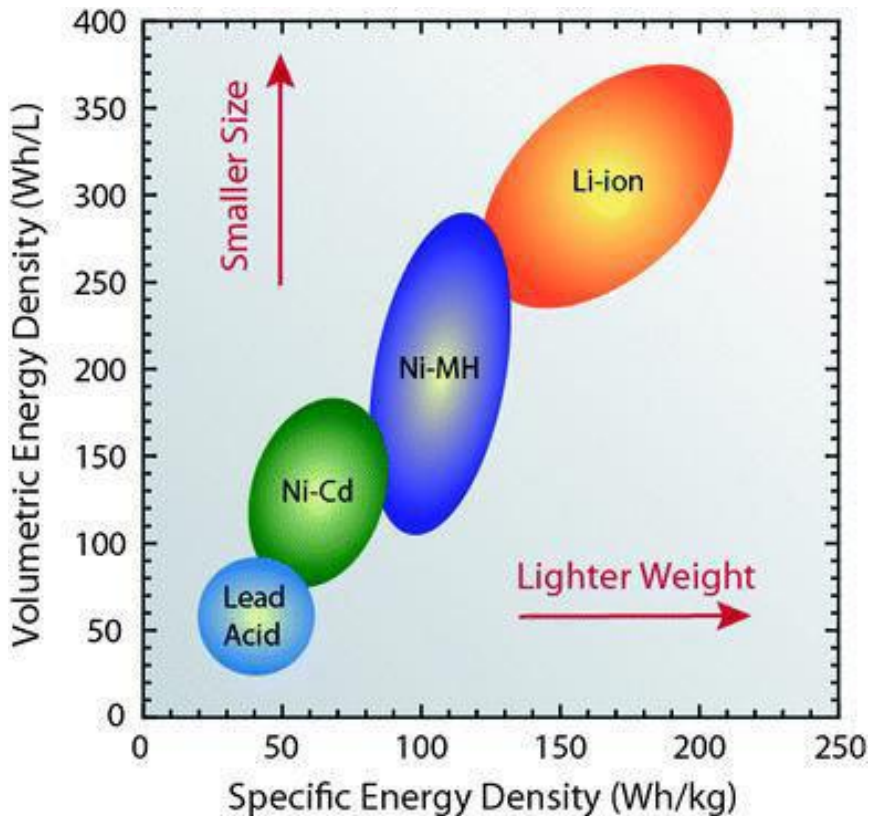
Hydrogen blir gjerne klassifisert som grønn, blå eller grå. Definisjonene er søm følger:

- Grønn hydrogen blir produsert av fornybar energi, for eksempel vann-, sol- eller vindkraft
- Blå hydrogen blir produsert fra fossile energikilder (for eksempel dampreforming av kull eller naturgass) med tilhørende fangst og lagring av CO₂
- Grå hydrogen blir produsert av fossile energikilder uten fangst og lagring av CO₂

¹⁵ Katsuhiko Hirose: *Materials towards carbon-free, emission-free and oil-free mobility: hydrogen fuel-cell vehicles – now and in the future*. Phil. Trans. R. Soc. A 2010 368, 3365-3377

¹⁶ Thomas Walter, H2 Energy, august 2018

Det finnes en rekke typer batteri til maritim bruk. De ulike batteritypene har ulike egenskaper som evne til å levere høy effekt, ta imot høy ladeeffekt, tåle mange lade- og utladingscykluser, lav vekt og lite volum, høy energitetthet etc. Utviklingen har gått raskt de siste 10-årene. Illustrasjon 3 viser utvikling av energitetthet per volum- og vektenhet for ulike batterityper. De siste årene har det blitt installert batteripakker på opptil 5 MWh i store fartøy. Det er utviklet ulike konsept for lading, og flere av konseptene kan overføre effekter på 4 MW.



Illustrasjon 3. Batteriteknologien har utviklet seg betraktelig de siste tiårene. Illustrasjonen viser hvordan energitettheten har blitt stadig bedre¹⁷

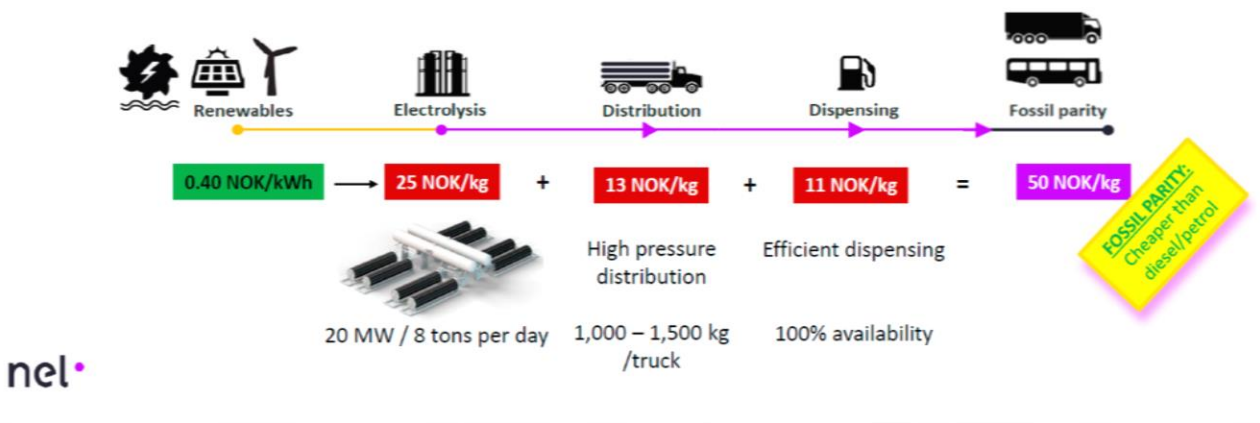
Flere nasjonale energiaktører og hydrogendistributører forventer at utsalgsprisen for hydrogen til maritim sektor blir 40-50 kroner per kilo. I mai 2019 var prisen for marin diesel ca. NOK 6,50 per liter, inkludert avgiftsfritak. Sett i forhold til energiinnholdet i diesel og virkningsgraden for hydrogenbaserte energisystem, vil drivstoffkostnaden for hydrogen bli omtrent dobbel så høy som for diesel. Forholdet gjelder for energimengde levert til propell. Illustrasjon 4 på neste side fremstiller kostnadsfordeling på de ulike leddene i hydrogenverdikjeden.

¹⁷ Illustrasjon fra publikasjon: Veerapandian Ponnuchamy; Towards A Better Understanding of Lithium Ion Local Environment in Pure, Binary and Ternary Mixtures of Carbonate Solvents : A Numerical Approach, januar 2015

Fossil parity on fuel achievable in Norway today

Centralized production close to power or heat source enables business case

- Regional hydrogen production, use of low cost renewable energy
- Possible to integrate with central heating grid
- Parity with taxed diesel possible already from 4-8 ton per day



Illustrasjon 4. Kostnadsfordeling på de ulike leddene i hydrogenverdikjeden¹⁸

5.1.5 Utslippsfri/nullutslipp fremdrift

Omtale av utslipp fra transportsektoren er i hovedsak relatert til utslipp av klimagasser. Klimagasser er gasser som påvirker klimaet ved å virke inn på jordens og atmosfærens strålingsbalanse. En del av disse gassene er drivhusgasser som påvirker temperaturbalansen og fører til global temperaturstigning. De viktigste drivhusgassene er vanddamp, karbondioksid, metan og lystgass. Menneskelig aktivitet tilfører også ulike hydrokarboner til atmosfæren. De menneskeskaptede utslippene av klimagasser skyldes først og fremst forbrenning av fossile brensler (kull, olje og gass) samt avskoging i tropiske strøk. CO₂ bidrar mest til global oppvarming.

Kyoto-protokollen fra desember 1997 regulerer de globale utslippene av karbondioksid, metan, lystgass, hydrofluorkarboner, svovelheksafluorid og perfluorkarboner.

Avgassene fra transportsektoren inneholder også helsefarlige gasser, kjemiske forbindelser og partikler. Gassene er i hovedsak NO_x, en fellesbetegnelse på nitrogenholdige gasser. Disse er nitrogenoksidene NO, NO₂ og N₂O₃. Mengden NO_x som dannes øker med temperaturen i motoren. Derfor dannes det mer NO_x i en motor som brenner diesel enn i en bensinmotor.

Diesel inneholder også svovel. Marin gassolje (MGO)¹⁹ er diesel med høyere svovelinnhold enn det som er tillatt for landbasert transport. MGO kan inneholde opptil 1 000 ppm²⁰ svovel. Kravet til autodiesel er maksimalt 10 ppm. Dieselmotorene avgir også hydrokarboner (HC) i form av sotpartikler, svoveloksid (SO_x) og små mengder karbonmonoksid (CO).

Brødrene Aa sine tekniske løsningsforslag er basert på energi fra hydrogen og batteri. Passasjerbåter med fremdrift basert på disse energibærerne har ingen utslipp av klimagasser eller andre gasser under

¹⁸ Fremstilling laget av NEL ASA, februar 2019

¹⁹ BunkerOil: Generelt om drivstoff; gassolje, fyringsolje, bensin og parafin <https://www.bunkeroil.no/produkter>

²⁰ Måleininga ppm står for «part per million» og angir t.d. mengde partiklar i luft

driftsmodus. Utslipp av slike gasser vil likevel i ulik grad inngå i produksjonsprosessen for både hydrogen og batteri samt for transport av hydrogen.

Dette er likevel i samsvar med Trøndelag fylkeskommune sin bestilling: [.....] Demonstrere for Trøndelag fylkeskommune at drift av hurtigbåt med nullutslipp er teknisk og økonomisk mulig. [.....] Energibæreren må i tillegg kunne produseres uten noen form for utslipp. Det medregnes da ikke utslipp i forbindelse med bygging av produksjonsanlegg og transport av energibæreren.

5.1.6 Nåverende teknologi

Maritime fremdriftssystem basert på energi fra batteripakker er velprøvd og kommersiell tilgjengelig teknologi. De siste 20 årene har det vært vanlig å bruke elektriske motorer i diesel-elektriske fremdriftssystem, særlig på ferje og offshorefartøy. I Norge ble energiforsyning fra batteripakker kommersialisert med bilferja "Ampere" i 2015 og Brødrene Aa sin turistbåt "Vision of The Fjords" i 2016. Siden har bruk av batteri i ferjedrift økt veldig. Per juni 2019 var ca. 30 elektriske ferjer under bygging eller i drift i norske ferjesamband. Brødrene Aa leverte den helelektriske "Future of The Fjords" i 2018 og har et tilsvarende fartøy under bygging for levering i 2020.

Brenselceller har vært i kommersiell bruk i stasjonære landbaserte energisystem i flere tiår. I transportsektoren er det flere fabrikanter som leverer biler med brenselceller og hydrogenbasert fremdrift. Toyota og Hyundai er de største fabrikantene. Toyota legger nå til rette for å tidoble produksjonen av hydrogenbiler til 30 000 biler i året. Det blir også levert hydrogendrevne busser fra mer enn 10 ulike fabrikanter. I Europeiske storbyer er det flere hundre hydrogenbusser i regulær drift.

Hyundai utvikler hydrogendrevne lastebiler og har inngått avtale om å levere COOP i Sveits 1 000 lastebiler til regional varetransport. I USA tilbyr Nikola Motor Company hydrogendrevne trekkvogner for store vogntog. Selskapet hadde per september 2018 bestillinger på 11 000 trekkvogner og har lagt planer for utbygging av 700 hydrogenfyllestasjoner over hele USA.

Hydrogenbaserte fremdriftssystem er velutviklet og kommersialisert til landbasert transport. Mindre justeringer og tilpassinger og fullskala testing om bord i fartøy er nødvendig for at systemene skal bli godkjent til maritim bruk. Utvikling av regelverk vil være basert på design, testing, utvikling, bygging og drift av første generasjons hydrogendrevne fartøy. Inntil videre må fartøy med hydrogenbasert fremdrift bygges etter IGF-koden, dvs. at hvert enkelt fartøy må ha forhåndsgodkjenning fra Sjøfartsdirektoratet før bygging kan starte.

Tanker for lagring av hydrogen er kommersielt tilgjengelig fra flere produsenter, både for hydrogen i trykksatt og flytende form. Den norske bedriften Hexagon er blant verdens ledende produsenter av karbonfiber trykktanker. Lagringstrykket for hydrogen i biler, busser og lastebiler er til vanlig 700 bar. Ombord i fartøy er det mer plass tilgjengelig og lagringstrykket vil trolig være 250 eller 350 bar. For fartøy som skal seile lange distanser er hydrogen i flytende form mest hensiktsmessig på grunn av høyt energiinnhold per vekt og volumenhet. Relatert til Trøndelag fylkeskommune sin utviklingskontrakt kan rutene Trondheim-Kristiansund og Trondheim-Brekstad i utgangspunktet være aktuell for både flytende og trykksatt hydrogen. Avklaring følger senere i rapporten.

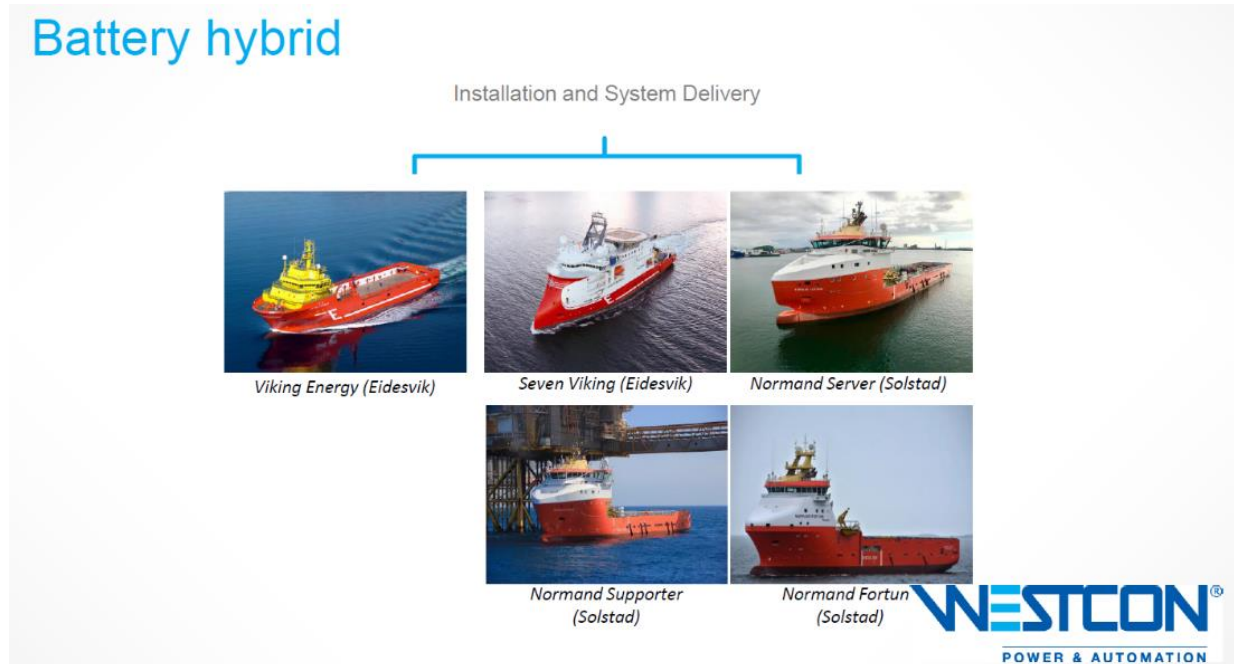
Flere leverandører tilbyr lager- og bunkringsløsninger for hydrogen. Blant disse er norske Hyon og britiske ITM. Begge aktører har levert mange anlegg til landbasert transport. Samme type anlegg kan brukes til maritim sektor. Forskjellen på landbaserte og maritime bunkringsanlegg er at fartøy har behov for å fylle større mengder hydrogen enn biler, busser og lastebiler. Produsentene har videreutviklet sine system slik at fyllhastigheten er økt.

Teknologi for deteksjon av hydrogenlekkasjer er viktige komponenter i hydrogenbaserte energisystem. Det er flere leverandører av slike sikkerhetssystem.

5.1.7 Nødvendig teknologiutvikling frem mot 2022

5.1.7.1 Batteriteknologi

Siden bilfergen "Ampere" ble satt i drift 2015 har skipsfarten vært vitne til en stor revolusjon innen elektrifisering. Rundt 80 elektriske ferger er vedtatt bygget som følge av de positive erfaringene med "Ampere". Denne store satsingen har ført til at batteri- og integrasjonsleverandørene fokuserer på forbedring av komponenter og driftssystemer. De neste årene vil markedet for maritime batterier bli godt utviklet i forhold til konkurranse, forbedringer og utvikling i tråd med sluttbrukernes behov. I tillegg til tradisjonelle bilferger har en rekke offshorefartøy fått hybridanlegg til mer energieffektiv DP-operasjon og seiling. I disse skipene virker batteripakkene både som en "spinning reserve" og til peak shaving i transit. Se illustrasjon 5 for eksempel på fartøy Westcon Power & Automation har levert batteripakker og styringssystem til.



Illustrasjon 5. Eksempel på offshorekip utrustet med batteripakker fra Westcon Power & Automation



Illustrasjon 6. Brødrene Aa leverte den helelektriske «Future of The Fjords» i 2018. Foto Maria Górzynska

Det store gjennombruddet innen helelektrisk fremdrift for hurtiggående passasjerbåter kom med “Future of The Fjords” i 2018. Oppfølgeren “Legacy of the Fjords” er under bygging og skal leveres i 2020. Begge fartøyene er designet og bygd/bygges av Brødrene Aa.

Konsolidering blant batterileverandørene har den siste tiden gitt sterke aktører som utvikler spesifikke produkter tilpasset ulike driftsprofiler innen ulike skipssegment. Energitetthet og driftssikkerhet er de største fokusområdene blant leverandør- og forskningsmiljøene innen batteriteknologi. For utvikling av energitetthet rettes fokuset delvis mot solid state-batterier. Det gjøres også store gjennombrudd innen utvikling av mer stabile og varige batterianoder ved å erstatte grafitt med silisium. Miljøer innen material- og elektrokjemisk forskning arbeider sammen i store prosjekter med støtte fra bl.a. bilindustrien. Resultater fra disse prosjektene vil også komme maritim industri til gode.

Eksempel på sikt prosjekt er omtalt i pressemelding²¹ fra Institutt for energiteknikk (IFE) 12.07.2018: “Med norsk forskning kan elbiler få 1 000 kilometers rekkevidde. Norske forskere har knekt en kode som kan gi elbiler, mobiltelefoner, nettbrett og annen teknologi mye høyere batterikapasitet enn i dag. – Du kan si at vi har funnet X-faktoren vi har lett etter. Dette har et helt enormt potensial og er noe forskere over hele verden forsøker å få til, sier forskningsdirektør Arve Holt ved Institutt for energiteknikk (IFE).”

5.1.7.2 Hydrogen

Det produseres i dag ca. 225 000 tonn hydrogen i Norge²², i all hovedsak ved reformering av naturgass ved Equinors anlegg på Tjeldbergodden og ved Yaras anlegg på Herøya. Hydrogenet brukes som innsatsfaktor til produksjon av henholdsvis metanol og ammoniakk. Equinor har signalisert at de har et produksjonsoverskudd av hydrogen på omtrent 5 500 tonn per år.²³ Produksjon av blått hydrogen ved disse anleggene forutsetter gjennombrudd og kommersialisering av CO₂-fangst og lagring.

En rekke studier på hydrogendrevne fartøy er utført de siste tiårene. Tabell 3 under gir en oversikt over studiene frem til 2016. Etter den tid har mange nye prosjekt og studier kommet til.

L. van Biert et al. / Journal of Power Sources 327 (2016) 345–364

359

Table 3
An overview of the most noticeable maritime fuel cell application research projects.

Program	Period	Fuel cell type	Logistic fuel	Application	Project lead	References
Class 212	1980–1998	PEMFC	Hydrogen	Submarine AIP	Howaldtswerke-Deutsche Werft	[17,188]
SSFC	1997–2003	MCFC/PEMFC	Diesel	Naval ship	Office of naval research	[41,42,138]
DESIRE	2001–2004	PEMFC	Diesel	Naval ship	Energy research centre Nld	[40]
FCSHIP	2002–2004	MCFC	Diesel		Norwegian Shipowners' Ass.	[46]
FellowSHIP	2003–2013	MCFC	LNG	Offshore supply	DNV research and innovation	[139,189]
FELICITAS	2005–2008	SOFC/GT	Diesel, LPG, CNG	Mega yacht	Fraunhofer institute	[143]
MC-WAP	2005–2011	MCFC	Diesel	RoPax, RoRo	CETENA	[43,44]
ZEMSHIP	2006–2010	PEMFC	Hydrogen	Passenger	ATG Alster Touristik GmbH	[190,172]
METHAPU	2006–2009	SOFC	MeOH	Car carrier	Wärtsilä corporation	[191,79]
Nemo H ₂	2008–2011	PEMFC	Hydrogen	Passenger	Fuel Cell Boat BV	[188,172]
SchIBZ	2009–2016	SOFC	Diesel	Multipurpose	ThyssenKrupp marine systems	[16,192,193]
PaXell	2009–2016	HT-PEMFC	MeOH	Cruise ship	Meyer Werft	[192,193]

Tabell 3. Oversikt over studier av hydrogendrevne fartøy²⁴

Ingen tidligere hydrogenprosjekt har imidlertid omfattet brenselcelleeffekter på størrelse med de planlagte cellene i de to Norled-fergene som skal bygges og settes i drift i 2021. Effekten på brenselcelleanleggene om bord vil bli 400 kW og 600 kW. I løpet av det nærmeste året vil teknologileverandørene for hydrogenlagring om bord og for brenselceller kvalifisere ulike produkt i henhold til maritime standarder

²¹ <https://forskning.no/ntb-energi/med-norsk-forskning-kan-elbiler-fa-1000-kilometers-rekkevidde/1210545>

²² DNV GL: SYNTESERAPPORT OM PRODUKSJON OG BRUK AV HYDROGEN I NORGE. Rapportnr. 2019-0039, Rev. 1, 25.01.2019

²³ <https://maritimecleantech.no/wp-content/uploads/2016/11/Report-liquid-hydrogen.pdf>

²⁴ A review of Fuel Cell systems for Maritime applications, L van Biert et.al, Journal of Power Sources 327, 2016

og regelverk. Fergeprosjektene planlegges ferdigstilt før realisering av andre norske passasjerbåtprosjekt. Utviklingsarbeid knyttet til hurtigbåt vil derfor ha stor nytteverdi av fergeprosjektene.

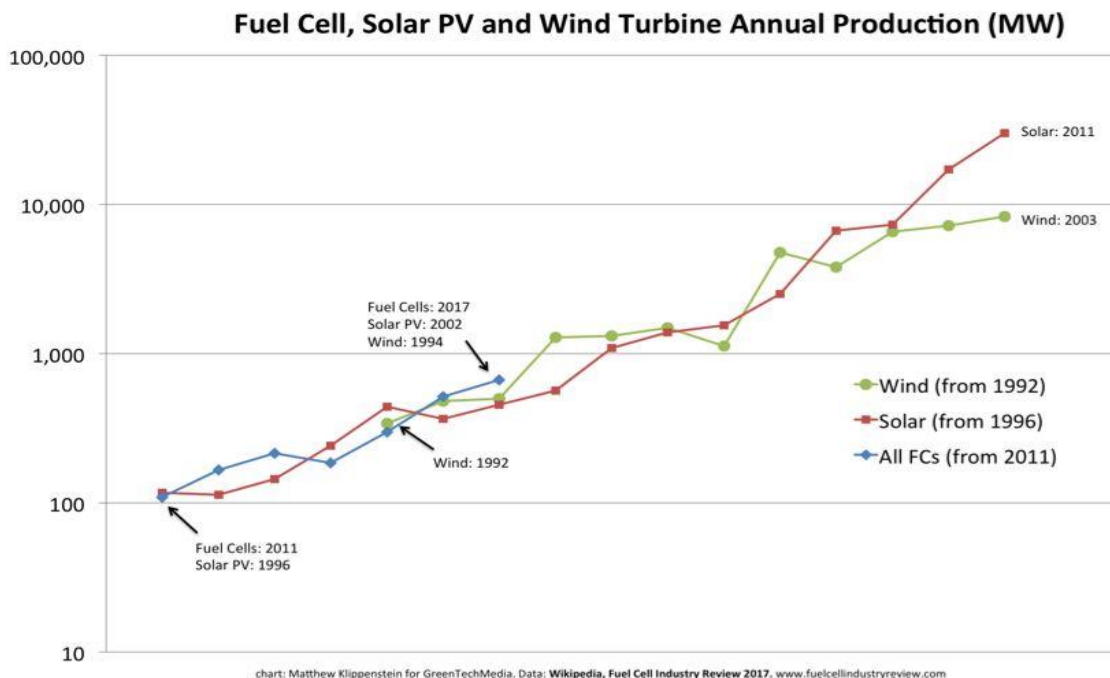
Westcon Power & Automation har en sentral rolle i de to fergeprosjektene. Det ene fergeprosjektet gjelder for Hjelmeland-sambandet i Rogaland. Det andre prosjektet er Finnøy-ruta som blir den norske demonstratoren i EU prosjektet FLAGSHIPS²⁵. I begge disse prosjektene vil det utvikles verdifull kompetanse innen overvåking, kontroll og energistyring av hydrogenbaserte brenselcelleanlegg. Kompetansen blir knyttet til driftsoperasjoner i maritimt miljø og i forhold til maritimt regelverk.

Hurtigbåtkonseptet for Trøndelag vil likevel stille ytterligere krav til vekt og plassoptimalisering pga. effektbehov på 2 500 kW. Fokus bør rettes mot optimalisering av fartøyene sin formfaktor (forhold mellom lengde, bredde og høyde) og synergier for å få ned vekt og størrelse på støttesystemer som kompressorer, filter, kjøling etc. Westcon Power & Automation bistår brenselcelleleverandører i å tilpasse form og funksjon med fokus på installasjon, drift og plass- og vekt optimalisering om bord i fartøy.

For hydrogenkonseptet til de aktuelle Trøndelags-rutene er det utført en heldags risikoanalyse (HAZID), hvor designbasis, generalarrangement, energisystem og brenselcellerom ble gjennomgått. Det ble rettet spesielt fokus mot aspektene høy fart og komposittmaterialer. HAZID-arbeidet ble forberedt, ledet og rapportert av Gexcon AS, en verdensledende kunnskapsleverandør for risikovurdering i forhold til eksplosjonsfare for gasser, inkludert hydrogen. Rapporten er i sin helhet gjengitt i vedlegg 1.

Batteriteknologien har hatt en rask positiv utvikling både i forhold til pris og energitetthet. Det har vært god drahjelp fra bilindustrien og volumene denne har generert.

Nedenfor er gjengitt skjematisk utrulling av volum produserte enheter for energikonvertering fra vind, sol og brenselceller. De respektive startårene er flyttet til samme utgangspunkt. Grafene viser at brenselceller frem til 2017 har fulgt samme utviklingstakt som vind og sol. Det er grunn til å tro at volumet vil fortsette å øke samsvarende. I praksis vil det bety stadig lavere pris på brenselceller i årene som kommer.



Illustrasjon 7. Utrulling av energikonvertering fra vind, sol og brenselceller, definert til samme startår²⁶

²⁵ <https://maritimecleantech.no/2019/05/13/flagships-project-to-deploy-two-hydrogen-vessels/>

²⁶ Matthew Klippenstein/GreenTechMedia: Fuel Cell Industry Review 2017

NCE Maritime Cleantech retter søkelyset mot prisutvikling i en artikkel²⁷ i Teknisk Ukeblad, publisert i desember 2018. Der belyses f.eks. hvordan den store satsingen på hydrogen i Kina, og teknologi-leverandørenes oppfølging av dette, kan bidra til å øke volumene tilstrekkelig til å drive pris og ytelse til riktige nivåer. Overskrift og ingress i artikkelen er som følger: "Hydrogenteknologi kan bli den neste store eksportvaren for norsk industri. Skipsfarten står midt i et skifte som kan bli nøkkelen til en stor hydrogenøkonomi i Norge."

I tillegg til den hydrogenrevne fergen²⁸ Norled skal bygge for drift i andre kvartal 2021, er Norled og flere norske deltagere, bl.a. Westcon Power & Automation, med i EU prosjektet FLAGSHIPS. Dette prosjektet vil realisere en norsk demonstrator som skal settes i drift på Finnøy-sambandet i 2021, og et fransk push-bargekonsept som skal settes i drift i Lyon.

Det er flere hydrogenbåtprosjekt under realisering internasjonalt. De viktigste prosjektene er disse:

- Passasjerhurtigbåtprosjektet Water Go Round²⁹ i California, planlagt sjøsetting høsten 2019
- Ferguson Marine, Hyseas III³⁰ i Skottland, driftsetting 2021
- FLAGSHIPS/Norled, 600 kW hydrogen FC bilferge³¹ til Finnøysambandet i Rogaland, driftsetting 2021
- FLAGSHIPS/CFT, 400 kW hydrogen FC push tug³² for drift på Rhone, Frankrike, driftsetting 2021



Water Go Round
USA, 2019



Hyseas III
Skottland, 2021



FLAGSHIPS/CFT
Frankrike, 2021



Norled
Rogaland, 2021



Maranda
Finland, 2020



Future Proof Shipping
Nederland, 2020



FLAGSHIPS/Norled
Rogaland, 2021

Illustrasjon 8. Eksempel på maritime hydrogenprosjekt som konsortiet har dialog eller samarbeid med

5.2 Nullutslipp fremdriftssystem i hurtigbåter

De mest realistiske formene for energilagring om bord i fartøy de nærmeste 4-8 årene vil skje ved bruk av batterier eller hydrogen i tanker. Nedenfor gis en sammenligning av disse metodene i forhold til energitetthet og virkningsgrader.

5.2.1 Energitetthet

Tabell 4 gir en oppstilling som grovt sammenligner energitetthet for hydrogen og batteri med energitetthet for diesel. Merk at tallene for hydrogen er eksklusiv lagertanker. Typisk vil komprimert hydrogen utgjøre 5-8 % av totalvekta dersom en tar med vekta av lagertankene.

²⁷ <https://www.tu.no/artikler/hydrogenteknologi-kan-bli-den-neste-store-eksportvaren-for-norsk-industri/453020>

²⁸ <https://www.tu.no/artikler/norled-bygger-verdens-forste-hydrogen-ferge/452526>

²⁹ <https://watergoround.com/>

³⁰ <https://www.hyseas3.eu/the-project/>

³¹ <https://www.tu.no/artikler/norled-skal-bygge-hydrogenferge-nummer-to/465145>

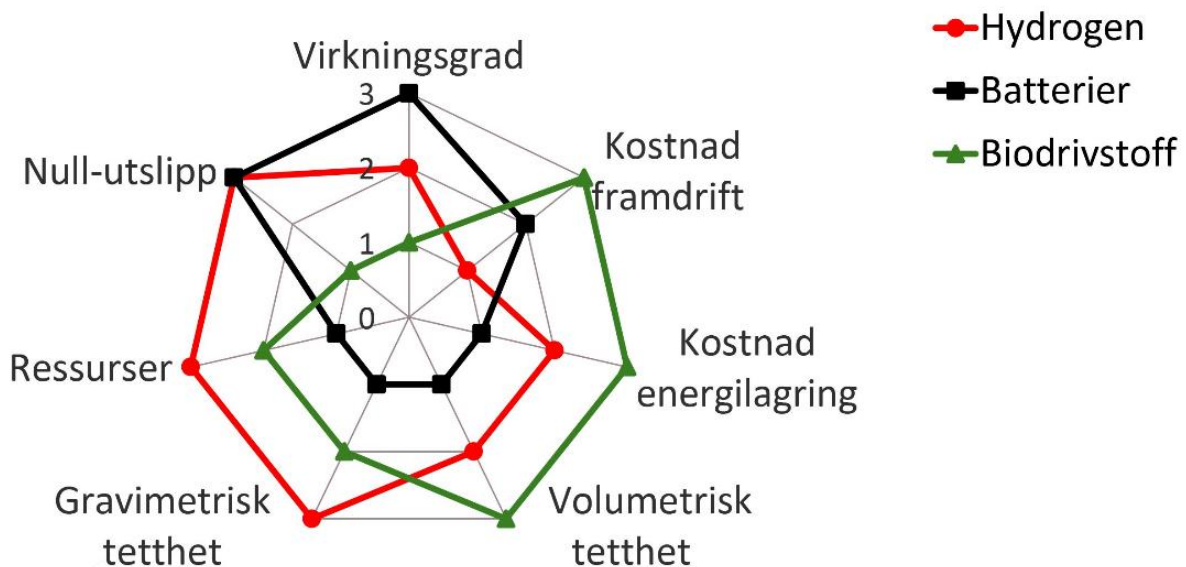
³² <https://new.abb.com/news/no/detail/24279/abb-teknologi-driver-verdens-forste-hydrogendrevne-elvebat>

	Batteri (typisk)	Flytende H2 (eks. tank)	Komprimert H2 (250 bar, eks. tank)	Diesel
Egenvekt (kg/m ³)	2 000	71	18	900
Gravimetrisk egenvekt (kWh/kg)	0,1	33,33	33,33	11,83
Volumetrisk egenvekt (kWh/m ³)	90	2343	594	9 000

Tabell 4. Energitetthet for batteri, hydrogen og diesel

Som omtalt i tidligere kapittel forventes en stor positiv prisutvikling på hydrogenløsninger som følge av økende volum og storskala produksjon. De nærmeste årene må en leve med at priser på brenselceller og anlegg vil være 10-15 ganger dyrere enn dagens dieselanlegg.

Institutt for Energiteknikk (IFE) er sentrale i forskning innen batteriteknologi og hydrogen brenselceller. I en artikkel i Teknisk Ukeblad sammenfatter de styrker og svakheter for alternative drivstoff som vist i illustrasjonen under.



Illustrasjon 9. Sammenligning av egenskaper for hydrogen, batteri og biodrivstoff.³³ Rangeringen har 3 som beste score. Ressurser angir tilgang på råvarer som inngår i verdikjeden. Gravimetrisk tetthet er energimengde per vekt (kWh/kg). Volumetrisk tetthet er energimengde per volum (kWh/m³)

I utredning av nullutslipp hurtigbåter i det virkelighetsbildet som er gjengitt over, vil pris på teknologi derfor peke på batterilager som første prioritet. For lengre ruter eller ved større energibehov fremstår hydrogen som beste alternativ. For energimengder over ca. 3-4 MWh vil hydrogen være mest egnet vektmessig.

5.2.2 Egenskaper hydrogen- vs. batterisystemer

Batterisystemer må prosjekteres med særlig fokus på antall ladesykluser og utlading (Depth of Discharge – DoD). Batteriers ytelse over levetiden forringes avhengig av disse faktorene. Det må derfor legges inn marginer for å sikre at ladetilstand over driftssyklusene ikke kommer lavere enn rundt 30 %, og ikke høyere enn rundt 80 % for å få en tilfredsstillende levetid. Vi legger til grunn i prosjekteringen av fartøyene beskrevet i denne rapporten at 10 års levetid vil kunne oppnås med rundt 3 500 utladningssykluser (30 % DoD) i året. Hver batterimodul i systemet overvåkes separat og vil kunne skiftes ut separat under levetiden derom driftsforstyrrelser skulle inntreffe.

³³ <https://www.tu.no/artikler/hydrogen-og-batterier-trenger-ikke-vaere-enten-eller-kanskje-er-den-ultimate-losningen-hybrid/379351>

De ulike produsentene oppgir brenselceller (FC) for hydrogen til å ha en levetid på 30 000-50 000 driftstimer før planlagt utskiftning. Dette forutsetter jevn drift på brenselcellene, som igjen nødvendiggjør batteripakker om bord for å ta lastvariasjoner. Som for batterier vil FC bestå av moduler som overvåkes separat og som kan skiftes ut en og en dersom feil oppstår.

Både batterier og FC-systemer er utviklet for å takle dynamiske påkjenning som vibrasjoner og slag. Tiltak for å eliminere risiko for disse parameterne er ivarettatt av leverandørene. Lang erfaring med disse påkjenningene fra bil- og bussløsninger har gitt gode erfaringstall til å skulle håndtere dette også for maritime omgivelser.

Utfordringer med sloshing³⁴ i hydrogentanker inntreffer i hovedsak for systemer som bruker flytende hydrogen (LH2). LH2-tanker utrustes derfor med skvalpeskott for å redusere resonanstilstander i væske og gassoverflaten. For komprimert hydrogen (CH2) vil ikke sloshing eller interne bevegelser i tankene utgjøre noen risiko for driftssikkerhet og pålitelighet. Innfestinger av tanker, brenselceller og batterier skal følge gjeldene regelverk for installert utrustning og maskineri.

5.2.3 Virkningsgrader for ulike energisystem

I tabell 5 nedenfor vises en kjede av virkningsgrader for omforming av elektrisk kraft fra produsent til propeller om bord i skip. Tabellen gjelder for energilagring i batteri og som hydrogen. Merk at for et hydrogensystem vil elektrisk effekt ut av brenselcelle gå inn på batteribank via DC-DC omformer. Dette er reflektert i 94 % virkningsgrad i overgangen fra brenselcelle til el-motor.

Virkningsgrader fra strømnett til propellaksling:

Batteri	Virkningsgrad (%)	100 %		99 %		99 %		94 %		73 %		
	Effekt inn (kW)	Kraftverk	-->	Kraftnett	-->	Lading	-->	Li-ion Batteries	-->	El-motor	-->	Levert ut Propell
		100		100		99		98		92		67
Hydrogen	Virkningsgrad (%)	72 %		90 %		54 %		94 %		73 %		
	Effekt inn (kW)	Kraftverk	-->	H2 ut Elektrolyser	-->	H2 i tank om bord	-->	El ut av FuelCell	-->	El-motor	-->	Levert ut Propell
		100		72		65		35		33		24

Tabell 5. Virkningsgrader for elektrisk kraft til propell ved energilagring i batteri og hydrogen

Tallene for hydrogen i tabellen over gjelder komprimert hydrogen fra elektrolyse av vann. I NCE Maritime Cleantech-rapporten *Norwegian Future Value chains for LH2*³⁵ oppgis energibehovet for fremstilling av flytende hydrogen. Energibehovet for å omdanne hydrogen til flytende form er større enn for kompresjon. Dette gjør at virkningsgraden mellom elektrolyse og transport synker fra 86 % til 75 % for flytende kontra trykksatt hydrogen. For flytende hydrogen blir virkningsgrad til propell 20 %.

5.2.4 Hydrogensystem i maritime omgivelser

I fergeprosjektet som Statens vegvesen har bestilt fra Norled, vil regelverk og krav fra classeselskap og sjøfartsmyndigheter bli utviklet for kvalifisering av hydrogenlagre og brenselceller for bruk om bord i skip. Omfattende risikoanalyser av brenselcellerom og infrastruktur som lufttilførsel og varmeveksling er dekket i disse studiene. Brenselceller krever tilførsel av store mengder ren luft, og filtreringsprinsipper og komponenter er under utvikling til dette prosjektet. Det er satt som mål at kvalifisering av komponenter for maritime hydrogenbaserte fremdriftssystem skal være fullført i løpet av andre kvartal i 2020.

Westcon Power & Automation er også partner i det EU finansierte FLAGSHIPS-prosjektet som skal lede til en hydrogendrevet Norled-ferge i Rogaland samt en hydrogendrevet push-barge i Lyon i Frankrike. Disse prosjektene har mål om operative skip i 2021. Hydrogen vil bli lagret om bord i flytende form. FLAGSHIPS-prosjektet skal bidra til å bygge opp et europeisk nettverk som kan levere hydrogen, skipsdesign og kunnskap om hvordan man sikrer produksjon og leveranse av den nødvendige teknologien. Samtidig skal det utvikles nødvendig regelverk.

³⁴ Sloshing er når en væske beveger seg i lukkede tanksystem som følge av ytre bevegelser

³⁵ <https://maritimecleantech.no/wp-content/uploads/2016/11/Report-liquid-hydrogen.pdf>

Westcon Power & Automation sin rolle i begge disse prosjektene bidrar til at selskapet er blant de ledende aktørene på dette feltet. Gjennom Norled-prosjektene vil Westcon Power & Automation etablere ytterligere kompetanse som er direkte overførbart til etablering av utslippsfri drift av hurtigbårutene fra Trondheim.

5.2.5 Innfesting batteri og hydrogentanker

Batterier og hydrogentanker er innfestet i henhold til krav fra leverandører av respektive komponenter. Styrkeberegninger av fundamenteringer er gjort med vektgrunnlag fra underleverandører og akselerasjoner som er gitt i klassekrav.

Batterier og hydrogentanker er plassert for å oppnå minimal risiko ved eventuell skade på fartøyet, spesielt fra siden. Hydrogentankene er plassert minimum 20 % av skipsbredden inn fra skuteseide. Dette er i henhold til IGF-koden.

Det er lagt stor vekt på god tilkomst til områder som krever hyppig tilsyn. Batterirommene er plassert nede i skroget. Det er lagt vekt på enkel og sikker evakuering fra rommene om det skulle oppstå en uønsket hendelse.

5.2.6 Branntrygghet

Det legges opp til omfattende overvåkning av både batterirom, tank connection space (TCS) og brenselcellerom. Overvåking blir i form av gass-, røyk- og varmedetektorer. Alle disse detektortypene er kjent teknologi. Batterier og brenselceller har i tillegg omfattende intern overvåkning av temperaturer og spenningsnivåer etc. Alle sensorer gir signal til alarmsentral og varsling på skipsbro.

Batteri- og brenselcellerom vil ha 60 minutt brannisolasjon i samsvar med regelverk for kategori A-rom. Tradisjonelt branntilløp i brenselcelle-, maskin- og batterirom vil bli slukket med inert gass. Antent hydrogengass vil ikke kunne slukkes, men sikkerhetssystemet vil umiddelbart stenge tilførsel av hydrogen og hindre videre brannutvikling. Det vil også bli installert eksplosjonspaneler i brenselcelle- og maskinrom. Disse panelene løser ut på overtrykk for å avlaste strukturen til rommene. Panelene dimensjoneres i henhold til eksplosjonsanalyse som skal utføres for begge rommene.

5.2.7 Forbedringsmuligheter for fremdriftsløsninger

Alle fremdriftsløsninger som er valgt til fartøyene baserer seg på høyest mulig virkningsgrad og komfort i de ulike applikasjonene. Det finnes likevel rom for ekstra installasjoner som kan gi enda mer energiøkonomiske fartøyer.

Wavefoil: «*Put simply, wave power is directly converted into propulsive power³⁶*». Dette er et produkt som kan installeres i skrogene for å oppnå noen prosent ekstra drivstoffbesparelse, samt øke passasjerkomfort.

Interceptorer: Vannjet mister noen prosent fremdrift under retningsjusteringer. Med styreinterceptorer kan man redusere dette tapet, spesielt for hurtiggående fartøy. Ved å installere triminterceptorer vil man kunne holde en best mulig trim for fartøyet uavhengig av lastekondisjon. Dette vil være med på å redusere energibehovet til fremdrift.

«Active ride» blir ofte installert sammen med interceptorer. Dette er et system som bruker interceptorene for å minimere skipets bevegelser i sjøen og øke passasjerkomfort.

5.3 Konkretisering av rutene

5.3.1 Generelt om fartøyene

Fartøyene Brødrene Aa tilbyr til de tre Trondheims-rutene vil være optimalisert for minimal energibruk. Det oppnås ved lav vekt og at skrogstruktur er optimalisert i forhold til hastighet, vekt og tyngdepunkt på

³⁶ <https://wavefoil.com/>

de to ulike fartøytypene. Brødrene Aa sine deplasementskrog er karakterisert ved sine slanke- og strømlinjeformede linjer. Skrogdesignet er skalerbart slik at det kan benyttes på ulike lengder. Designet har gjennomgått et langt utviklingsløp med omfattende testing, blant annet på Marintek (nå Sintef Ocean). Brødrene Aa har levert en rekke fartøy med denne type skrogdesign og i ulike lengder. Verftet har derfor god kontroll skrogets ytelse.

Alle fartøyene i tilbudet tilfredsstiller krav til universell utforming. Brødrene Aa har ledende kompetanse på dette fagfeltet og kan vise til flere priser for fartøy med svært god universell utforming. I oktober 2017 ble Brødrene Aa og rederiet The Fjords tildelt Innovasjonsprisen for universell utforming.

– Verftet Brødrene Aa har gjort universell utforming til et konkurransefortrinn og har i dag et ledende kompetansemiljø både nasjonalt og internasjonalt. Dette bidrar til at de kan skape verdier og arbeidsplasser – og ikke minst unike båter som er bedre for alle passasjerer, sa Onny Eikhaug ved Design og arkitektur Norge (DOGA) i en pressemelding.³⁷

Generelt vil alle fartøyene bli designet i henhold til regelverk som gjelder for denne typen fartøy.

5.3.2 Ruta Trondheim-Vanvikan

Ruta er ideell for fartøy med batteridrift. Derfor er dette konseptet valgt. Mindre justeringer av rutetabell gir tilstrekkelig tid til lading ved hvert stopp.

Brødrene Aa og Westcon Power & Automation har verdensledende kompetanse på design og bygging av helelektriske passasjerfartøy. Teknologien de to bedriftene leverer er velprøvd, energieffektiv og driftssikker. Som eksempel kan nevnes at passasjerfartøyet “Future of The Fjords” i løpet av første sesong hadde en driftsregularitet på 98,04 %. Se vedlegg 4 for omfattende omtale av utvikling og teknologiløsninger for “Future of The Fjords”.

Design og drift av blant annet Brødrene Aa sine bygg “Vision of The Fjords” og “Future of The Fjords” har ført til utvikling av ledende system for energistyring og lading av helelektriske fartøy. Brødrene Aa og Westcon Power & Automation leverer svært effektive og driftssikre styrings- og ladesystem. Bedriftene sin samlede kompetanse vil sikre de beste, tryggeste og mest driftssikre løsningene for nullutslipps drift av routesambandet Trondheim-Vanvikan.

Brødrene Aa-konsortiet ønsker å bruke to mindre passasjerfartøy på ruta Trondheim-Vanvikan. Grunnen til dette er todelt:

1. To fartøy gir lenger tid ved kai ved hvert stopp, bedre forhold for lading (lavere effekt) og best batteriøkonomi (lenger levetid)
2. Analyse av trafikk tallene for ruta Trondheim-Vanvikan viser store trafikktopper morgen og ettermiddag. To fartøy gir økt rutefrekvens og kapasitet i disse periodene. Ett fartøy kan brukes i periodene med mindre trafikkgrunnlag

Bruk av ett fartøy (130 pax) i ruta vil gi utfordringer og ulemper som følger:

- Kortere tid ved kai for å holde ruta
- Kort ladetid og høyt effektbehov
- Dårlig batteriøkonomi på grunn av hard lading (kortere batterilevetid)
- Store batteripakker gir høyere vekt som igjen medfører større fartøy og høyere energiforbruk
- Vanvikan havn begrenser størrelse på fartøy
- Større fartøy krever økt bemanning (fartøy over 24 meter har normalt krav om fire personers besetning mot tre personer på fartøy under 24 meter)

³⁷ Sunnmørsposten 18. oktober 2018 <https://www.smp.no/naeringsliv/2017/10/18/Nyskappingspris-til-turistb%C3%A5t-fra-nordvestlandet-15466891.ece>

Ved bruk av to mindre fartøy (à 97 pax) kan Trøndelag fylkeskommune oppnå følgende fordeler:

- Økt totalkapasitet
- Større fleksibilitet
- Ingen behov for endring av havneforhold på Vanvikan
- Lenger ladetid per stopp og redusert behov for ladeeffekt
- Redusert ladeeffekt gir lenger levetid for batteriene og bedre batteriøkonomi
- Selv om ett fartøy er ute av rute viser statistikken at det er mulig å dekke trafikkbehovet med det andre fartøyet
- Indre Fosen opplever tilflytting. Sambandet er rustet for økt passasjertrafikk og potensielt større inntekter

Ulemper:

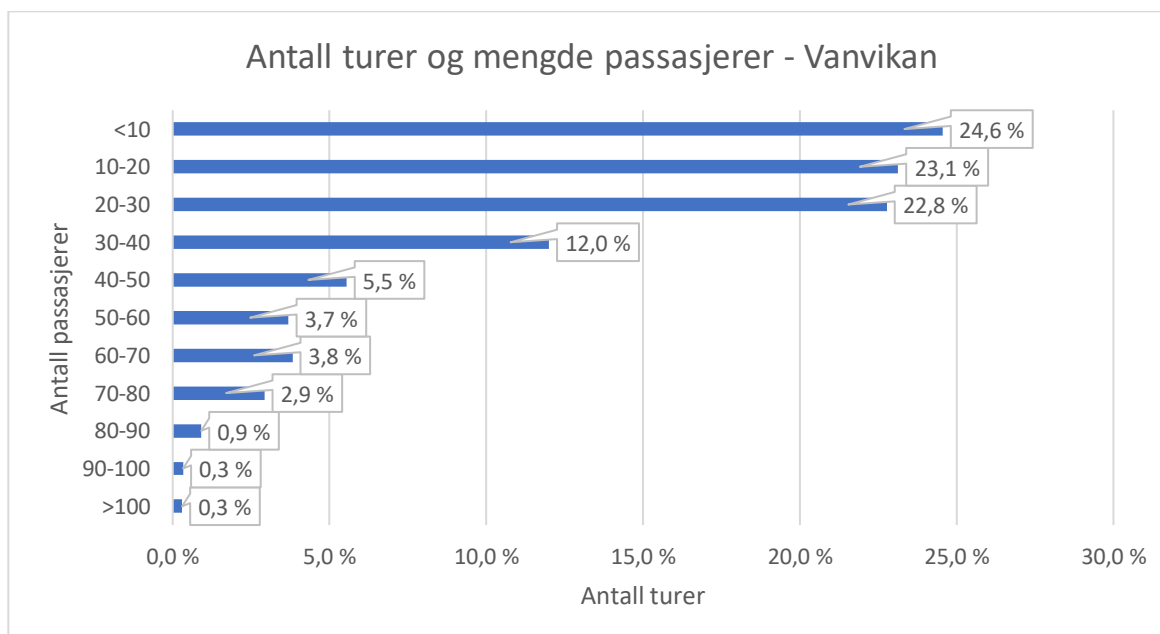
- Større bemanning gir økte operasjonskostnader, økte skipskostnader, økt total energibruk etc.

5.3.2.1 Analyse av trafikk tall

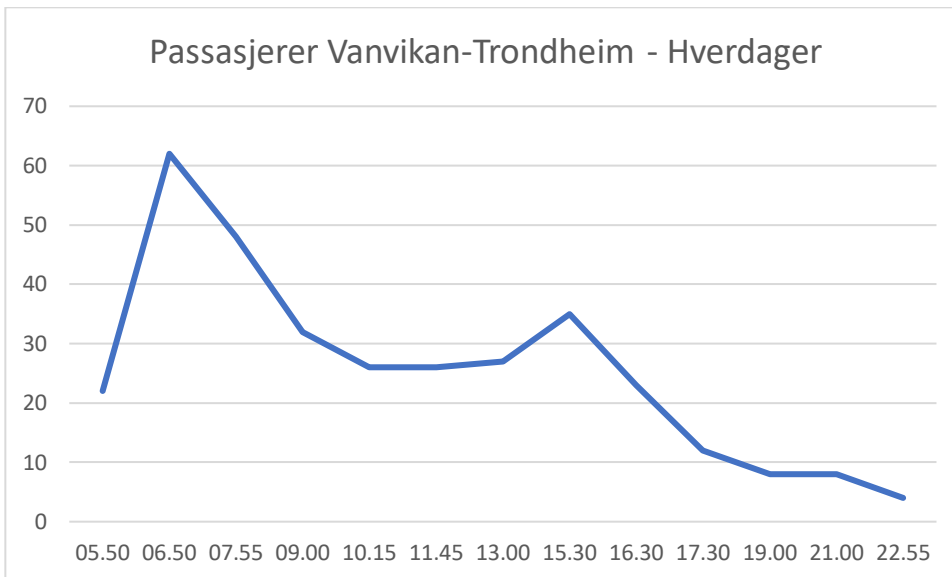
Konsortiet har fått tilgang til detaljert passasjerstatistikk for alle de tre båttrutene. Statistikken gjelder alle avganger og alle stopp. Tallmaterialet for ruta Trondheim-Vanvikan gjelder for tidsperioden 01.03.2017-30.04.2019. Konsortiet har gjennomført omfattende analyser.

Passasjerstatistikken viser at nesten alle turer i Trondheim-Vanvikan-sambandet går med færre enn 100 passasjerer. Ett 97 pax-fartøy vil dekke det meste av trafikkbehovet. Konsortiet ser derfor en oppside i å øke avgangsfrekvensen og heller ha mindre kapasitet per fartøy. Brukerne må ikke oppleve at nye miljøvennlige løsninger fører til reduserte tilbud. Konsortiets forslag med to mindre fartøy fremmer grønne og miljøvennlige løsninger ved å gi et bedre kollektivtilbud med stor fleksibilitet.

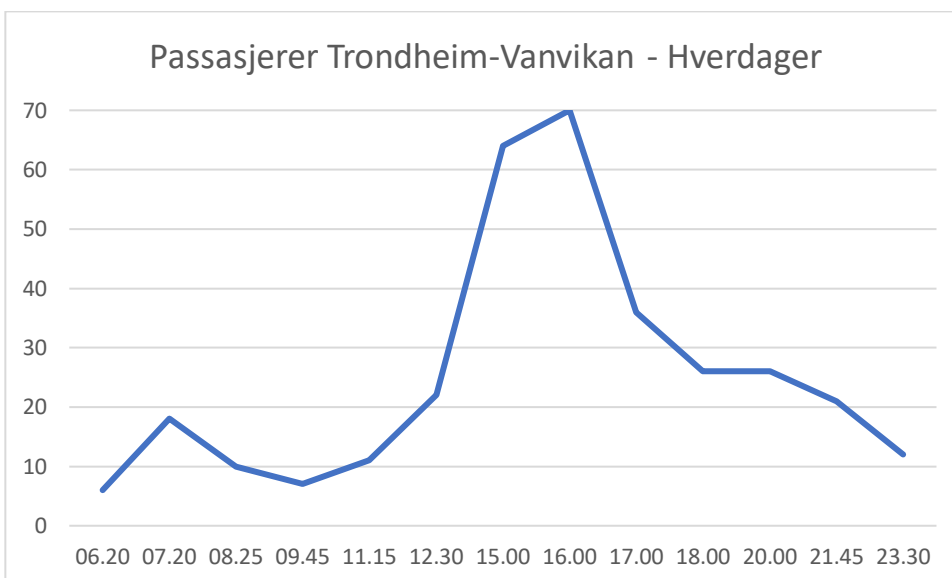
Det er to markerte daglige trafikktopper i rutesambandet. Disse skyldes arbeidspending mellom Vanvikan og Trondheim. Fra Vanvikan er det spesielt markert trafikktopp om morgenen med avgang kl. 06:50. I snitt er det 60 passasjerer på denne avgangen. For retur fra Trondheim er trafikkbelastningen fordelt på avgangene 15:00 og 16:00. Det er i snitt 64 og 70 passasjerer på disse to avgangene. Se illustrasjon 11 og 12 for grafisk framstilling av daglig passasjerbefordring for de to rutene.



Illustrasjon 10. Frekvensfordeling av antall passasjer på ruta Trondheim-Vanvikan



Illustrasjon 11. Trafikktall for ruta Vanvikan-Trondheim



Illustrasjon 12. Trafikktall for ruta Trondheim-Vanvikan

5.3.2.2 Rutetabell

Eksisterende rutetabell for Trondheim-Vanvikan er vist i tabell 6 på neste side. Tabellen er i det aller vesentligste ført videre i forslaget til nytt ruteoppsett. Nytt ruteoppsett er vist i tabell 7.

810

Trondheim - Vanvikan t/r

Gyldig fra: 24.04.2019

Overfartstid: 25 min

mandag-fredag		lørdag		søndag	
Fra Trondheim	Fra Vanvikan	Fra Trondheim	Fra Vanvikan	Fra Trondheim	Fra Vanvikan
06.20	05.50	07.25	06.30	09.30	10.00
07.20	06.50	08.25	08.00	11.30	12.00
08.25	07.55	09.45	09.00	13.30	14.00
09.45	09.00	11.15	10.15	16.15	16.45
11.15	10.15	13.00	11.45	18.00	18.30
12.30	11.45	15.30	13.30	19.30	20.30
15.00	13.00	17.00	16.00	21.00	22.00
16.00	15.30	18.00	17.30	22.30	22.55
17.00	16.30				
18.00	17.30				
20.00	19.00				
21.45	21.00				
23.30	22.55				

Tabell 6. Eksisterende rutetabell for ruta Trondheim-Vanvikan

Mandag - fredag		Lørdag		Søndag	
Fra Trondheim	Fra Vanvikan	Fra Trondheim	Fra Vanvikan	Fra Trondheim	Fra Vanvikan
06:30	05:50	07:10	06:30	09:30	10:10
06:05	06:45	08:30	07:50	11:30	12:10
07:25	07:10	09:50	09:10	13:30	14:10
07:50	08:05	11:10	10:30	16:15	16:55
09:10	08:30	13:00	11:50	18:00	18:40
10:30	09:50	15:30	13:40	19:30	20:40
11:50	11:10	17:00	16:10	21:00	21:50
12:40	13:20	18:20	17:40	22:30	22:55
13:10	12:30				
14:00	14:40				
14:30	13:50				
15:20	16:00				
15:50	15:10				
16:40	16:30				
17:10	17:20				
18:00	18:40				
-	17:50				
19:20	20:00				
20:40	21:20				
22:00	22:40				
23:20	-				

Tabell 7. Ny rutetabell med to fartøy på ruta Trondheim-Vanvikan. Den ene båten går rutetider med rød markering, den andre med blå markering. Båtene veksler på rutene annen hver dag og i helgene

Ny rutetabell har økt frekvens og kapasitet. Mandag-fredag blir ruteproduksjonen utført av to fartøy. Båt A er markert med blå farge i tabell 7. Båt B er markert med rød farge. Båtene veksler på rutene annen hver dag og i helgene. Tabellen legger opp til hyppigere avgangsfrekvens morgen og ettermiddag. I disse periodene er det 20-25 minutt mellom avgangene, mot en time med eksisterende rutetabell. I løpet av resten av dagen er frekvensen også økt, slik at reisende har større valgmulighet for når de skal reise. Samlet kapasitet på dagene mandag-fredag er økt fra 1690 pax til 1940 pax per dag. Se detaljer i tabell 8.

I helgene har nytt ruteoppsett samme frekvens og avganger som i eksisterende rute. Fordi nytt fartøy er mindre enn eksisterende fartøy er kapasiteten redusert fra 1040 pax per dag til 776 pax per dag lørdag og søndag. Basert på tallmaterialet fra siste to år vil reduksjonen føre at fartøyet i rute har underkapasitet på 0,1 % av turene på lørdag og 0,3 % av turene på søndag. Ruteoppsettet gir imidlertid rom for økt frekvens eller ekstraturer ved behov. Dette passer også i forhold til 12 minutt ladetid per rutestopp.

Totalt øker kapasiteten med 1 444 pax per uke i nytt ruteoppsett. Det gir rom for volumøkning som følge av potensiell folkevekst i Indre Fosen og økt arbeidspending mellom Vanvikan og Trondheim i fremtida.

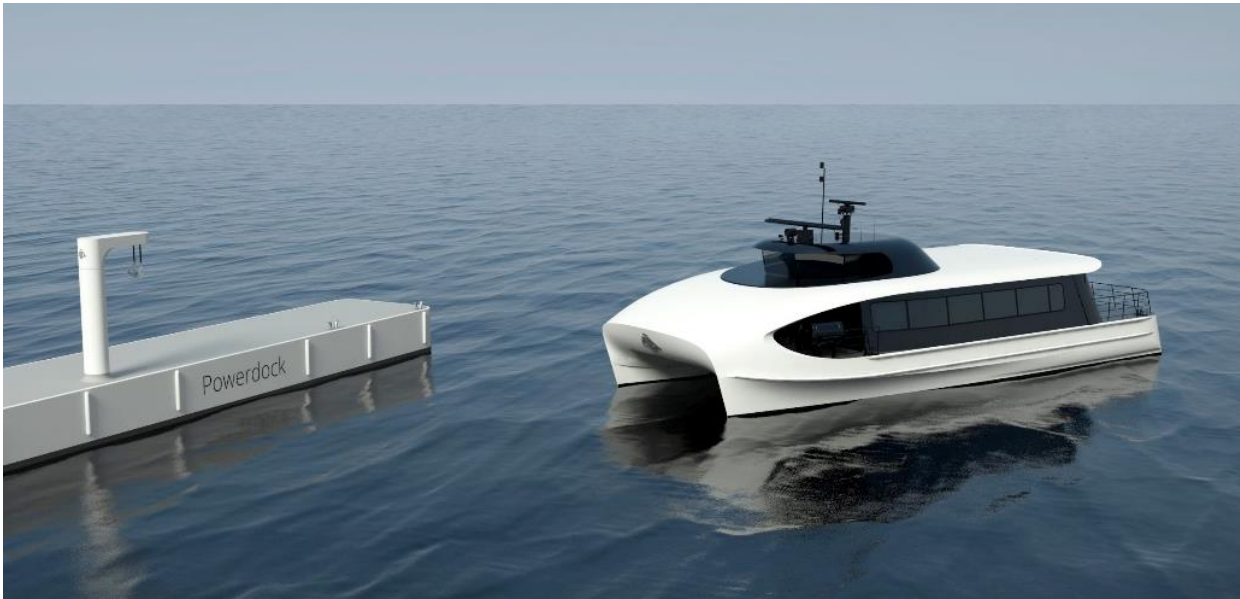
Eksisterende ruteopplegg	Mandag-Fredag		Lørdag		Søndag	
Antall turer	13	13	8	8	8	8
Pass kapasitet (130)	1690	1690	1040	1040	1040	1040
Ukeskapasitet	21060					
Nytt ruteopplegg	Mandag-Fredag		Lørdag		Søndag	
Antall turer Båt A	9	10	8	8	8	8
Pass kapasitet (A:97)	873	970	776	776	776	776
Antall turer Båt B	11	10				
Pass kapasitet (B:97)	1067	970				
Total kapasitet	1940	1940				
Ukeskapasitet	22504					

Tabell 8. Oversikt over kapasitet for eksisterende og nytt ruteopplegg Trondheim-Vanvikan

5.3.2.3 Fartøytype 2: 23,9m Aero 25

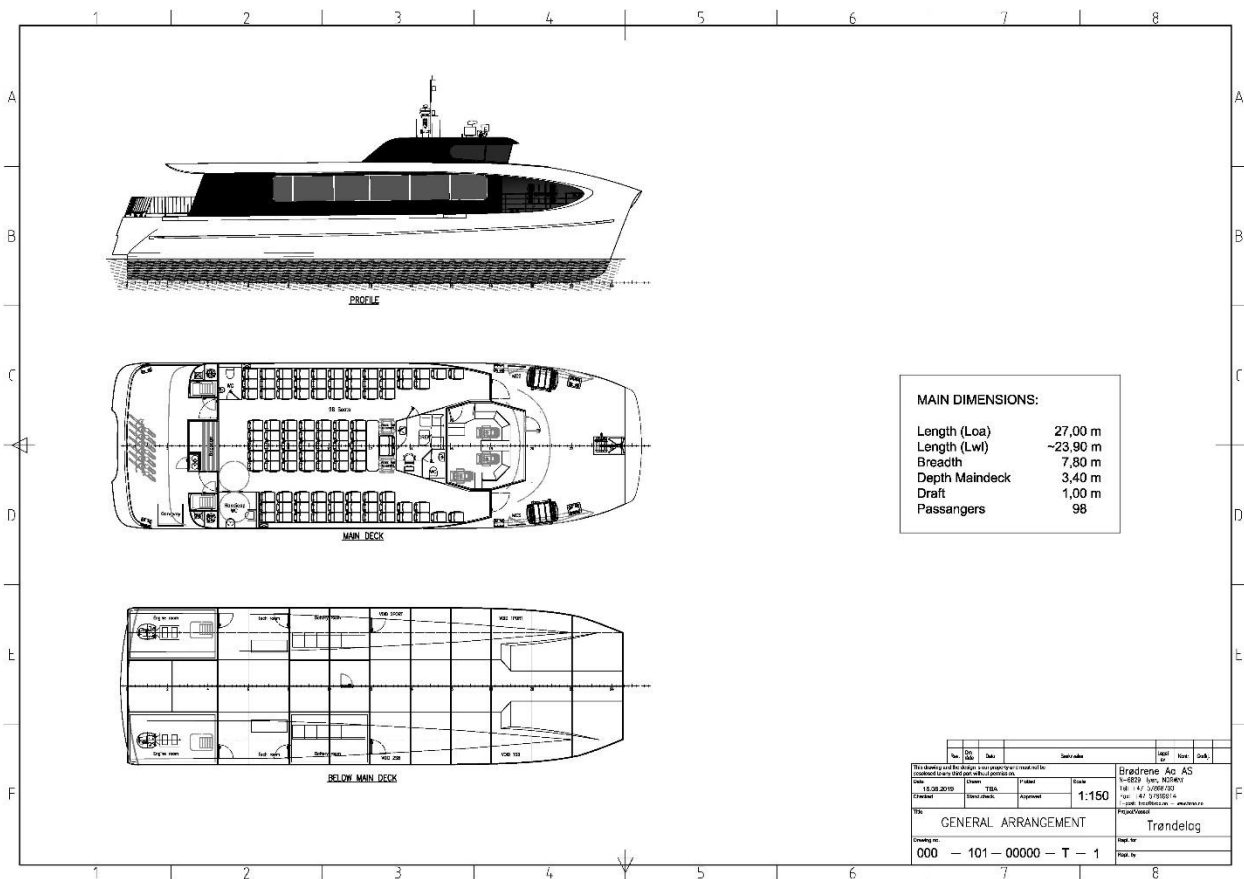
Fartøytype Aero 25 bruker batteri til lagring av energi. Dette fartøyet dimensjoneres for ruta Trondheim-Vanvikan som er ca. 9 nautiske mil en vei. Fartøyet utrustes for 97 passasjerer, samt noe overbygget dekk for frakt av sykler og annen last. Dagens fartøy på denne ruta går med en lavere servicefart enn for de to lengre rutene. Både distanse og hastighet gjør Trondheim-Vanvikan-ruta ideell for en batteriløsning med energitilførsel og lading ved begge endestoppene.

Det nye designet er optimalisert for betydelige vektbesparelser. Dette bidrar til å redusere installert effekt og reduserer behovet for energilagring og batteri om bord.



Illustrasjon 13. Design for fartøy Aero 25

Generalarrangement



Illustrasjon 14. Generalarrangement for fartøytype Aero 25

Generalarrangement ligger ved som vedlegg 2.

Drivlinje og energisystem

Det arbeides med å finne den beste kombinasjonen av høy virkningsgrad, lavt drag (motstand i vannet) og høy komfort/lave vibrasjoner. Vannjet gir minst vibrasjoner i de høye hastighetene. For hastigheter under 30 knop velges normalt propell til hovedfremdrift grunnet høy virkningsgrad. For sambandet Trondheim-

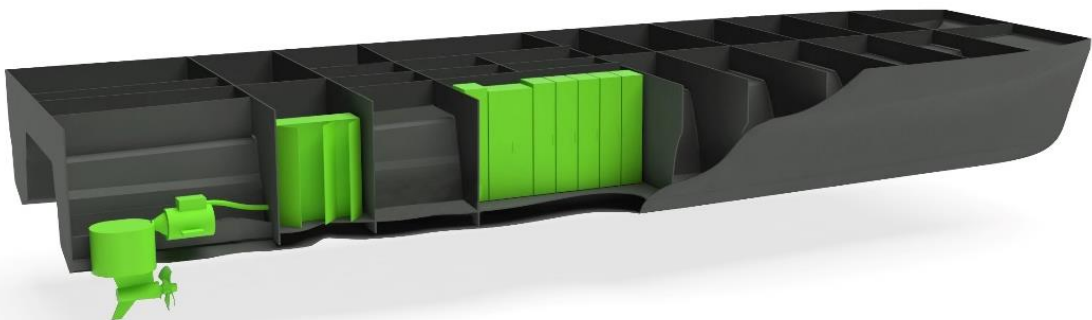
Vanvikan er i tillegg manøvreringsegenskapene svært viktig. Mindre tid til manøvrering gir mer tid til lading av batteriene.

Konsortiet foreslår derfor en manøvrerbar trekkende propell - en såkalt «pod». En slik løsning gir både god virkningsgrad og gode manøvreringsegenskaper. I tillegg er det en kompakt løsning som gir stor fleksibilitet i plassering av batterirommet.

Det blir installert 2 x 600 kW elektromotorer til fremdrift.



Illustrasjon 15. Kurve som viser effektforbruk [kW] for Aero 25 som funksjon av fartøyets hastighet [knop]



Illustrasjon 16. Arrangement under hoveddekk for Aero 25

Energibehov og ladetid

Med servicefart på 26 knop er energibehovet for *Aero 25* beregnet til 350 kWh i snitt per overfart. Løsningen med to fartøy i rute Trondheim-Vanvikan gir mulighet for 12 minutt lading per stopp. Med ladeeffekt på 1 750 kW vil man i løpet av stoppet kunne lade energien på 350 kWh som er brukt under overfarten.

Ladetid, effektuttak, energiuttak og beregnet levetid (ladesykler) er dimensjonerende faktorer for valg av batteri. For dette fartøyet vil levetid være en utslagsgivende parameter på grunn av den meget hyppige avgangsfrekvensen. Analyse viser at en batteripakke på ca. 1 120 kWh vil være optimal for å oppnå 10 års levetid. En tilleggseffekt ved å installere en batteripakke på denne størrelsen, er at man har gode sikkerhetsmarginer både ved nødsituasjoner og dersom det på enkelte turer brukes mer energi enn normalt. Med denne energimengden om bord kan man om nødvendig gå tur-retur Trondheim-Vanvikan uten å etterlade. Konsortiet har lagt opp til gode energimarginer og hensiktsmessig ladekapasitet. Vi mener oppsettet legger til rette for høy servicegrad i ruten.

Dersom man skulle basert seg kun ett fartøy med dagens rutetabell og hastighet, så medfører det svært høy effekt for energioverføring ved hvert terminalanløp. Med 26 minutt overfartstid, 4 minutt terminaltid, 3 minutt effektiv ladetid og et forbruk på 350 kWh per overfart må overføring av energi skje med en effekt på ca. 7 MW. Sett i forhold til levetidsanalyser for batteri og at batteriene ikke skal lades med mer enn 2C, så vil lading med 7 MW gjøre det nødvendig med en stor batteribank med svært høy vekt. Dette vil igjen skape behov for større fartøy og medfølgende potensiell konflikt ved anløp og manøvrering i Vanvikan havn.

Årlig energibehov for begge fartøy samlet er beregnet til 4 545 414 kWh. Energiforbruket er bruttoverdi, dvs. antall kWh tilført batteriene ved lading.

Følgende fakta er brukt som grunnlag for utregninger av energibruk for rute Trondheim-Vanvikan:

- Distanse per rundtur 33 km
- 20 rundturer per dag (man-fre)
- Distanse sakte fart Trondheim-Vanvikan-Trondheim 3 km
- Distanse servicefart 30 km
- Sakte fart 5 knop, effektbehov 100 kW
- Cruising 26 knop, effektbehov 1 150 kW (inkl. 1 knop margin)
- Cruising 22 knop, effektbehov 800 kW (inkl. 1 knop margin)

Ikke offentlig

Illustrasjon 17. Energisystem for fartøytype Aero 25. Energi er lagret i batteripakker

Automasjonssystem

The advertisement features a white background with the text 'Green Technology' in large blue font at the top. Below it, a line of text reads 'eSEAMatic BLUE, our signature brand for environmental products and solutions.' The central part of the ad is a horizontal row of four images: a white and blue ferry on the water, a large white container with a blue crane, a row of blue and white electrical cabinets, and a control room with a desk and computer monitors. Below each image is a label: 'Energy Storage System', 'Shore Power', 'Power Drives', and 'Battery system test-lab'. At the bottom, the 'eSEAMatic BLUE' logo is on the left and the 'WESTCON' logo is on the right.

Illustrasjon 18. Westcon Power & Automation sitt egenutviklede automasjonssystem e-SEAMatic BLUE tar i vare alle aspekt ved bruk av elektrisk energi til fremdrift av fartøy

Westcon Power & Automation har utviklet automasjonssystemet e-SEAMatic BLUE. Systemet sikrer optimal energiflyt mellom de ulike formene for energilager. Dette er en avansert prosess som krever god styring for å sikre optimal utnyttning av energien. Parameterer som virker inn på systemet er mellom annet fordeling av effekt mellom motorene, energiforbruk til hoteldrift, brenselcellene sin responstid og

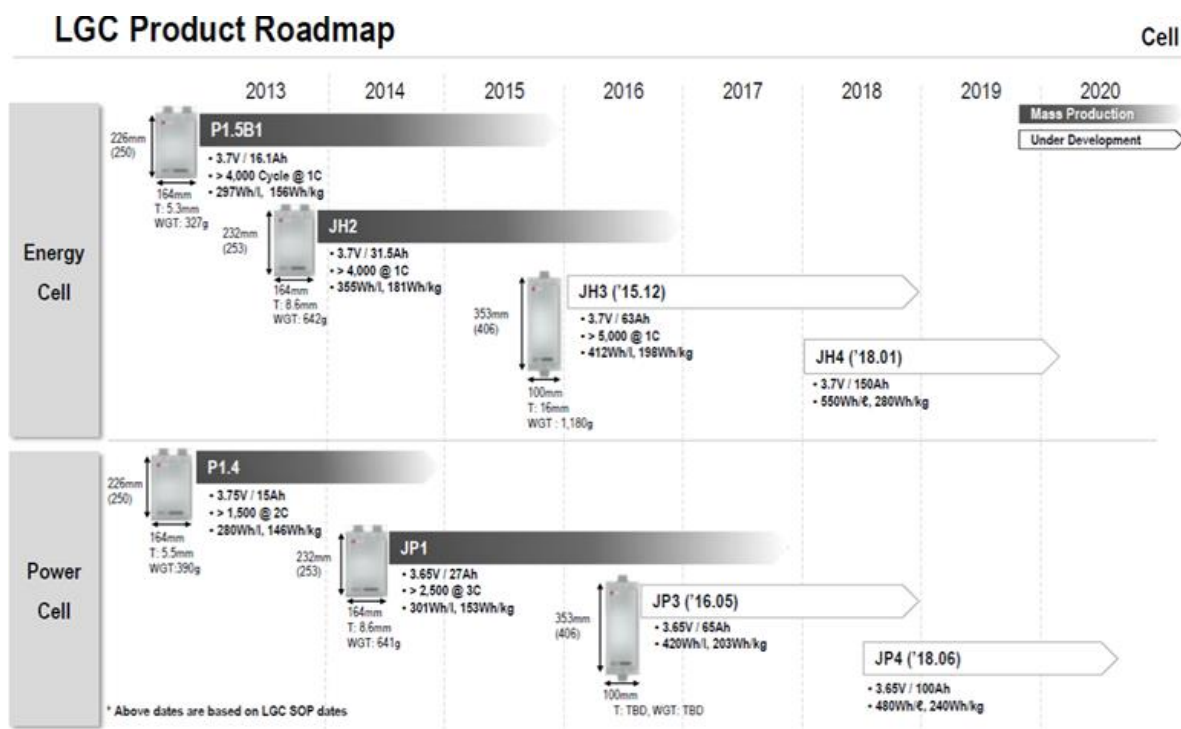
fordeling av energi lagret som hydrogen og i batteri. Styringssystemet vil bli videreutviklet til å omfatte automatiserte lade- og fortøyningsløsninger.

Automasjonssystemet e-SEAMatic BLUE har innebygde funksjoner som hindrer skade på komponenter i energi- og automasjonssystemet ved uønskede hendelser som f.eks. brudd i hovedkomponenter eller havari av motorer.

e-SEAMatic BLUE vil bli ytterligere optimalisert. En av utfordringene er å sikre energiflyten ved feil i systemet, slik at den ene delen av systemet og den ene motoren alltid vil være i drift selv om den andre halvdelene faller ut (redundans). En annen utfordring er å utvikle systemet til å sikre tilstrekkelig ladetid utan at det går utover driftsmønsteret. En tredje utfordring er bruk av energikilder med ulik responstid ved lastpåslag. Batteri reagerer svært raskt, mens brenselceller har noe lenger responstid. Konsekvensene av ulik responstid og ulikt uttak av energi er mindre kjent for effekter over 100 kW. Westcon Power & Automation vil videreutvikle og oppgradere e-SEAMatic BLUE slik at systemet skal ha optimal styring for alle driftsmodus, ulike energibærere og høye effekter.

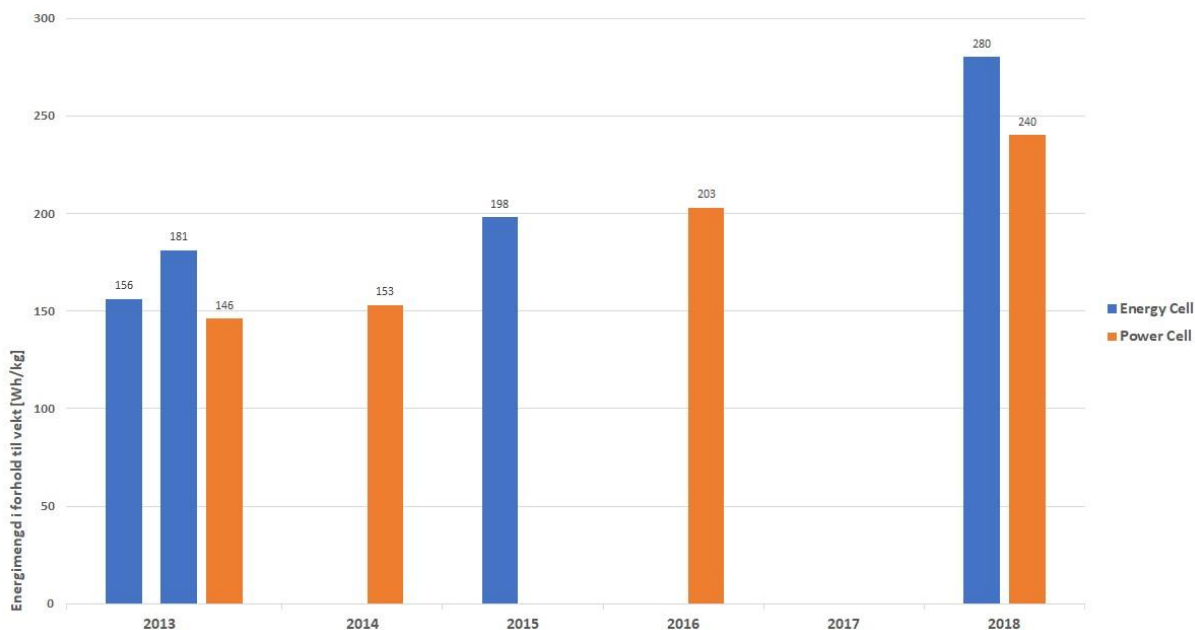
Batterisystem

Dei fleste batterileverandører benytter litium battericeller fra store aktører som LG og Samsung. Illustrasjon 19 viser utviklingen av LG sine batteri siden 2013. Det har vært stor økning i energitetthet. Batteriene kan lagre mye mer energi pr. kilo nå enn for fem år siden. Fra 2013 til 2018 har gravimetrisk energitetthet økt med henholdsvis 79 % og 64 % for LG sine to ulike batterityper. Batteri av typen Energy Cell tåler mange ladesykluser og har lagring av energi som største fortrinn. Typen Power Cell er utviklet for hurtigere lading og mer intensiv bruk. Illustrasjon 20 viser utviklingen i form av søylediagram.



Illustrasjon 19. Utvikling av LG sine batteri i perioden 2013-2018.³⁸ Energitettheten har økt med henholdsvis 79 % og 64 % for de to ulike batteritypene

³⁸ LGC Product Roadmap



Illustrasjon 20. Grafisk fremstilling som viser utvikling av energitettleik for LG sine to batteritypar Energy Cell og Power Cell. Søylen angir energimengd i forhold til vekt [Wh/kg]³⁹

Valg av batteri og batteristyring er basert på erfaringer fra tidligere Westcon Power & Automation-prosjekt som f.eks. den helelektriske turistbåten “Future of the Fjords” som Brødrene Aa har levert til operatøren The Fjords.

Infrastruktur lading

Overføring av energi er en vesentlig faktor for å tilfredsstille kravene til ruteproduksjon og opprettholde definert tjenestetilbud. Hovedfokus er å oppnå hurtig og effektiv lading ved hvert kaianløp. Løsningene må utformes slik at overføringseffekt blir høy, ladetid minst mulig, batteriene sin ytelse blir opprettholdt, levetiden blir lang og systemet kan operere med høyt antall ladesykluser. Samtidig må energitap være minst mulig og pris på batteri og ladesystem må harmoniseres i forhold til optimal drift og driftssikkerhet.

Westcon Power & Automation og Brødrene Aa har svært god kompetanse og tilgang til analyseverktøy som gir de beste løsningene for overføring og lagring av elektrisk energi. En ny type ladeplugg for effektiv lading med stor effekt er under utvikling av Westcon Power & Automation. Som følge av elektrifisering av fergeflåten opplever selskapet stor etterspørsel etter ladeløsninger som kan maksimere overførte kWh per minutt ved fergeanløp.

Westcon Power & Automation arbeider med løsninger som skal oppnå dette. De viktigste elementene er rask og autonom oppkobling simultant med båtanløp samt høy effektoverføring. Arbeidet med dette er startet i forbindelse med Trøndelag-prosjektet, og hovedmålet er å utvikle neste generasjons hurtiglader for skip. Ved å utnytte anløpstiden maksimalt og øke overføringseffektiviteten vil flere ferger og hurtigbåter kunne driftes med batteri og strøm fra kraftnettet.

Utviklingen har i løpet av fase 2 i Trøndelag-prosjektet resultert i prototypetegninger av mekaniske løsninger og spesifikasjoner av automatiserings- og kommunikasjonsteknologi. Konseptet kan dessverre ikke illustreres i innværende rapport på grunn av ønsker om patentering i konsortiet. Det har blitt vist stor interesse for konseptet fra ledende rederier. En slik løsning kan bli ferdigstilt i løpet av Q2 2020 dersom det oppnås tilstrekkelig sikkerhet i form av prototypeordrer.

³⁹ LGC Product Roadmap

Det er kapasitetsbegrensninger for levering av elektrisk energi ved Brattøra og Vanvikan kai. Denne utfordringen kan løses med konseptet PowerDock. Konseptet er utviklet av Westcon Power & Automation og Brødrene Aa. Konseptet består av flåte/flytebrygge med batteripakker lagret under dekk. PowerDock gjør det mulig å overføre store energimengder på kort tid på steder der kraftnettet er for svakt til direkte lading av et fartøy eller annen installasjon. Størrelse på batteripakkene blir tilpasset lagringsbehovet for energi. En fordel med PowerDock er at lading av batteripakkene skjer med relativt lav effekt i løpet av døgnet eller med høyere effekt i tidsperioder med lav belastning på kraftnettet eller når det er rimelig tilgang til elektrisk energi.



Illustrasjon 21. Brødrene Aa og Westcon Power & Automation sitt konsept PowerDock løser utfordring med lading når nettet på land har lav kapasitet⁴⁰

PowerDock er i bruk i Gudvangen i Sogn og Fjordane der det nybygde 100 % batterielektriske turistfartøyet «Future of The Fjords» får tilført energi ved hvert stopp, se illustrasjon over. PowerDock-en i Gudvangen har batterikapasitet på 0,7 MWh og kan lade med 2,5 MW effekt. Fysisk størrelse er 40x5x3,5 meter (LxBxH). Praktiske erfaringer viser at «Future of The Fjords» får overført ca. 0,8 MWh i løpet av 20 minutt liggetid. Energien blir overført i parallell fra PowerDock og nettet på land. «Future of The Fjords» har installert 1,9 MWh batterikapasitet. Konseptet PowerDock og erfaringer fra bruk i Gudvangen er direkte overførbare til rutebåtsambandet Trondheim-Vanvikan.

Netteier TrønderEnergi definerer ledig nettkapasitet på ca. 2 MW ved Brattøra kai og NTE definerer ca. 1 MW ved Vanvikan kai. Dette er verdier som vil endre seg avhengig av aktiviteten i området og ved ev. utbygginger av nettet. Direkte lading av batteri ved hvert anløp vil gi store variasjoner i belastning av nettet ved inn- og utkopling av for eksempel 1 eller 2 MW last. Dette er ugunstig for netteier og vil sannsynligvis gi rutebåtoperatør store kostnader i form av høyt priset effektledd for overføring av energi. Begge nettselskapene mener det er svært gunstig med bruk av PowerDock og lavere maksimalt effektuttak fremfor direkte lading fra nett.

Det er også mulig å plassere batteripakker i containere på kaiområde på Brattøra og i Vanvikan. Gjeldende arealplan og andre regulatoriske forhold vil avgjøre om dette er mulig. Det kan benyttes samme type teknologi for landbasert batterisystem som for PowerDock.

For ladeinfrastruktur på land eller ved kai blir følgende gjeldende for Brattøra og Vanvikan:

- Alternativ 1. Installere ladestasjon på land. Inkludere batteripakker ved behov
- Alternativ 2. Erstatte eksisterende flytebrygger med PowerDock fra Brødrene Aa med batteripakker og ladestasjon

⁴⁰ Illustrasjon ved Brødrene Aa, 2018

- PowerDock må ha 700 kWh lagringskapasitet for elektrisk energi
- PowerDock/ladestasjon i kombinasjon med nett bør ha minimum 2,0 MW ladeeffekt

Fortøyingsystem

Effektiv lading krever optimal utnytting av tid ved kai. Konsortiet vil tilby et fortøyingsystem som i størst mulig grad vil være automatisert og som gir hurtigst mulig feste til kai og tilkobling av ladeplugg. Fortøyning og lading vil bli sekvensbasert, med enkle operasjoner som fortøyning, tilkobling av ladeplugg/ladeenhet /dispenser, monitorering, lading/fylling, frakopling etc.

Det eksisterer ulike løsninger for automatisk fortøyning av fartøy, f.eks. vakuummoring. Løsningene er likevel ikke optimaliserte i forhold til konsortiets ønsker. Det er et utviklingsbehov knyttet til enklere og bedre fortøyingsløsninger tilpasset hurtig lading og bunkring av energi.

5.3.3 Ruta Trondheim-Brekstad

Hydrogen er valgt som energibærer for denne ruta. Valget er basert på analyse av fordeler og ulemper med batteri- og hydrogendrift samt gevinst ved fleksibilitet som følge av at fartøyet blir identisk utformet med de to fartøyene i ruta Trondheim-Kristiansund. Effektprofilen for Brødrene Aa sine 42 meter deplasement katamaranskrog gjør at energisystem basert på hydrogen er fordelaktig for strekninger med energiforbruk over 2 MWh. For større energimengder vil et batterisystem med tilstrekkelig overkapasitet vil utgjøre en uhensiktsmessig stor del av nyttelasten. Energiforbruket på en tur-retur Trondheim-Brekstad vil være ca. 4 MWh.

Rutetabell gir utfordringer i forhold til tilstrekkelig ladetid på Brekstad i forhold til batteridrift. Tre identiske hydrogendrevne fartøy på rutene Trondheim-Brekstad og Trondheim-Kristiansund gir fordel med større fleksibilitet dersom ett av fartøyene i ruta Trondheim-Kristiansund av ulike grunner blir tatt ut av drift i perioder (verkstedopphold, klassing etc.) Hydrogen vil være tilgjengelig i Trondheim i samband med ruta Trondheim-Kristiansund.

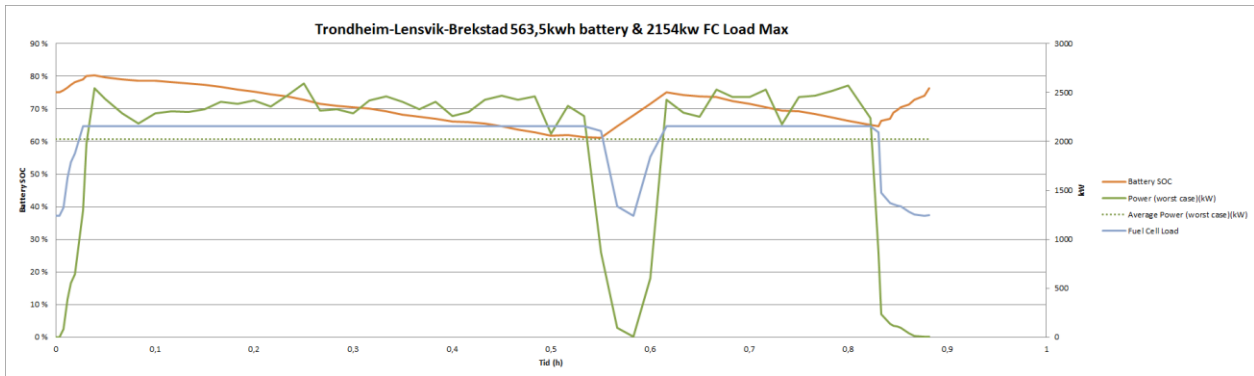
5.3.3.1 Analyse av trafikk tall

Ved bruk av en detaljert oversikt over trafikk tall har konsortiet funnet en gjennomsnittlig dødvekt for fartøyet. Denne er basert på gjennomsnittlig antall passasjerer om bord mellom de ulike stoppene på ruta.

5.3.3.2 Rutetabell og effektprofil

Rutetabell blir som eksisterende rute. Effektprofil er vist i illustrasjon 22. Grafene nedenfor representerer profilen for en seiling mellom Trondheim og Brekstad med stopp underveis i Lensvik. Den grønne linjen viser fartøyets effektbruk i kW langs ruten. Den stiplede grønne linjen er snittforbruket for hele turen. Snittforbruket gir en god indikasjon på dimensjonering av brenselcellene. Oransje linje viser hvor mye energi som er i batteriet til enhver tid (SoC = State of Charge). Blå linje viser energi levert fra brenselcellene.

Ladetilstanden i batteriene holdes i dette scenariet relativt høyt, hvilket gir liten reduksjon i kapasitet over batterienes levetid. Batteristørrelse er dimensjonert for å gi nok kapasitet til å ta imot energi fra brenselcellene ved stopp langs ruten uten å ta ned pådraget fra cellene. For å oppnå optimal levetid bør brenselcellene opereres med mest mulig konstant effekt.



Illustrasjon 22. Effekt- og energiprofil for ruta Trondheim-Brekstad. Profil er utarbeidet av Westcon Power & Automation

5.3.3.3 Fartøytype Aero 42 H2

Brødrene Aa-konsortiet har optimalisert et hydrogenbasert energisystem for hurtigbåter med høyt energi- forbruk. Systemet vil bli brukt i fartøytypen Aero 42 H2.

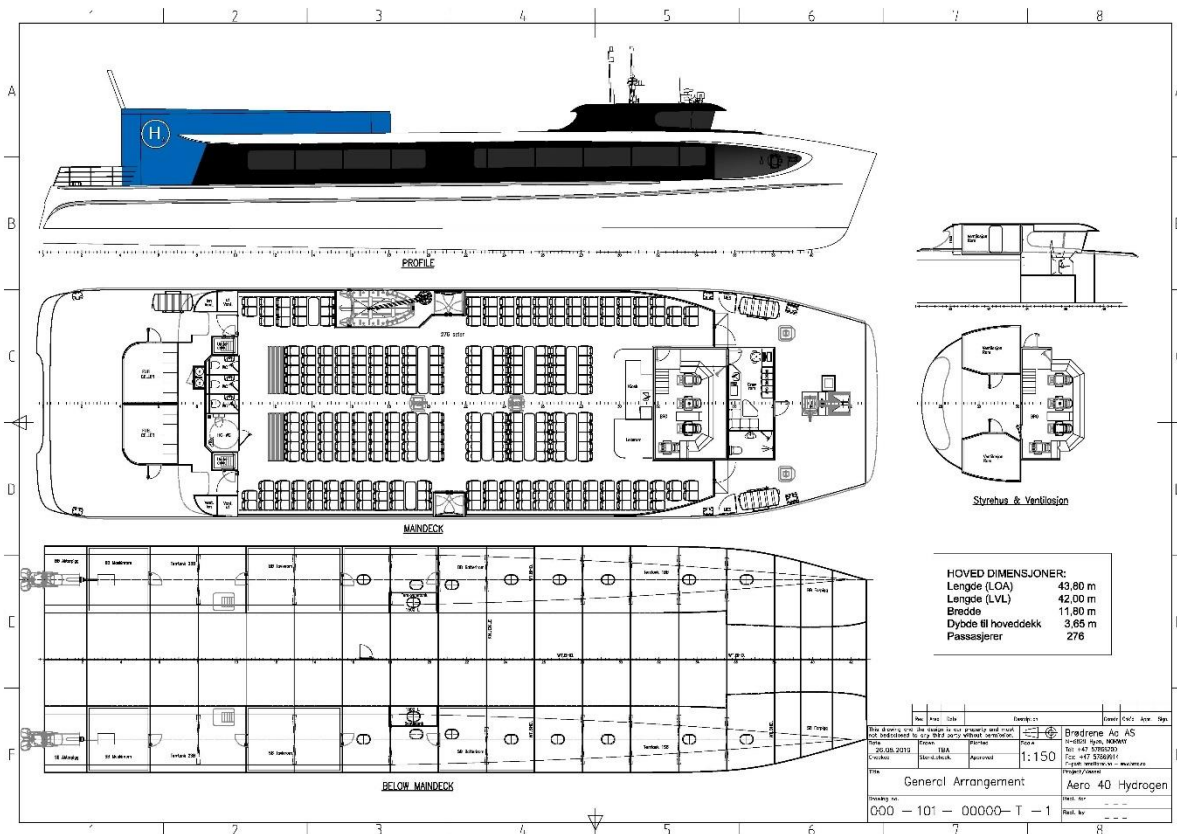
Fartøytypen vil ha lagringskapasitet for 612 kg hydrogen. Med optimalisert drivlinje for hastighet på 33,4 knop er dette nok energi til å kunne foreta seilas Trondhjem-Kristiansund med dagens rutehastighet og med god margin på energilager. Det vil også være nok lagret energi om bord til å kunne gå to rundturer Trondheim-Brekstad uten å måtte bunkre. Fartøyet utrustes for 277 passasjerer og vil ha plass til en kiosk med godt vareutvalg og varierte fasiliteter. Salongens utforming legger stor vekt på passasjerkomfort.

Det er gjennomført ekstra tiltak for sikkerhet i forhold til hydrogentanker og brenselceller. Blant annet er disse plassert lengst mulig vekk fra passasjerområdene og er skjermet med vegger. Generalarrangementet i illustrasjon 24 viser plassering og detaljer. Generalarrangementet viser også dimensjoner, passasjer- kapasitet og generell utforming.



Illustrasjon 23. Design for fartøy Aero 42 H2

Generalarrangement



Illustrasjon 24. Generalarrangement for fartøytype Aero 42 H2

Drivlinje og energisystem

Det er valgt vannjet til fremdrift av fartøyet. Konsortiet arbeider med å finne den beste kombinasjonen av høy virkningsgrad, lavt drag (motstand i vannet) og høy komfort/lave vibrasjoner. Vannjet gir minst vibrasjoner i de høye hastighetene.

Installert motoreffekt er 2 x 1 300 kW. Batteripakke er 672 kWh. Westcon Power & Automation har designet energisystemet for fartøytypen. Prinsippskisse er vist i illustrasjon 25 på neste side.

I hovedtrekk består energi- og fremdriftssystemet av to parallelle systemer. Hvert system har separate brenselcelle- og batteripakker, DC-tavler, styring, overvåking og motor. Dette gir nødvendig redundans, sikkerhet og pålitelighet for optimal drift. Fra DC-tavlene tas det ut energi til hver sin AC-tavle for hotell, instrument og forbrukslaster. Begge auxiliarysystemene (navigasjon, sikkerhetssystemer, hotell etc.) vil være sikret energiforsyning fra det ene brenselcelle-/batterisystemet.

Generalarrangement ligger ved som vedlegg 3.

Automasjonssystem

Se skisser og beskrivelse for Aero 25. Disse data gjelder også for Aero 42 H2.

Batterisystem

Se skisser og beskrivelse for Aero 25. Disse data gjelder også for Aero 42 H2.

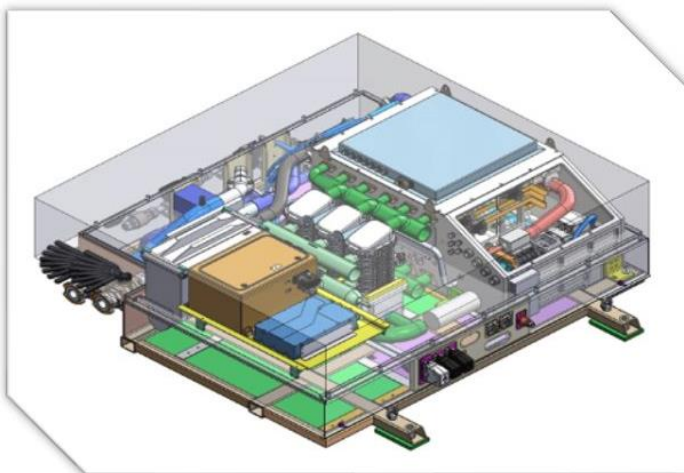
Ikke offentlig

Illustrasjon 25. Energisystem for fartøytype Aero 42 H2, med energi fra hydrogen

Brenselcellesystem

Brenselcellesystemet består av 2 x 7 stk. 200 kW-moduler, spesielt utviklet for Norleds Hjelmeland-ferge som er planlagt operativ i 2021. Modulene består av stacks fra Ballards velprøvde teknologi. Ballard har gjennom tidligere leveranser til tog og lastebilindustrien akkumulert over 1 million inntektsbringende timer for kunder globalt.

Brenselcellemodulene vil være vannkjølte og avgi høyverdig varme som kan brukes til oppvarming i fartøyet.



Brenselcelleteknologien prosjektert for hurtigbåten vil være identiske med systemet som i løpet av 2019 vil gå gjennom et kvalifiseringsprogram med DNV GL i forbindelse med Norled-prosjektene.

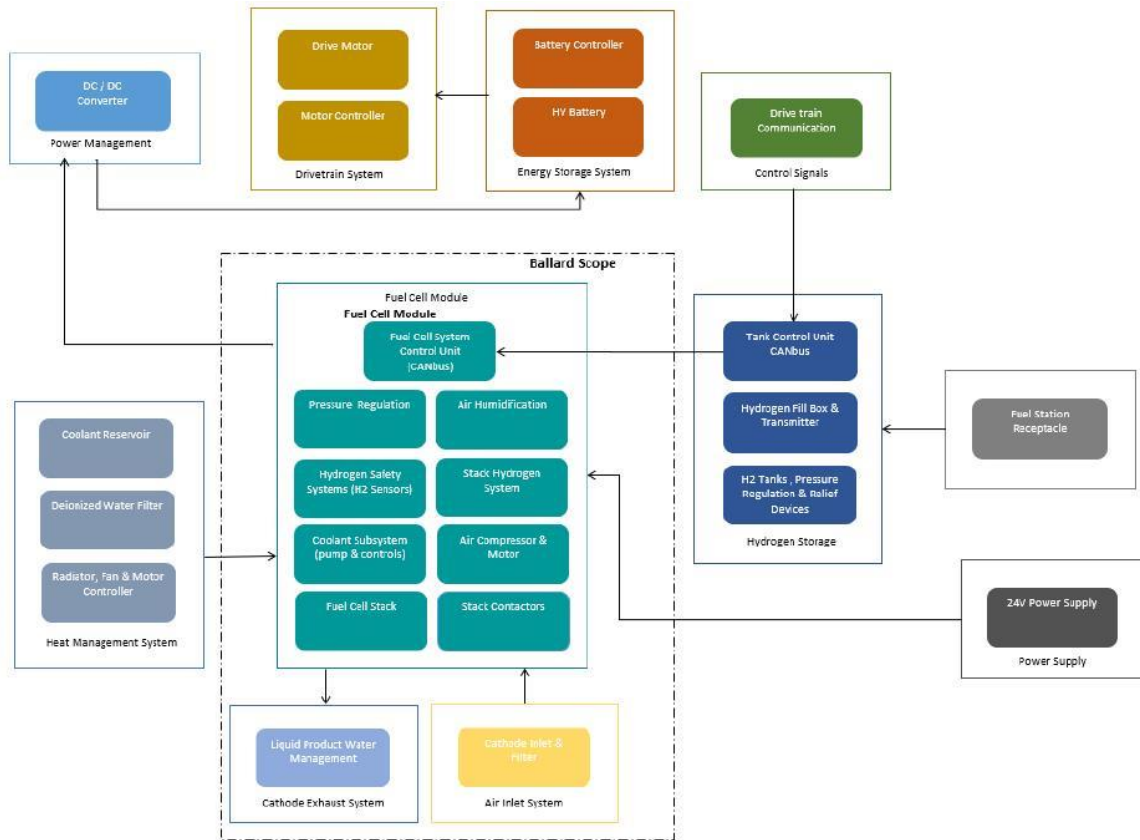
Hver 200 kW-modul har blokkdiagram og fysisk layout som vist i illustrasjonen til venstre. Hver modul er ca. 2,0x1,8x0,8 meter (LxBxH). Brenselcellemodulene monteres i spesialdesignede stativ i høyden og bredden for optimal plassutnyttelse helt akter på hoveddekket.

Illustrasjon 26. Geometrisk skisse av Ballard sin 200 kW brenselcellemodul⁴¹

⁴¹ Illustrasjon ved Ballard

Hydrogentrykket vil bli redusert ute ved tank og ført til brenselcellerommet med ca. 8 bars trykk og en flow på totalt 60 gram/sekund. Verdien gjelder for alle modulene samlet.

Brenselcellemodulene vil enkeltvis levere strøm til DC-bus, via hver sin DC/DC omformer i tavlerommet. Utover den fysiske fundamenteringen og effektlevering er kjølevannssystemet, et felles filtrert luftinntak og ventileringssystemet for hydrogen de viktigste grensesnittene mellom brenselceller og skip. (Se HAZID-rapport m/vedlegg for detaljer, vedlegg 1)



Illustrasjon 27. Blokkdiagram for Ballard sin 200 kW brenselcellemodul⁴²

Energibehov

Følgende fakta er brukt som grunnlag for beregninger av energibruket for ruta Trondheim-Brekstad:

- Distanse per rundtur 100 km
- 4 rundturer per dag
- Distanse sakte fart Trondheim-Brekstad 4 km
- Distanse servicefart 96 km
- Sakte fart 5 knop, effektbehov 100 kW
- Cruising 34 knop, effektbehov 2 500 kW
- Estimert energiforbruk: 4 250 kWh pr rundtur ved 34 knop servicefart. 3 810 kWh pr rundtur ved 32,4 knop servicefart
- Estimert hydrogenforbruk: 180 kg/rundtur pluss 806kWh tilført elektrisitet ved 32,4 knop
- 4 fyllinger per dag (Trondheim)
- Hydrogenlager om bord 540 kg

Ved normalt operasjonsmønster vil det forbrukes ca. 90 kg hydrogen pluss 403 kWh elektrisk energi fra

⁴² Illustrasjon ved Ballard

batterier på strekningen Trondheim-Brekstad. Det årlige energibehovet på ruta Trondheim-Brekstad er beregnet til 7 899 490 kWh. Energibehovet er bruttoverdi for tilført energi, dvs. summen av energiinnholdet i bunkret mengde hydrogen og elektrisk energi tilført batteriene ved lading fra land.

Batteripakken på 672 kWh gir *Aero 42 H2* en rekkevidde på minimum 20 nautiske mil ved åtte knops fart. Denne rekkevidden er tilstrekkelig til at fartøyet fra enhver posisjon på ruta kan nå ulike havner med god margin dersom det oppstår funksjonssvikt i det hydrogenbaserte energisystemet. Dette er en viktig egenskap ved valgt løsning.

Hydrogentanker

Hydrogentankene representerer den største delen av totalvekten i et hydrogenbasert energisystem. Systemet blir større enn for et tradisjonelt fremdriftssystem med dieselmotorer, men er ikke kritisk for hverken fart eller totalvekt for en hurtiggående passasjerbåt. Tanker for lagring av flytende hydrogen gir opptil 30-35 % reduksjon av tankvekt i forhold til tanker for lagring av trykksatt hydrogen.



Illustrasjon 28. Hexagon leverer ulike typer tanker for lagring av gass, inkludert hydrogen. Foto: Hexagon

Hexagon produserer og leverer trykktanker for gass. Bedriften er blant verdens ledende produsenter av tanker til lagring av hydrogen under trykk. Tankene blir laget av karbonfiber. Dette gjør tankene lettere enn tanker av glassfiber eller stål. Hexagon er potensiell leverandør av tanker til bruk på Brødrene Aa sine fremtidige fartøy. Firmaet har utviklet et regneverktøy som gjør det enkelt å velge type tank ut fra trykk, plass til rådighet, vektbetraktninger og mengde hydrogen som skal lagres. Regneverktøyet gir mange relevante opplysninger og er vist i tabell 9.

Required amount of Hydrogen

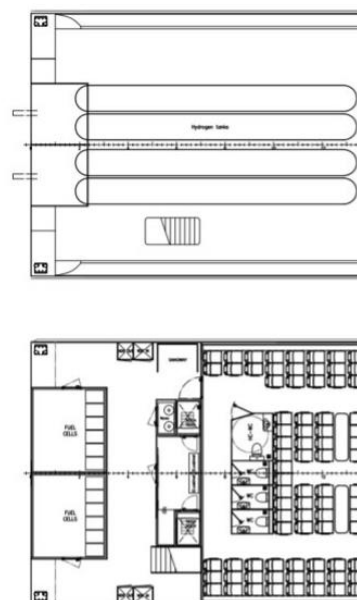
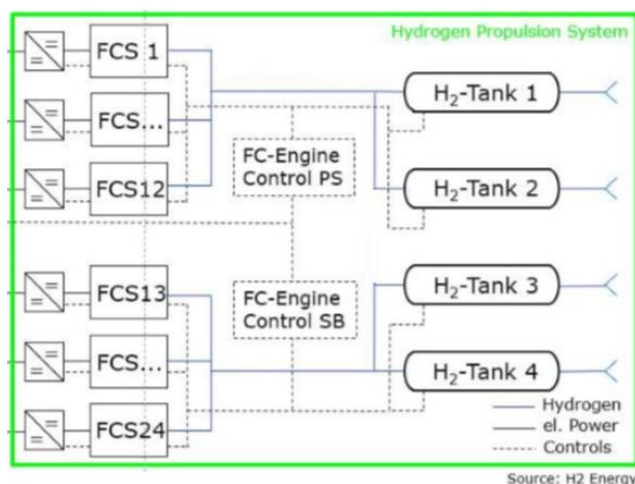
450 kg

Product	Pressure	Weight	Volume	T=15 C L/kg	H2 capacity	Req	wt%	QTY needed	System weight
Titan XL 38ft	250	2400	8500	55,6	152,88	450	6,37 %	2,94	7 064
Titan 28ft	250	1700	6150	55,6	110,61	450	6,51 %	4,07	6 916
Reference B	250	164	450	55,6	8,09	450	4,94 %	55,60	9 118
Magnum 1	250	147	581	55,6	10,45	450	7,11 %	43,06	6 330
Magnum2	250	267	1170	55,6	21,04	450	7,88 %	21,38	5 710
Magnum3	250	342	1544	55,6	27,77	450	8,12 %	16,20	5 542
Reference D	300	112	350	47,28	7,40	450	6,61 %	60,79	6 808
Reference E	350	101	312	41,68	7,49	450	7,41 %	60,12	6 072
Reference F	350	112	350	41,68	8,40	450	7,50 %	53,59	6 002
Reference H	500	229	347	31,61	10,98	450	4,79 %	40,99	9 387

Tabell 9. Hexagon har utviklet et regneverktøy for å velge rett type tanker for lagring av hydrogen

Den største tanken *Tital XL 38 ft* rommer 153 kilo hydrogen og veier 2 400 kilo. Hydrogenet utgjør 6,37 % av samlet vekt når tank er full av hydrogen. For andre av Hexagon sine tanktyper og ulike trykk varierer forholdet fra 4,7 til 8,12 vektprosent. Bedriften arbeider kontinuerlig med å forbedre tankene og redusere vekten. Konsortiet forventer at Hexagon greier å redusere vekten med 10 % i løpet av de neste 2-3 årene.

Aero 42 H2 for ruta Trondheim-Brekstad vil ha installert fire tanker av type *Hexagon Titan XL 38ft*. Samlet totalkapasitet blir 612 kilo hydrogen.



Illustrasjon 29. Skjematisk fremstilling av hydrogenbrenselceller, kontrollsystem og hydrogenbrenselcellerom t.v. Plassering av hydrogenbrenselceller (øvre dekk) og hydrogenbrenselcellerom (hoveddekk) akter på fartøyet er vist i de to figurene t.h.

Infrastruktur hydrogenfylling og batterilading

Flere system- og teknologileverandører satser målrettet mot det maritime hydrogenmarkedet. Blant disse er den norske bedriften Hyon. Bedriften har utviklet systemløsninger for hydrogenbaserte energisystem og kan levere dokumentasjon for følgende systemkomponenter:

- Process Flow Diagram
- Piping & Instrument Diagrams
- PFD and P&ID Legend and Symbols
- Instrument Index
- Manual Valve & Special Item Index
- System Topology Diagram
- Functional Description
- Safety Description

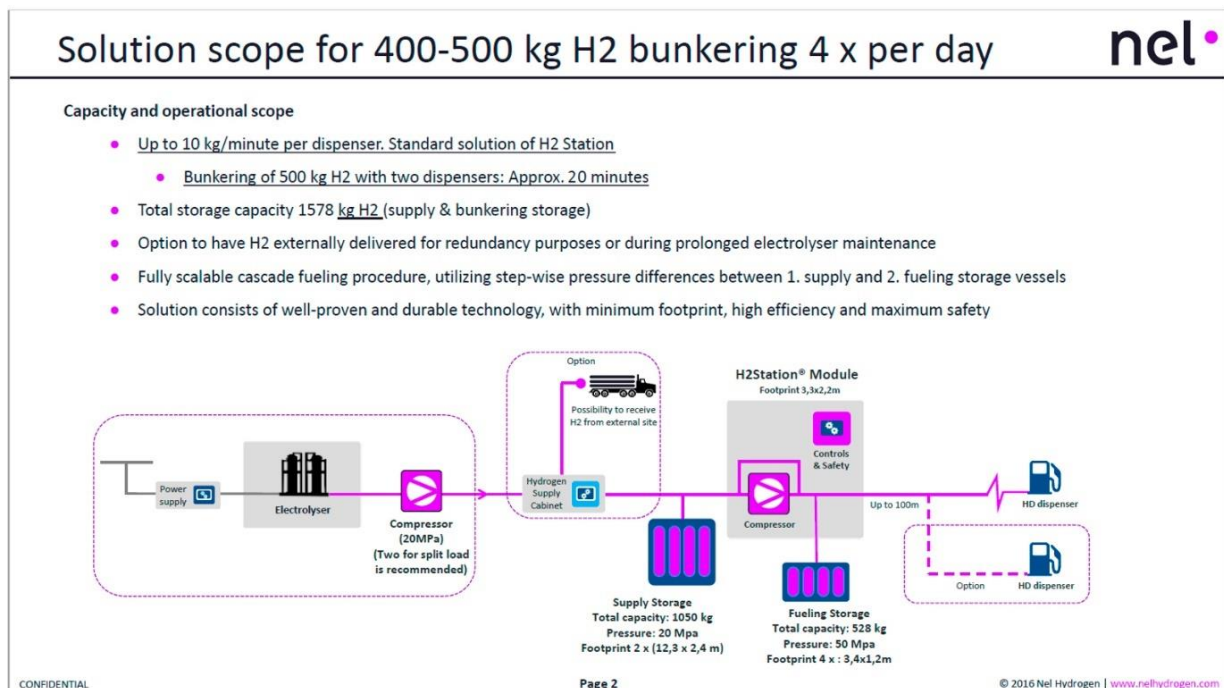
- Fire Control & Safety Plan Drawing
- HVAC Report
- Utility Consumption List
- Leak Rate and Atmospheric Control & Monitoring Calculation Report
- General Arrangement
- Master Equipment List

Infrastruktur for bunkring av hydrogen til fartøy er likevel enda ikke utprøvd i kommersiell skala. Det finnes godkjent teknologi og metodikk for hurtig overføring av hydrogen til biler, lastebiler, busser og tog. For eksempel er fylletid for bil ca. 5 minutt (6 kilo hydrogen, 700 bar) og fylletid for tog er 20 minutt (94 kilo hydrogen, 350 bar). Eksisterende metoder og utstyr vil i stor grad kunne brukes til bunkring av hydrogen til passasjerbåter. Utvikling og godkjenning av regelverk og metoder for maritim bruk må ferdigstilles før idriftsetting av fartøy. Slik godkjenning må gjøres av offentlig myndighet eller tredjepart.

På land er det ikke krav om tredjepartssertifisering/godkjenning av fyllestasjoner for hydrogen. Stasjonene som blir tilbudt i markedet er CE-merket, dvs. de er produsert i samsvar med Europeiske standarder og regler og er basert på leverandøren sin CE-merking med egenattest/-erklæring.

Standarden SAE 2601 gjelder for fylling av små kjøretøy (biler) og særlig for 700 bar hurtigfylling. Det er element i denne standarden som kan overføres til bunkring av båter. Systemleverandørene arbeider med avklaringer av hvilke element som er relevante for bunkring av båter.

Et typisk anlegg for bunkring av hydrogen til fartøy består av lagertanker, kompressor for trykkøkning til kaskadelager, en eller flere dispensere, system for monitorering og sikkerhetssystem. Systemleverandørene kan også vanligvis levere elektrolyserer for lokal produksjon av hydrogen knyttet til lager- og bunkeringanlegget. Prinsippskisse for H2 sitt lager- og bunkringssystem for hydrogen er vist under. Anlegget kan per 2019 levere 10 kilo per minutt per dispenser.



Illustrasjon 30. Prinsippskisse for bunkringssystem for hydrogen, dimensjonert for bunkring av fartøyene på rutene Trondheim-Brekstad og Trondheim-Kristiansund⁴³

⁴³ Skisse ved Nel Hydrogen / Hyon, 2016

De ulike systemleverandørene har utarbeidet prosedyrer for bunkring av hydrogen. Disse prosedyrene vil bli tilpasset og optimalisert i forhold til design og praktisk drift av fartøyene i rutene Trondheim-Brekstad og Trondheim-Kristiansund. Under er Hyon sine prosedyrer gjengitt.

Stages of hydrogen bunkering:

1. The ferry is allocated in predetermined position
2. All systems must be switched off or switched to tank mode
3. The ferry operator logs in electronically at the dispensing station
4. Establish communication between ferry and station
5. Connection of hydrogen nozzle to the ferry
6. Activate hydrogen bunkering at the dispenser
7. Ca. xx minutes bunkering time (dependent on amount and final specification)
8. Hydrogen nozzle is removed from ferry
9. Acknowledge hydrogen quantity at dispenser unit
10. End communication between ferry and station
11. Ferry is ready to resume operation

Konsortiet har gjennomført kartlegginger og møter med flere teknologileverandører av lagrings- og fyllesystemer for hydrogen. Konklusjonen er at leverandørene vil kunne levere utstyr til fylling av komprimert hydrogen med den trykksettingen systemet på hurtigbåtene vil kreve. Leveranser vil være basert på samme teknologi som i dag er standard til bruk i buss- og lastebilsegmentet. I løpet av de neste 2-3 årene vil disse produktene kunne leveres med fyllerater fra land til fartøy på rundt 20 kg/minutt per dispenser. Dette vil gi minimum bunkringstid for selve hydrogenfyllingen på ca. 10 minutt for Trondheim-Brekstad-båten. I tillegg vil det komme tid til forberedelser, tilkobling og frakobling. Tidsbruk til dette vil være definert når forskrifter er utarbeidet og godkjent.

For optimal energiutnyttelse kan fartøyene seile siste distansen til kai ved hvert endestopp med energi fra batteripakkene. Tilsvarende prosedyre kan også gjelde for avgang fra kai endestopp. Slikt operasjonsmønster krever lading av batteri ved kai i Trondheim, Brekstad, Kristiansund og på Edøy. Ved alle disse stoppestedene er det relativt lang kailigge per stopp (endestopp), og det vil ikke være behov for stor ladekapasitet. Med batteripakke på 672 kWh er det tilstrekkelig med 1,2 MW ladeeffekt. Det må etableres ladeanlegg på alle de fire omtalte terminalene.

Fortøyningssystem

Med hovedforsyning av energi fra hydrogen er fortøyning ikke en tidskritisk handling i forhold til å sikre tilstrekkelig ladetid. Fortøyningssystem er derfor ikke viet oppmerksomhet for fartøyet i ruta Trondheim-Brekstad.

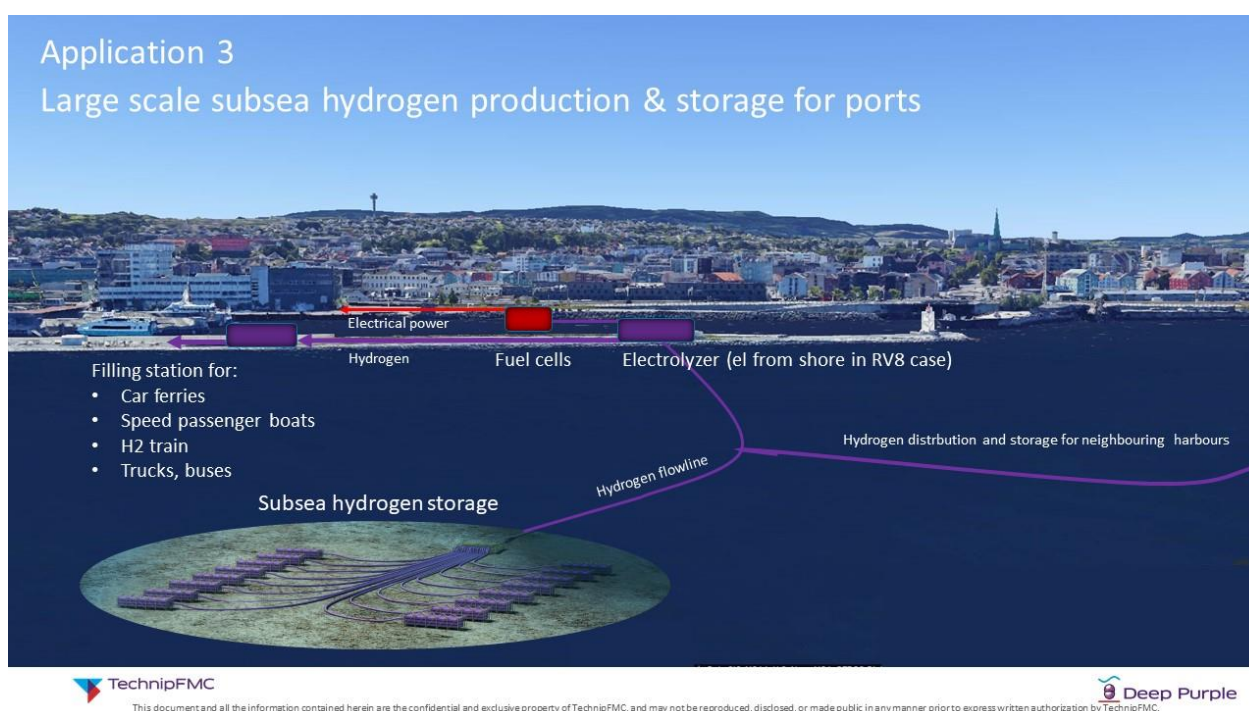
Lagring av hydrogen under vann

Konsernet TechnipFMC utvikler et nytt konsept for offshore produksjon av hydrogen basert på vindenergi og subsea lagring av hydrogen. Prosjektet har navnet *Deep Purple*. Brødrene Aa sin nære samarbeidspartner Hub for Ocean (ex. Maritim Forening Sogn og Fjordane) er en av partnerne i *Deep Purple*. Trond Strømgren, Senior Advisor Renewable Energy and Hydrogen Value Chain og prosjektleder for Brødrene Aa-konsortiet sin leveranse til Trøndelag fylkeskommune, var med og initierte starten på konseptet og har siden vært med på teknologiutviklingen. Det arbeides nå med etablering av pilotprosjekt som grunnlag for kommersialisering av konseptet.

En av teknologiene som utvikles i prosjektet er sikre og praktiske løsninger for lagring av hydrogen i trykktanker på havbunnen. TechnipFMC har 44 000 tilsatte og undervassteknologi er blant kjerneområdene for bedriften sin kompetanse.

Technip FMC skildrer konseptet slik: *Vår teknologi kan brukes til offshore produksjon av hydrogen for lagring og transport i rør til kysten, for stabil leveranse av nullutslippsdrivstoff til hydrogendrevne hurtigbåter, -ferger og andre forbrukere. Løsningen inkluderer infrastruktur for leveranse av hydrogen til havner og kystnære strøk. Vindparken kan etableres langt til havs der arealer er tilgjengelige, vindressursene er best, ute av syne fra land, og uten påvirkning av fuglelivet langs kysten. Hydrogenet lagres på havbunnen uten å oppta verdifullt areal i havner og i sikker avstand fra der folk ferdes. [.....] Prosjektet er en del av Forskningsrådets havteknologisatsning og gjøres i samarbeid med Sintef, Subsea Valley og Maritim Forening Sogn og Fjordane.*⁴⁴

TechnipFMC sine subsea lagerløsninger kan løse utfordringer knyttet til lagring av større mengder hydrogen på kaiområdene i Trondheim og Kristiansund. Risiko vil bli redusert i stor grad ved alternativ lagring av hydrogen på sjøbunnen, f.eks. 300 meter fra land og på 60 meters dybde. Hydrogen blir ført til fylleanlegg på kai via rørledning på sjøbunnen og deretter direkte om bord i fartøy, se illustrasjon 31 under. Konseptet erstatter lagring av hydrogen på kaiområdet. Brødrene Aa-konsortiet kan tilføre utviklingskontrakten tilleggsleveranse i form av direkte kobling til TechnipFMC og *Deep Purple*-prosjektet.



*Illustrasjon 31. TechnipFMC sitt konsept Deep Purple skal mellom annet tilby løsninger for subsea lagring av hydrogen. De fiolette tankene i fremgrunnen ligger på sjøbunnen og kan dimensjoneres for å lagre store mengder hydrogen på en trygg måte. Rørledninger kan føre hydrogen til andre bunkringsstasjoner i nærheten*⁴⁵

5.3.4 Ruta Trondheim-Kristiansund

Hydrogen er valgt som energibærer for denne ruta. Energiforbruket på en enkeltseiling Trondheim-Kristiansund vil være ca. 6,7 MWh. Det vil ikke være mulig å gjennomføre denne ruta med batteridrift av Brødrene Aa sine katamaranrutebåter. Fylling av hydrogen blir i Trondheim og Kristiansund.

⁴⁴ Prosjektgruppe Deep Purple, TechnipFMC, Kongsberg, juni 2018

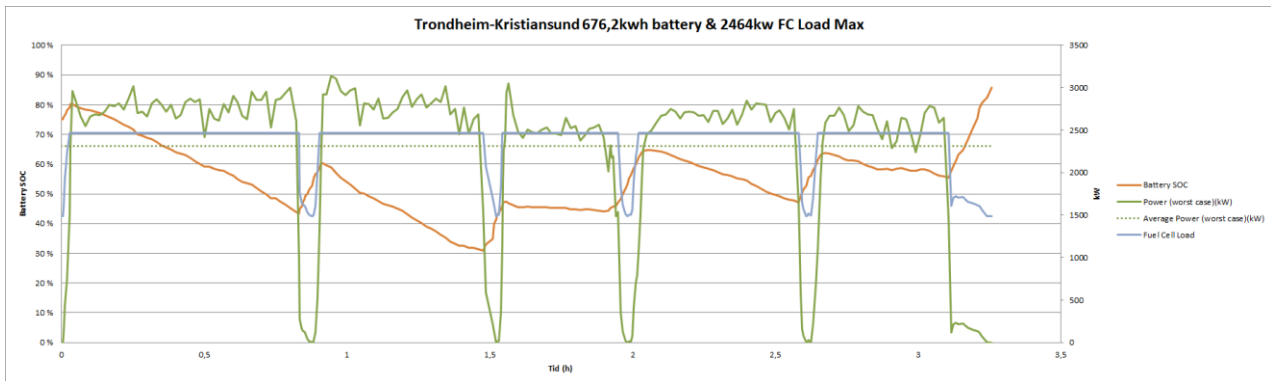
⁴⁵ Prosjektgruppe Deep Purple, TechnipFMC, Kongsberg, 2019

5.3.4.1 Analyse av trafikk tall

Ved bruk av en detaljert oversikt over trafikk tall har konsortiet funnet en gjennomsnittlig dødvekt for fartøyene. Denne er basert på gjennomsnittlig antall passasjerer om bord mellom de ulike stoppene på ruten.

5.3.4.2 Rutetabell og effektprofil

Rutetabell blir som eksisterende rute. Effektprofil er vist i illustrasjon 32 under. Se avsnitt 5.3.3.2 for forklaring av kurvene.



Illustrasjon 32. Effektprofil rute Trondheim-Kristiansund

5.3.4.3 Fartøytype Aero 42 H2

Samme fartøy som for ruta Trondheim-Brekstad. De to fartøytypene er med hensikt laget identiske for å oppnå fleksibilitet og gi mulighet for sambruk på de to rutene. Dersom f.eks. en av Kristiansund-båtene tas ut av drift for klassing eller verkstedopphold vil det være mulig å erstatte fartøyet med Brekstad-båten. Sistnevnte rute kan du bli erstattet med dieseldrevet fartøy. En oppnår da miljøgevinst ved at ev. dieseldrevet fartøy blir satt inn på den korteste ruta.

Tekniske skildringer for fartøyene i ruta Trondheim-Kristiansund er i all hovedsak identiske med skildringene for Aero 42 H2 for ruta Trondheim-Brekstad. Der det er forskjeller er disse omtalt i de følgende punktene.

Energibehov

Følgende fakta er brukt som grunnlag for beregninger av energibruk for ruta Trondheim-Kristiansund:

- Distanse per rundtur 350 km
- 1,5 rundturer per dag for hver båt + strekningen Edøy-Kristiansund og Trondheim-Brekstad, totalt 604 km
- Distanse sakte fart Trondheim, Brekstad, Sandstad, Edøy og Kristiansund 16 km
- Distanse servicefart Trondheim-Kristiansund 334 km
- Sakte fart 5 knop, effektbehov 100 kW
- Servicefart 34 knop, effektbehov 2 500 kW
- Estimert energiforbruk per fartøy: 6,66 MWh per seiling Trondheim-Kristiansund
- Estimert hydrogenforbruk per fartøy: 361 kg pluss 403 kWh elektrisk energi per seiling Trondheim-Kristiansund
- 4 fyllinger per dag (Trondheim og Kristiansund)
- Hydrogenlager om bord 540 kg

Ved normalt operasjonsmønster vil det forbrukes ca. 361 kilo hydrogen på strekningen Trondheim-Kristiansund. Årlig energibehov for ruta er beregnet til 26 589 131 kWh. Energibehovet gjelder samlet for begge fartøyene. Energibehovet er bruttoverdi for tilført energi.

Infrastruktur hydrogenfylling og batterilading

Det blir bunkring av hydrogen i Trondheim og Kristiansund. Hydrogenfyllerate blir 20 kg/minutt for dispenser som leverer hydrogen fra land til fartøy. Denne kapasiteten gir en netto bunkringstid på knapt 20 minutt. I tillegg kommer tid til klargjøring, tilkobling og frakobling. Det blir lading av batteripakker i Trondheim og Kristiansund og på Brekstad og Edøy.

5.4 Kvalifikasjons- og driftsaspekt for hurtigbåter

Hurtigbåtsambandene i Trøndelag er velegnet for uttesting av ny teknologi. De ulike sambandene har sine særegenheter med ulike hastigheter og frekvenser og består av korte, mellomlange og lange samband. Alle er rene passasjersamband uten kombinasjon av passasjerer og gods/biler. Dette forenkler mulighetsbildet for innføring av nye fartøytyper og ny teknologi.

Statens vegvesen har allerede lyst ut ett fergesamband med minimum 50 % hydrogendrift i Rogaland og arbeider nå med utlysning av det lange og utsatte sambandet Bodø-Værøy-Røst-Moskenes på ren hydrogendrift. Med sine utlysninger er Statens vegvesen med på å tilrettelegge for utvikling av ny teknologi. Operatørselskapene må ha definerte rammevilkår og utlysninger som setter krav til utslipp og drift for å kunne satse på ny teknologi.

Boreal var en av tilbyderne på hydrogenfergeanbudet i Rogaland. Anskaffelsen var dialogpreget og bidrag til at Boreal tilegnet seg kunnskap og kompetanse nok til å bli kvalifisert som tilbyder. Statens vegvesen sin utlysning og responsen på denne er et godt eksempel på at operatørene hurtig tilegner seg ny kunnskap og kompetanse for å vinne nye og krevende anbud. Kunnskap fra Rogaland-prosjektet, både hos underleverandører, verft og operatører, har lagt et godt grunnlag for bruk av hydrogen som drivstoff på en eller flere av Trøndelags-rutene. Regelverket for ferge og hurtigbåt er ulikt. Gjennomført HAZID med blant annet Sjøfartsdirektoratet har ikke gitt funn som er til hinder for utvikling av hydrogendrevet passasjerbåt.

En omfattende og viktig del ved innføring av hydrogenteknologi på passasjerbåter vil være opplæring av personell om bord. Mannskapet som skal operere slike høyteknologiske fartøy vil ha behov for grundig opplæring både i oppstartsfasen og under hele driftsperioden. I oppstartsfasen bør oppdragsgiver legge til rette for at nye fartøy kan fases inn fortløpende når mannskaper har fått den nødvendige kompetansen for å operere slike fartøy.

Produksjon og logistikk for distribusjon av hydrogen er lite utbredt i Norge. For operatør er det stor risiko dersom disse delene av energiverdikjeden være en del av anbudet til operatør. På nåværende tidspunkt er det knyttet stor usikkerhet til pris og leveranse. Mange leverandører ser på muligheter for å etablere produksjon av hydrogen. Det oppleves som disse leverandørene venter på en ferge- eller hurtigbåtkontrakt samt avklart mengde for å komme i gang. Det er fortsatt begrenset antall forbrukere av hydrogen og det kan være stor risiko for en leverandør å ta en investering uten å ha en kontrakt for sikre leveranser.

Denne problemstillingen kan løses om oppdragsgiver selv hadde vært ansvarlig for å skaffe til veie hydrogen og hadde lyst ut anbud med forespørsel om leveranser av hydrogen. Dette ville gjort leverandørmarkedet i stand til å komme med reelle tilbud. Operatørene ville fått mer trygghet ved tilgang til sikre leveranser hydrogen og kunne fokusert mer entydig på rutebåt drift framfor energileveranser.

5.5 Opplæring av administrativt personell/mannskap/driftspersonell

Administrativt personell hos operatør samt mannskap på de hydrogendrevne passasjerbåtene vil ha behov for ny og tilpasset kompetanse. Ulike opplæringspakker vil inngå i tilbudet fra Brødrene Aa-konsortiet. Opplæringspakkene har innhold og målgruppe som skissert under. Pakkene kan tilbys i forkant av oppstart av nytt rutebåt tilbud eller ved levering av fartøy og i tillegg i form av årlige etterutdanningskurs.

Emne	Målgruppe	Innhold
Energisystem	Teknisk personell	Beskrivelse av hydrogenbasert energisystem, funksjon og virkemåte for hovedkomponenter, drift og vedlikehold, alarmer og sensorer
Energiforbruk	Skipsfører	Ulike operasjonsmodus og virkningsgrad, faktorer som påvirker ytelse, hvordan optimalisere energibruk
Bunkring av hydrogen	Mannskap	Oppbygging av teknisk system, regler og sikkerhetsrutiner, alarmer og sensorer, nødprosedyrer og varslingsrutiner
Sikkerhetsrutiner	Mannskap	Regelverk, rutiner ved ulike hendelser, nødprosedyrer og varslingsrutiner

5.6 Miljøbudsjett

5.6.1 Forbruk av energi og utslipp for eksisterende løsning

Fartøyene "Terningen", "Tyrhaug", "Trondheimsfjord I" og "Trondheimsfjord II" går alle på diesel (MGO). "Terningen" og "Tyrhaug" bruker 17-19 liter per nautisk mil (l/nm) med 95 nautiske mil utseilt distanse på strekningen Trondheim-Kristiansund. Forbruket er avhengig av antall passasjerer og vind-, strøm- og bølgeforhold. På ruta Trondheim-Brekstad bruker "Trondheimsfjord I" 15-16 l/nm med 130 passasjerer og 32 knops fart, eventuelt 14 l/nm ved 28 knop. "Trondheimsfjord II" bruker ca. 12 l/nm med fart 22-23 knop på sambandet Trondheim-Vanvikan.

Rutebåten "Ladejarl" kan ta 275 passasjerer og er reservebåt i de tre sambandene. Båten blir satt inn ved tekniske driftsavbrudd eller på dager når kapasiteten på ruta Trondheim-Brekstad er for lav. "Ladejarl" er bygd i aluminium og har større vekt og høyere energiforbruk enn de lettere og mer moderne fartøyene i karbonfiber. "Ladejarl" bruker 28-32 liter per nautisk mil.

Årlig estimert forbruk av diesel (MGO) og tilhørende utslipp til luft for de tre ulike rutene er vist i tabell 10.

Samband	Forbruk diesel (liter)	Utslipp (tonn)		
		CO ₂	NO _x	SO _x
Trondheim - Vanvikan	854 694	2 315	22 750	0,4
Trondheim - Brekstad	898 493	2 434	23 916	0,4
Trondheim - Kristiansund	3 448 926	9 343	91 802	1,5
Total	5 202 113	14 093	138 467	2,3

Tabell 10. Årlig forbruk og utslipp til luft fra fartøyene i de tre hurtigbåtrutene fra Trondheim. Verdiene er basert på eksisterende rutetabeller, materiell og driftsmønster

5.6.2 Forbruk av energi og utslipp for planlagt løsning

Planlagt løsning for de tre rutene gir ingen utslipp til luft under drift. Planlagt løsning sparer dermed miljøet for de utslippene som er tallfestet i tabell 10. Energiforbruket for rutene er omtalt i de neste avsnittene, med hver rute for seg. Nåværende energiforbruk er beregnet ut fra fartøyene sitt faktiske drivstofforbruk ved normalt operasjonsmønster. Fremtidig energiforbruk er prognosert basert på Brødrene Aa og SINTEF sine effektkurver og erfaringstall fra fartøy som er i drift. Oppgitt energimengde i KWh representerer energiinnholdet i bunkret diesel og mengde elektrisk energi tilført batteri fra nettet på land.

Rute Trondheim-Vanvikan, forbruk per år

Eksisterende rute (diesel)		Planlagt løsning (elektrisk energi)		Endring
854 694 liter	8 543 820 kWh	350 kWh/overfart	4 545 414 kWh	-47 %

Energiforbruk for eksisterende rute med 130 pax-fartøy er basert på et gjennomsnittlig dieselforbruk på 12 liter per nautisk mil. Energiforbruket for planlagt løsning gjelder samlet for to mindre fartøy à 97 pax.

Passasjerkapasiteten er økt med 6,9 %. Reduksjon i brutto energiforbruk er 3.998.406 kWh/år, tilsvarende 47 % reduksjon. Reduksjonen skyldes i hovedsak svært bedre virkningsgrad for batterielektrisk fremdriftssystem enn for fremdriftssystem med dieselmotor.

Rute Trondheim-Brekstad, forbruk per år

Eksisterende rute (diesel)		Planlagt løsning (hydrogen + elektrisk energi)		Endring
		Hydrogen 206 846 kg	6 894 180 kWh	
		Lading batteri	1 005 310 kWh	
898 493 liter	8 981 651 kWh	Total	7 899 490 kWh	-12 %

Energiforbruk for eksisterende rute med 130 pax-fartøy er basert på gjennomsnittlig dieselforbruk på 14,5 liter per nautisk mil. Det er ikke tatt hensyn til at "Ladejarl" går ekstraturer eller blir satt inn som erstatningsfartøy i ruta. Energiforbruket for planlagt løsning gjelder for nytt 277 pax-fartøy av typen Aero 42 H2. Passasjerkapasiteten er økt med 113 %. Reduksjon i brutto energiforbruk er 1.082.161 kWh/år, tilsvarende 12 % reduksjon.

Reduksjon i energiforbruk skyldes i hovedsak bedre virkningsgrad for fremdriftssystem med brenselceller enn for fremdriftssystem med dieselmotor samt bedre utforming av skrog og drivlinje. I tillegg blir 14,6 % av energiforbruket tilført i form av elektrisk energi ladet fra land til batteriene. Merk at virkningsgrad for dieselmotor i prinsippet er lik null når fartøyet ligger til kai med motor i gang. Dette gjelder alle stopp underveis på ruta og for tomgangskjøring før rutestart og etter ankomst endestopp. Under samme forhold vil brenselcellene også være i driftsmodus, men leverer all produsert energi til de delvis nedtappede batteriene for bruk under neste etappe i ruta.

Rute Trondheim-Kristiansund, forbruk per år

Eksisterende rute (diesel)		Planlagt løsning (hydrogen + elektrisk energi)		Endring
		Hydrogen 769 596 kg	25 650 618 kWh	
		Lading batteri	938 513 kWh	
3 448 926 liter	34 476 671 kWh	Total	26 589 131 kWh	-23 %

Energiforbruk for eksisterende rute med to 275 pax-fartøy er basert på et gjennomsnittlig dieselforbruk på 17 liter per nautisk mil. Energiforbruket for planlagt løsning gjelder for to nye 277 pax-fartøy av typen Aero 42 H2. Reduksjon i brutto energiforbruk er 7 887 540 kWh/år, tilsvarende 23 % reduksjon. Reduksjon i energiforbruk har samme årsak som skissert for ruta Trondheim-Brekstad. 3,7 % av energiforbruket i ruta er elektrisk energi tilført batteriene via lading fra land.

Det vil alltid være indirekte utslipp av CO₂ knyttet til produksjon av elektrisk energi og hydrogen. Tabell 11 viser mengden av indirekte utslipp av CO₂ knyttet til forventet årlig energiforbruk for de planlagte hurtigbåtløsningene. Det er brukt en verdi for utslipp av CO₂ på 75 gram per kWh produsert energi. Dette er samme verdi som Statens vegvesen legger til grunn i sine utlysninger av fergeanbud.

Samband	Indirekte utslipp av CO ₂ (tonn)
Trondheim - Vanvikan	341
Trondheim - Brekstad	592
Trondheim - Kristiansund	1 924
Total	2 857

Tabell 11. CO₂ knyttet til produksjon elektrisk kraft samt produksjon av hydrogen⁴⁶

⁴⁶ Grunnlag for CO₂-fotavtrykk for produksjon av elektrisk energi og hydrogen er 0,075 kg/kWh. Denne verdi er definert av Statens vegvesen ved utlysning av ferge- og hurtigbåtanbud

5.6.3 Miljøkrav og måloppnåelse

Trøndelag fylkeskommune har satt krav til nullutslipp for hurtigbåtene som skal betjene fylkeskommunenes fremtidige tjenestebehov. Utlysningen definerer utslippsfri/nullutslipp ved at passasjerfartøyene ikke skal ha utslipp av klimagasser eller andre miljøgasser/kjemikalier i operativ rutedrift. Videre klargjøres det at energibæreren må i tillegg kunne produseres uten noen form for utslipp.

Leveransen fra Brødrene Aa-konsortiet tilfredsstiller Trøndelag fylkeskommune sin utlysning på disse punktene. Passasjerfartøyene har enten fremdrift basert på energi fra batteri eller fra hydrogen. Begge disse energibærerne kan produseres uten direkte utslipp av klimagasser eller kjemikalier. Dette gjelder i særlig stor grad for norsk produksjon av elektrisk energi og hydrogen fra vannkraft eller vindkraft.

Se også illustrasjon 1 side 9 som viser utslipp av CO₂-ekvivalenter for ulike energikilder for drift av passasjerbåt med fremdriftsenergi fra hydrogen. Figuren inkluderer CO₂-utslipp for produksjon av hydrogen av elektrisk energi fra ulike energikilder. Figuren viser tydelig at produksjon av hydrogen fra norsk vannkraft har svært lave utslipp av CO₂ sammenlignet med andre produksjonsmetoder.

5.7 Utvikling og testing

Brødrene Aa-konsortiet vil implementere nullutslipps fremdriftsløsninger i de mest effektive hurtigbåtskrogene som finnes i markedet i dag. Alle løsningene er basert på Brødrene Aas skjærende skrog. Designet er utviklet av Paradis Nautica i nært samarbeid med bl.a. SINTEF og andre ledende fagmiljø. Paradis Nautica er datterselskap av Brødrene Aa. Under designfasen har skrogene gjennomgått omfattende testing ved bruk av simuleringsmodeller og deretter fysisk testing av skalamodeller i slepetank. Brødrene Aa har levert 15 fartøy med slike skrog. De fire siste båtene Brødrene Aa leverte med slike skrog er direkte sammenlignbare med fartøyene tilbudet til Trøndelag fylkeskommune.

De åtte siste leveransene fra Brødrene Aa har vært lettvakts karbonfiberfartøy med skjærende katamaranskrog og optimal skrogutforming. Drift av disse fartøyene har gitt Brødrene Aa mulighet til å verifisere teoriene om energieffektivitet og gode driftsegenskaper. Skrogmessig er det derfor liten risiko tilknyttet Brødrene Aa sine fartøykonsept. Illustrasjon 33 viser eksempler på Brødrene Aa sine karbonfiberfartøy med skjærende katamaranskrog.



Illustrasjon 33. Eksempel på tre av Brødrene Aa sine karbonfiberfartøy med skjærende katamaranskrog. Fartøyene har 40-42 meters skroglengde og fart 35-42 knop

De siste årene har Westcon Power & Automation investert betydelig i et in-house energilaboratorium som består av batteribank og kontroll- og automasjonssystem. Siden 2016 har bedriften laboratorietestet komplette maritime nullutslipps energistyringssystemer basert på batterilagre. Resultatene har bidratt til

optimale løsninger for ferger og hurtigbåter. I løpet av høsten 2019 oppgraderer Westcon Power & Automation laboratoriet ved å integrere en 30 kW brenselcelle fra Ballard i teknologiparken. Installasjonen med brenselcelle og tilbehør skal være ferdig i oktober 2019.

Laboratoriet vil gjøre Westcon Power & Automation i stand til å utvikle neste generasjons maritime energistyring. Særlig viktig vil det være å teste brenselceller som hovedgenerator i samspill med batterier som buffer i forhold til typiske variable laster som oppstår i hurtigbåter. Brenselcelle og hydrogenbank skal plasseres i en 10 fots container utenfor bedriften sitt bygg på Husøy ved Karmøy. Elkraft og signalkabler trekkes til innendørs batteribank og kontrollrom plassert i Westcon Power & Automation sine bygninger. Testoppsettet vil gjøres tilgjengelig for leverandører og kunder via Sustainable Energy Katapult Centre.



Illustrasjon 34. Westcon Power & Automation har bygd egen testlab for batteri- og hydrogenbaserte energisystem. In-house testing av brenselceller og hydrogenbaserte energisystem gir mulighet til hurtige tester for å finne løsninger på utfordringer som ev. dukker opp under utvikling av fullskala energisystem

5.7.1 Risikoanalyse/HAZID

Risikoanalyse og HAZID er en nødvendig og viktig del av prosjekt der ny teknologi eller nye metoder skal innføres uten at det finnes et godkjent regelverk. HAZID er et akronym for HAZard IDentification og er en systematisk metode for å vurdere og identifisere risiko ved et system eller en aktivitet.

Brødrene Aa og partnere gjennomførte HAZID i Bergen 21. mai 2019. HAZID ble ledet av Geirmund Vislie fra Gexcon. Ørjan Knudsen fra samme bedrift var sekretær. Gexcon er ledende aktør for analyse av brann- og eksplosjonsfare. Vislie har ledet granskingskommisjonen i etterkant av eksplosjonen i hydrogenstasjonen på Kjørbo i Sandvika i juni 2019.

To personer fra Sjøfartsdirektoratet og en person fra FiReCo AS var til stede i tillegg til seks personer fra Brødrene Aa-konsortiet. Se liste under. Komplette HAZID-rapport er vedlagt som vedlegg 1.

Name	Company	Position
Geirmund Vislie	Gexcon AS	HAZID Facilitator
Ørjan Knudsen	Gexcon AS	HAZID Scribe
Pål G. Eide	Westcon Power & Automation	System Integrator
Arnstein Aa	Brødrene Aa	Technical Director
Trond Strømgren	Brødrene Aa	Project Manager
Bjørn Høyving	FiReCo AS	Safety Design, fire
Kristian Breidfjord	Norwegian Maritime Authority	Authority
Andreas Åberg	Norwegian Maritime Authority	Authority
Lars-Erik Larsen	Boreal Sjø AS	Ship Owner
Bjarne Rygg	Brødrene Aa	Construction Manager
Håvard Kvist	Brødrene Aa	System Engineer

Utgangspunktet for HAZID-en var følgende:

- *The hydrogen storage and bunkering areas shall be located as far as possible away from the passenger areas and evacuation stations*
- *The hydrogen fuel system is based on compressed hydrogen (CH₂). Hydrogen storage capacity will be 612 kg and the battery capacity about 500 kWh*
- *The CH₂ shall be stored in four horizontal cylindrical tanks on the 01 deck at a pressure of 250 barg. The initial pressure reduction is carried out in the tank connection space at the aft end of the tanks, and gaseous hydrogen is led to the two fuel cell rooms on the main deck*

Metodikk for risikoanalyse for de ulike kategoriene i HAZID-en er vist i illustrasjon 35.



Illustrasjon 35. Metodikk for analyse ved gjennomføring av HAZID

HAZID-en ble gjennomført basert på fire ulike kategorier og med vurdering av ulike risikoer for hver kategori. Tabell 12 viser kategorier og risikoer.

Category	Guide Word
Fire and Explosions	<ul style="list-style-type: none"> • Leakages • Ignition sources • Detection • Possibility for escalation • Fire fighting • Passive fire protection • Explosion overpressure and ventilation
External impacts	<ul style="list-style-type: none"> • Ship collision • Drifting objects
Environmental loads	<ul style="list-style-type: none"> • Wind • Waves • Temperature
Other situations of hazards and accidents	<ul style="list-style-type: none"> • Loss of power or other utilities

Tabell 12. Kategorier og risikoer for HAZID

I tillegg ble det gjennomført analyse i forhold til ulike scenario. Disse var:

- In transit
- Docked
- Service
- General design

Analysene som ble gjennomført under HAZID-en gav i alt 22 ulike anbefalinger for å ivareta sikkerheten på best mulig måte. Anbefalingene er mulig å oppnå ved god kommunikasjon med underleverandører, entydige spesifikasjoner for teknologi og ved fysisk utforming av skrogstruktur og tilbehør. Matrise er gjengitt som siste del av HAZID i vedlegg 1.

Det ble funnet tre kritiske faktorer som må finne sin løsning ved videre design av fartøy. Se HAZID, vedlegg 1, side 9, for referansene som er oppgitt for kritisk faktor 1 og 3 i teksten under.

1. *According to code [4, page 78], the fuel cell compartments are category A rooms according to SOLAS Ch. II-2, and shall be fitted with fixed fire protection systems. However, available fire fighting systems which are suitable for other fuels have negative effects or are otherwise unsuitable for hydrogen applications. The industry has not yet developed suitable solutions for active fire protection, and alternative solutions should be pursued according to [1]*
2. *Ignition energies for hydrogen are very low, and electrical bonding to prevent static discharges is highly important. Carbon fiber is an electrical conductor, but care must nevertheless be taken to ensure that all items are securely earthed*
3. *Hazardous zone classification must be according to ATEX Gas group IIC [5] and to the DNV rules [4] section 3, chapter 7.2*

Brødrene Aa vurderer de kritiske faktorene som relevante i forhold til videre designprosess. Det vil bli satt inn ressurser som er tilstrekkelige til å utvikle gode løsninger som eliminerer risiko som følge av faktorene.

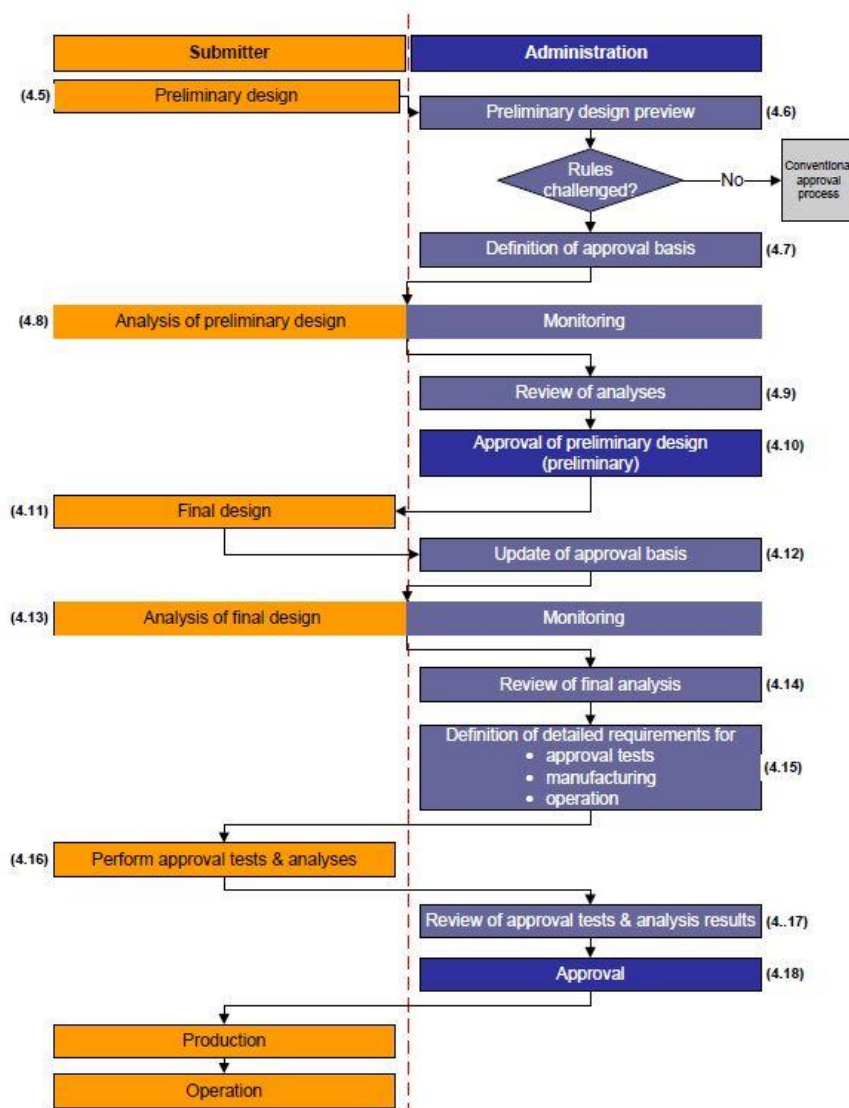
5.7.2 Klassing og godkjenning

Brødrene Aa har ikke inkludert preliminær godkjenning fra Sjøfartsdirektoratet i sin leveranse, ref. informasjon gitt til Trøndelag fylkeskommune i Skype-møte 13.02.2019. Preliminær godkjenning er en relativt omfattende prosess. Før slik prosess kan finne sted ønsker Brødrene Aa å avklare endelig design for de tre rutene i dialog med fremtidig operatør. Prosessen vil ligge til en senere fase. Prosessen er likevel beskrevet i de neste avsnittene.

Preliminær godkjenning er en prosess der Sjøfartsdirektoratet utsteder en erklæring om at et foreslått konseptdesign overholder regler, forskrifter og relevante kriterier fastsatt av direktoratet, selv om designet nødvendigvis ikke er fullt utviklet. Den foreløpige godkjenningen blir gitt med forbehold om at uavklarte problemstillinger skal være løst i den endelige designfasen.

Prosessen som er vist i illustrasjon 36 beskriver fremgangsmåten for å oppnå og opprettholde godkjenning av et alternativ design. Selv om diagrammet i illustrasjonen fremstiller en strengt lineær eller sekvensiell prosess, kan hver fase være en rekke iterasjoner i en loop. Prosessen inkluderer følgende milepæler:

- 1 Utvikling av et foreløpig design
- 2 Godkjenning av foreløpig design
- 3 Utvikling av sluttdesign
- 4 Testing og analyse av sluttdesign
- 5 Godkjenning



Illustrasjon 36. Prosess som skildrer gjennomføring av preliminær godkjenning fra Sjøfartsdirektoratet⁴⁷

Preliminær godkjenning kan til vanlig oppnås på ni måneder dersom det er god dialog og fremdrift blant de involverte partene.

5.8 CAPEX og OPEX

5.8.1 Kostnadsplan utvikling og bygging båt

Brødrene Aa har utarbeidet et kostnadsbilde for utvikling, godkjenning og bygging av nullutslipp hurtigbåter for rutene i Trøndelags-utlysningen. Kostnadsbildet er basert på nåværende kostnadsnivå samt prognoser for prisutvikling de nærmeste årene.

For Aero 25 vil prisutviklingen for batterier påvirke kostnadsnivået. Det er relativt gode estimat for prisutvikling for batterier. Prisene oppgitt i denne rapporten danner et godt grunnlag for pris på fartøy ferdigstilt til levering i 2022. Totalprisen for dette fartøyet er NOK 59 000 000. Merkostnaden i forhold til

⁴⁷ IMO: MSC.1/Circ.1455, GUIDELINES FOR THE APPROVAL OF ALTERNATIVES AND EQUIVALENTS AS PROVIDED FOR IN VARIOUS IMO INSTRUMENTS, 24 June 2013

et dieselfartøy av samme design og dimensjoner er NOK 17 000 000. Differensen skyldes i hovedsak kostnadsnivået på batterier, kraftelektronikk og ladesystem.

For *Aero 42 H2* er usikkerheten knyttet til teknologiutvikling for brenselceller. Per i dag er det ingen leverandører som har levert maritime enkeltinstallasjoner med størrelse over 2 MW. En leverandør har utviklet et 600 kW brenselcellesystem som skal leveres til skipsinstallasjon med planlagt sjøsetting høsten 2019.

Byggekostnad for *Aero 42 H2* uten hydrogeninstallasjonen er meget nøyaktig. Det er forventet en kraftig reduksjon i brenselcelleprisene de kommende årene. Prisen for komplett hydrogenfartøy er NOK 169 000 000. Merkestøtten i forhold til et dieselfartøy av samme design og dimensjoner er NOK 79 000 000. Prisøkningen gjelder kostnader knyttet til hydrogentanker, brenselceller, batterier og kraftelektronikk. Tilbudene som har blitt innhentet i dette prosjektet har vist at det er store forskjeller mellom de ulike leverandørene både på dagens priser og forventninger knyttet til fremtidig prisutvikling.

Generelt vil de løpende vedlikeholdskostnadene relatert til batterisystem være betraktelig lavere enn for et dieselfartøy. Man må likevel regne inn nedskrivningene av batteripakken som antas å ha en levetid på 10 år. For hydrogeninstallasjonen er det brenselcellene som representerer de største nedskrivningene. Brenselcellene antas å ha en levetid på 30 000 - 50 000 driftstimer under de beskrevne lastprofiler. Dette tilsvarer 10-17 års operasjon for fartøyet i ruta Trondheim-Brekstad og 4-6 år for fartøyene i ruta Trondheim-Kristiansund. Hurtigløpende dieselmotorer blir vanligvis skiftet ut eller totalt overhald etter 3-5 års drift.

5.8.2 Drifts- og vedlikeholdskostnader

I det følgende er budsjettene for drift og vedlikehold for de tre rutene presentert. Kapitalkostnader er ikke tatt med. Grunnlag for drivstoffkostnader er 45 kr/kg for hydrogen og 0,95 kr/kWh for elektrisk energi.

Tjenesten *Leiekostnader* gjelder for innleie av erstatningsfartøy ved serviceopphold etc. Denne kostnaden er satt lik null for ruta Trondheim-Vanvikan. Årsak er to-fartøyløsning for denne ruta som gjør at ruta med mindre justeringer periodevis kan betjenes av ett fartøy.

Rute Trondheim-Vanvikan

Tjeneste	Kostnad (NOK)
Drivstoffkostnader	4 318 163
Smøreoljekostnader	0
Reparasjons- og vedlikeholdskostnader	2 000 000
Personalkostnader	10 972 677
Assuransekostnader	1 050 000
Andre skipskostnader	1 000 000
Leiekostnader	0
Rutekostnader	160 000
Adm, kostnader, fortjeneste, annet	2 250 000
Sum	21 750 840

Tabell 13. Driftsbudsjett for fremtidig elektrisk drift av ruta Trondheim-Vanvikan

Rute Trondheim-Brekstad

Tjeneste	Kostnad (NOK)
Drivstoffkostnader	10 263 118
Smøreoljekostnader	0
Reparasjons- og vedlikeholdskostnader	1 963 400
Personalkostnader	8 312 834
Assuransekostnader	650 000

Andre skipskostnader	1 693 759
Leiekostnader	900 000
Rutekostnader	80 000
Adm, kostnader, fortjeneste, annet	1 500 000
Sum	25 363 111

Tabell 14. Driftsbudsjett for fremtidig hydrogenbasert drift av ruta Trondheim-Brekstad

Rute Trondheim-Kristiansund

Tjeneste	Kostnad (NOK)
Drivstoffkostnader	35 523 385
Smøreoljekostnader	0
Reparasjons- og vedlikeholdskostnader	5 026 800
Personalkostnader	22 318 052
Assuransekostnader	1 300 000
Andre skipskostnader	1 704 666
Leiekostnader	1 800 000
Rutekostnader	340 000
Adm, kostnader, fortjeneste, annet	3 000 000
Sum	71 012 903

Tabell 15. Driftsbudsjett for fremtidig hydrogenbasert drift av ruta Trondheim-Kristiansund⁴⁸

Hva er forskjellen i drifts- og vedlikeholdskostnader mellom eksisterende og fremtidig løsning? Brødrene Aa har utviklet et regneverktøy som sammenligner kostnadene mellom eksisterende løsninger og elektrisk to-fartøyløsning for ruta Trondheim-Vanvikan og hydrogenbasert drift av ruta Trondheim-Kristiansund. Regnearket er utformet slik at kostnad for hydrogen og diesel er variable. Det er forventet økning av avgiftsnivå på fossilt drivstoff. Denne faktoren kan legges til i prisen for diesel. Regnearket synliggjør interessante scenario for kostnadsnivåene ved variasjoner i energipris for hydrogen og diesel. Tabell 16 oppsummerer totale driftskostnader for en del ulike drivstoffpriser.

Drivstoff	Prisendring	Kostnad [kr/år]	Endring årlig driftskostnad
Hydrogen	0 %	75 679 108	8 %
Diesel	0 %	70 001 351	
Hydrogen	0 %	75 679 108	0 %
Diesel	20 %	75 397 906	
Hydrogen	-10 %	72 215 928	-4 %
Diesel	20 %	75 397 906	
Hydrogen	-20 %	68 752 748	-18 %
Diesel	50 %	83 492 738	
Hydrogen	-20 %	68 752 748	-29 %
Diesel	100 %	96 984 125	

Tabell 16. Drifts- og vedlikeholdskostnader for ruta Trondheim-Kristiansund basert på ulike scenario for pris på hydrogen og diesel. Referansepris er 7 kr/l for diesel og 45 kr/kg for hydrogen. I kolonnen helt til høyre er referansen årlig driftskostnad med diesel som drivstoff. 8 % betyr at det er 8 % dyrere å drifte med hydrogen når prisen er som definert i kolonnen helt til venstre

⁴⁸ Relativt stor økning av personalkostnader skyldes behov for tre skift for å drifte ruta

Tabell 16 gir interessante indikasjoner på kostnadsutvikling for drift av hydrogenbaserte ruter. Med dagens prisnivå for marin diesel og hydrogenpris på 45 kr/kg vil det være 8 % dyrere å drifte Trondheim-Kristiansund-ruta på hydrogen enn på diesel. Dersom hydrogenprisen synker med 20 %, f.eks. som følge av storskala hydrogenproduksjon fra naturgass (med CCS), og marin diesel får samme pris som diesel til personbilmarkedet, vil det være 29 % billigere å drifte på hydrogen enn på diesel.

5.9 Miljødata og digitale verktøy

Gjennom det nære samarbeidet med Hub for Ocean og Ocean Hyway Cluster har Brødrene Aa-konsortiet tilgang til flere digitale regneverktøy. Tilgang gjelder også til relevant datamateriale som dokumenterer helsemessige skader og samfunnsmessige kostnader for klimagassutslipp og andre utslipp til luft fra fossile energikjelder. Tilgang til disse verktøyene og datamaterialet øker verdien av Brødrene Aa-konsortiet sin leveranse til Trøndelag fylkeskommune og samarbeidende fylkeskommuner. Datamaterialet og de ulike digitale verktøy er kort omtalt i det følgende.

5.9.1 Luftforurensning i Southampton

Den engelske hamnebyen Southampton har svært høy luftforurensning, blant annet som følge av skipsfart og maritim aktivitet. Forurensningen er et stort problem for byen. Det er estimert at 5,7 % av dødsfallene i byen hvert år skyldes den høye luftforurensningen. Ocean Hyway Cluster har kontaktpunkt i Southampton og kan ved behov skaffe til veie tallmateriale og dokumentasjon.

Port of Southampton

The WHO has named Southampton as one of the worst cities in the UK for air quality and the impacts of Southampton's air pollution are estimated to cost around £50 million. Furthermore 5.7% of all deaths in Southampton are estimated to be a product of air pollution.

UNIVERSITY OF Southampton



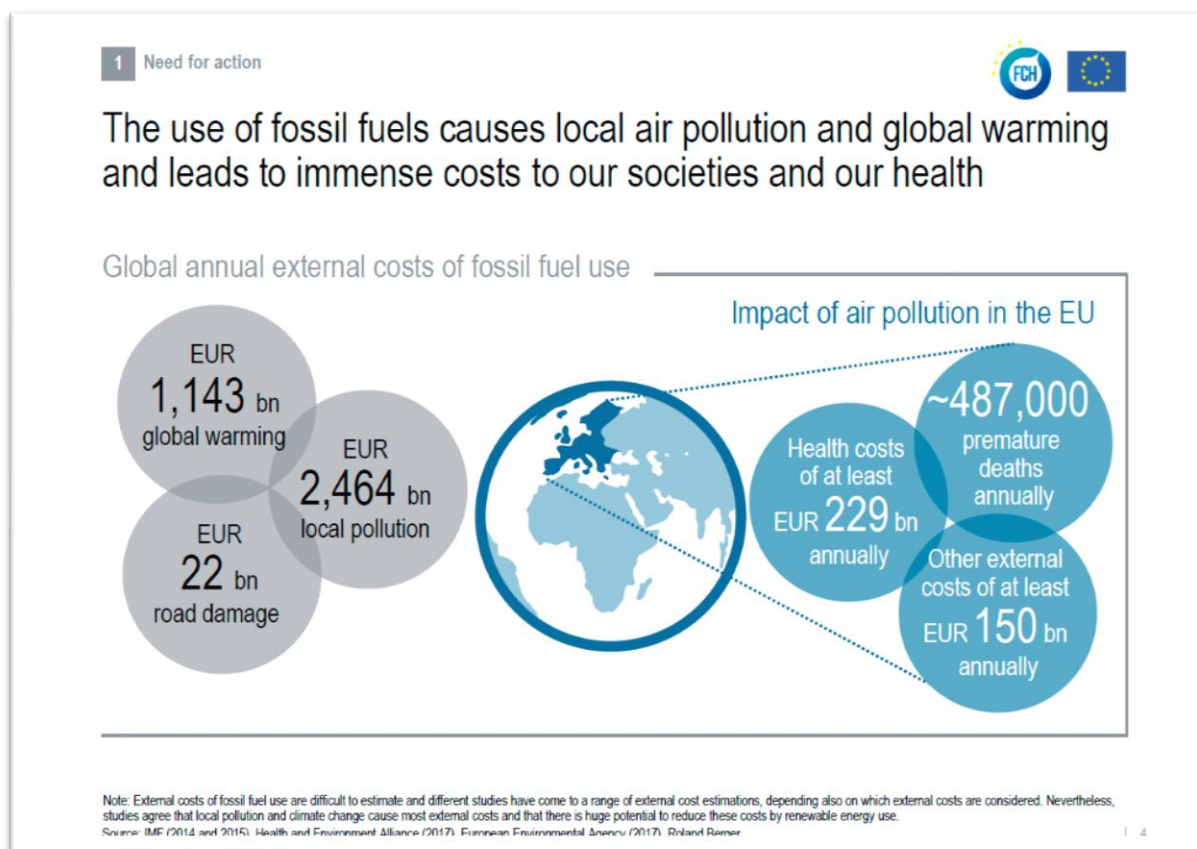
Illustrasjon 37. Southampton har svært høy luftforurensning. Det er estimert at 5,7 % av alle årlige dødsfall skyldes luftforurensning, inkludert utslipp fra skipsfart og maritim aktivitet⁴⁹

5.9.2 Luftforurensning i Europa fra fossile energikilder

Luftforurensning skapt av omfattende bruk av fossile energikjelder er et stort problem globalt. Flere aktører har beregnet de samfunnsmessige kostnadene ved luftforurensning. Kostnadene er store og gir

⁴⁹ Turnock, Stephen: *Challenge of Port Emissions*. University of Southampton / IEA-HIA-konferanse, Oslo, februar 2017

tydelige signal om at reduksjoner i bruk av fossilt brennstoff er nødvendig. Det privat-offentlige EU-programmet FCH2 JU arbeider for å fremme bruk av brenselceller til transport. Organisasjonen har sammenstilt tallmateriale for EU som viser kostnad og tal premature dødsfall i EU på grunn av luftforurensing. Illustrasjon 38 fremstiller materialet på en oversiktlig måte.



Illustrasjon 38. Bruk av fossilt brennstoff fører til luftforurensing som blant annet har store helsemessige kostnader. Illustrasjonen viser årlige samfunnsmessige kostnader i EU basert på tallmateriale fra 2014 - 2017⁵⁰

5.9.3 Samfunnsøkonomisk kostnad for klimagassutslipp fra maritim transport

Samarbeid med miljøet ved Sandia National Laboratories i San Fransisco i USA har gitt verdifull innsikt i problemstillingen med å definere den samfunnsøkonomiske verdien av nullutslipp fra fartøy. Sandia National Laboratories har vært hovedaktøren i design og utvikling av den hydrogendrevne passasjerbåten SF BREEZE. Initiativet er nå ført videre og blir konkretisert i Water-Go-Round-prosjektet, der Sandia National Laboratories er med som partner. Bygging av passasjerbåten Water-Go-Round startet 8. november 2018 og båten er planlagt ferdigstilt høsten 2019.

Oppsettet i tabell 17 viser utdrag av Sandia National Laboratories sitt regneverktøy for å beregne kostnad ved forurensning fra maritim transportsektor. Utdraget viser verdier for ulike parameterer som gjelder samfunnsregnskapet for SF BREEZE. Verktøyet kan med relativt enkle grep bli justert til norske forhold. Et slikt verktøy kan bidra med argumentasjon som gjør det enklere for myndighetene å bevilge midler til eller etablere insentiv for innfasing og drift av hydrogendrevne passasjerbåter i Norge.

⁵⁰ FCH2 JU / Roland Berger 2018

EPA method	Low (7% disc rate)	High (3% disc rate)
Value per ton NOx	\$ 7 800	\$ 18 000
Value per ton PM ⁵¹	\$ 270 000	\$ 680 000
SF-BREEZE avoided emissions		
Total NOx	5430084	g/yr
	162,90252	MT/30 yr
Total PM	120658	g/yr
	3,619746	MT/30 yr
Social cost for 30 year vessel operation (EPA correlation)		
\$ 2 247 971	low	
\$ 5 393 673	high	
Overall economic benefit of avoided premature deaths		
Low	\$2 247 971	
High	\$7 359 481	
Value of Avoided Other Health Costs		
Low value	2 %	of premature deaths
Low of the Low	\$44 959	
High value	20 %	of premature deaths
High of the High	\$1 471 896	

Tabell 17. Utdrag av regneverktøy utviklet av Sandia National Laboratories, USA, for å kvantifisere samfunnsmessig økonomisk gevinst ved innføring av nullutsleppsteknologi i maritim transportsektor

5.9.4 FCH JU Detailed Business Case Tool

Dette analyseverktøyet er utviklet i regi av FCH JU-programmet for å beregne kostnader knyttet til innføring av hydrogendrevne kjøretøy for landtransport, installasjon av nødvendig infrastruktur som fyllestasjoner og produksjon av hydrogen ved elektrolyse. Modellen ble utviklet i 2018 og er basert på oppdaterte studier og direkte dialog med industriaktører i energi- og hydrogenmarkedet. Hensikten med verktøyet er å definere investeringskostnadene for tog og fire ulike typer hydrogenkjøretøy basert på lokale forhold og ulike parameter. Verktøyet definerer også reduksjoner i CO₂- og NOx-utslipp.

Analyseverktøyet er i utgangspunktet laget for landbasert transport. Metodikken og modellene lar seg likevel overføre til maritim sektor og kan være til stor hjelp for både for fylkeskommuner, tilbydere av infrastruktur og operatører som skal drifte passasjerbåter som har fremdrift basert på hydrogen.

⁵¹ PM er en amerikansk benevnelse på et vidt spekter av kjemiske og fysiske partikler. PM inkluderer støv, skitt, sot, røyk, eksos, damp, væskepartikler, kondenserte partikler fra atmosfæren eller avgasser som inneholder NOx, SOx eller skadelige organiske komponenter

Detailed Business Case Tool

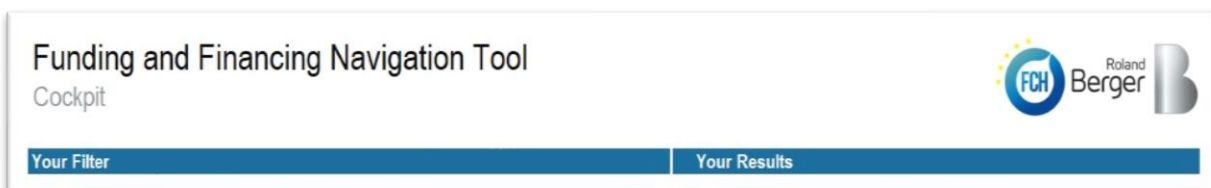
Contents



Spreadsheets	Link
Introduction - Purpose of the tool and utilization instructions	Link
Basic Input - Basic data input options required to compute results	Link
Results - Illustration of main operational parameters, cost and environmental analysis results	Link
Detailed Input - Vehicles - Detailed assumptions and data input options for all vehicle-related input data	Link
Detailed Input - HRS - Detailed assumptions and data input options for all input data on hydrogen refuelling stations (HRS)	Link
Detailed Input - Production - Detailed assumptions and data input options for all input data on "green" hydrogen production facilities	Link

5.9.5 FCH JU Funding and Financing Navigation Tool

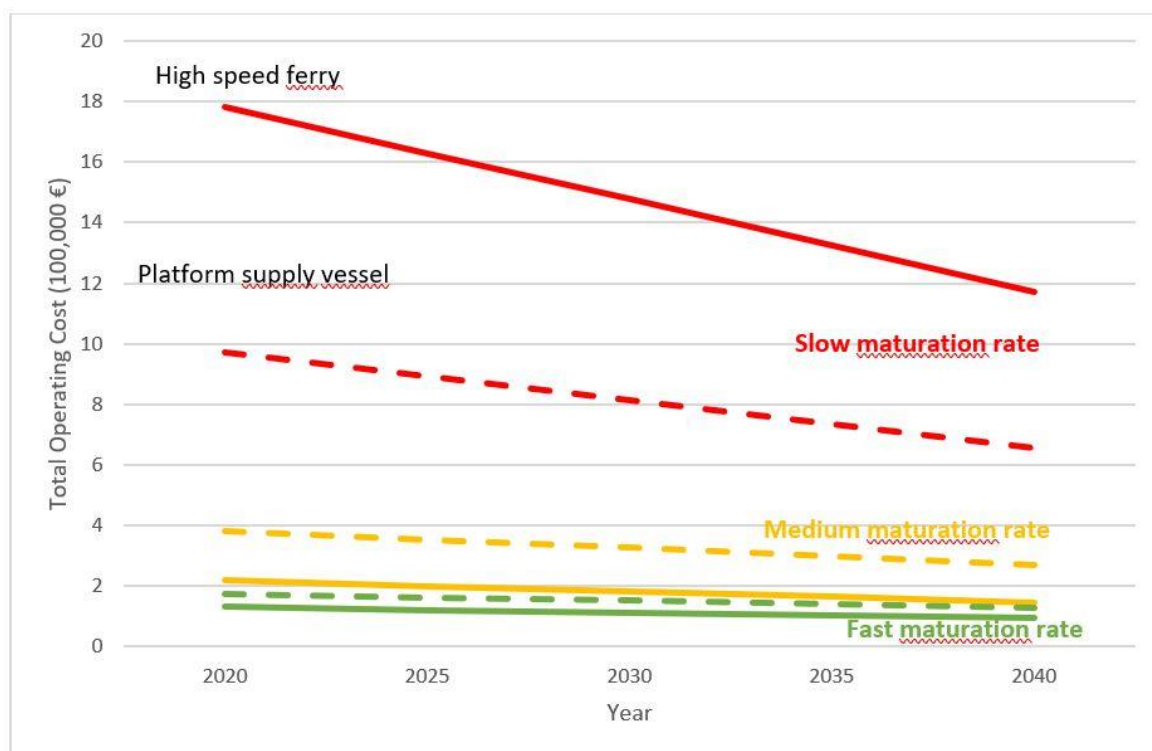
Dette er et analyseverktøy som gir brukeren rettledning i hvilke europeiske støtteordninger som passer til ulike prosjekt. Inngangsparameterer er i hovedsak land, region, type prosjekt (sektor, offentlig/privat, budsjettstørrelse, finansieringsmodell). I verktøyets database ligger det i alt 22 ulike støtte- eller finansieringsordninger. Resultatet av verktøybruken er anbefaling av hvilke støtteordninger som egner seg best til det aktuelle prosjektet.



5.9.6 Maranda – Maritime tool within the MobHy toolbox

Maranda-verktøyet er et av mange i MobHy – en plattform som tilbyr pålitelig og detaljert informasjon om hydrogenmobilitet, inkludert en katalog over planlagte drivstoffcellekjøretøy.

Maranda gir en preliminær teknisk, økonomisk og miljømessig oversikt ved bruk av hydrogenbrenselceller i nullutslipps fremdriftssystem, spesielt tilpasset maritime applikasjoner. Bruk av verktøyet krever en grunnleggende beskrivelse av fartøyets egenskaper. Ferdigfylte maler er tilgjengelige for over 30 fartøytyper. Verktøyet gir god forståelse av komplekse hydrogensystem og tilbyr brukerne en enkel metode for å simulere bygging og drift av hydrogenfartøy. Brukerne får innsikt i prosjektets kapital- og driftskostnader, samt estimater for direkte og indirekte reduksjoner i utslipp av CO₂, SO_x og NO_x.



Illustrasjon 39. Eksempel på bruk av Maranda Maritime Tool. Prognoserte driftskostnader for hydrogenbasert hurtiggående passasjerbåt og PSV (supplybåt) for idriftsetting i 2020

5.9.7 V1 Scenarios – part of the TedHy toolbox

TedHy brukes på et overordnet nivå. Der Maranda gir en oversikt over et enkelt maritimt hydrogenprosjekt, er TedHy et planleggingsverktøy for flere hydrogenformål og -prosjekt. V1-Scenarios definerer en serie løsninger presentert gjennom TedHy.

Verktøykassen er en kombinasjon av avansert simulering, datavisualisering og beslutningsstyringsverktøy for modellering av hydrogenbaserte system. Eksempler på systemer er alt fra enkeltstående hydrogenfyllestasjoner til regioner som involverer forskjellige aktører og løsninger. Verktøyet vurderer nåværende og fremtidige energibehov i forhold til eksisterende energikilder og infrastruktur for distribusjon. Modelleringsprosessen er svært tilpasningsdyktig, og brukeren kan modellere sitt eget scenario ved hjelp av selvdefinerte variabler. TedHy gir relevante løsninger for overordnede planleggings- og designspørsmål. Den effektfulle visualiseringen gjør at beslutningstakere enkelt kan vurdere forskjellige alternativer og velge videre strategi som gir en felles plattform å jobbe ut fra.

5.10 Samfunnsaksept

5.10.1 Hensikt

Vellykket innføring av ny teknologi er ikke bare avhengig av teknologisk modenhet og tilhørende faktorer som infrastruktur, leverandørkjede etc. Innføring er like avhengig av at innkjøpere og brukere må ha tillitt til den nye teknologien. Via Ocean Hyway Cluster har Brødrene Aa direkte tilgang til partnerne i prosjektene Surf 'n Turf og BIG HIT på Orknøyene, der energi fra vind og tidevann blir lagret som hydrogen og senere brukt til transport og oppvarming. Fra 2021 skal hydrogenet også blir brukt til drift av bilferje som bygges som del av HYSEAS III-prosjektet.

Eday Renewable Energy Ltd har vært sentrale i Surf 'n Turf og BIG HIT og har erfart hvor viktig forankring i lokalsamfunnet er for å sikre vellykket innføring av nye teknologiløsninger. Andrew Stennett var en av initiativtakerne til Eday Renewable Energy Ltd. I et foredrag for 52 norske delegater til Orknøyene i mai

2019 poengterte han sterk hvor viktig samfunnaksept er: "I must stress that community acceptance should not be underestimated when new technology is to be introduced to the market."

Flere andre prosjekter, både norske og internasjonale, kan trekkes frem i tillegg til eksemplet fra Orknøyene over. Dersom interesse kan Brødrene Aa tilby Trøndelag fylkeskommune direkte kobling til flere aktuelle aktører.

5.10.2 Tiltak

For å sikre god samfunnsaksept bør Trøndelag fylkeskommune og partnere vektlegge informasjons- og opplysningsarbeid. Det finnes ikke standardløsninger for dette, men følgende punkt vil være reelle:

1. Utarbeid informasjonsmaterieill tilpasset ulike målgrupper som for eksempel skoleelever, politikere (lokalt, regionalt, nasjonalt), forvaltning/byråkrati, sluttbrukere (passasjerer)
2. Informasjonsmaterieill må utformes i ulike varianter, for eksempel tekst og film/video
3. Informasjonsmaterieill må være tilpasset ulike flater eller formidlingskanaler (digitalt, trykt, aviser/media, publikasjoner, muntlig presentasjon, sosiale medier, nyhetssider, fellesmøter, konferanser etc.)
4. Utarbeide strategi og tidsplan for publisering/formidling av ulike typer informasjon

5.11 Helhetlig konseptløsning

Brødrene Aa-konsortiet har levert en helhetlig konseptløsning der tekniske løsninger, kostnader for bygging og drift av passasjerbåtene, driftsmønster og energibruk samt innovasjonsgrad har fått omfattende omtale. De følgende fire avsnittene oppsummerer emnene og leveranse i forhold til Trøndelag fylkeskommune sin bestilling.

5.11.1 Tekniske løsninger

Løsninger for nullutslipps fremdrift er skissert for de tre ulike rutebåtsambandene. Sambandet Trondheim-Vanvikan er i sin helhet elektrisk. Det er i stor grad benyttet kjente tekniske løsninger. De to andre sambandene har energiforsyning som i hovedsak er basert på hydrogen. Det gjenstår noe utviklingsarbeid før tekniske løsninger er ferdigdesignet. Løsningene vil bestå av teknologi og komponenter fra ledende aktører som i en årrekke har levert produkt til landbaserte mobile energisystem med hydrogen som energikilde.

Alle sambandene har nullutslipps fremdrift. Eventuelle CO₂-utslipp eller andre utslipp til luft vil komme fra produksjonsprosess for elektrisk kraft eller hydrogen, bygging av infrastruktur for de to nevnte energibærene eller fra transport av hydrogen. Vi anser Brødrene Aa-konsortiet sine tekniske løsningsforslag til å være i samsvar med Trøndelag fylkeskommune sin bestilling.

5.11.2 Driftsmønster og energibruk

Ruteopplegget i Brødrene Aa-konsortiet sitt løsningsforslag er identisk med nåværende rute for strekningene Trondheim-Kristiansund og Trondheim-Brekstad. I samsvar med bestilling fra Trøndelag fylkeskommune har nytt fartøy større kapasitet enn eksisterende på ruta Trondheim-Brekstad. Dette fører likevel ikke til økt energibruk på denne ruta. Ruta Trondheim-Vanvikan er foreslått med to mindre fartøy for større fleksibilitet og mulighet for hyppigere avgangsfrekvens og økt kapasitet.

For de to lengste rutene vil fartøyene bunkre hydrogen i Trondheim og Kristiansund. Det vil kreve 25-30 minutt å etterfylle hydrogen ved normalt energiforbruk. Planlagt ruteoppsett gir tid til å bunkre ved alle stopp både i Trondheim og Kristiansund. Eksisterende driftsmønster kan føres videre for rutene Trondheim-Kristiansund og Trondheim-Brekstad.

Fremtidig rute Trondheim-Vanvikan er helelektrisk og er satt opp med to mindre fartøy. Daglig vil det gå to fartøy i perioder med mye trafikk, ellers ett fartøy. Ladetid ved kai er beregnet til 12 minutt og er lagt

inn i forslag til nytt ruteoppsett. Driftsmønster for denne ruta vil avvike noe fra eksisterende ruteoppsett på grunn av tofartøy-løsning.

Energiforbruk for de ulike rutene er vist i tabell 18. Tabellen fremstiller både eksisterende og fremtidig rutedrift samt reduksjon i utslipp av CO₂ og NO_x for fremtidige ruter. Energiforbruket for alle tre rutene samlet er redusert med ca. 13 000 000 kWh. Dette tilsvarer 25 % reduksjon. Reduksjonen skyldes i hovedsak bedre virkningsgrad og operasjonsmodus for energisystem basert på hydrogen og brenselceller enn for fremdrift med dieselmotorer.

Samband	Eksisterende løsning		Fremtidig løsning			Reduksjon utslipp	
	Forbruk MGO (liter/år)	Energiforbruk (kWh)	Forbruk H2 (kg/år)	Forbruk elenergi (kWh)	Energiforbruk (kWh)	CO ₂	NO _x
Trondheim - Vanvikan	854 694	8 543 820	-	4 545 414	4 545 414	2 315	22 750
Trondheim - Brekstad	898 493	8 981 651	206 846	1 005 310	7 899 490	2 434	23 916
Trondheim - Kristiansund	3 448 926	34 476 671	769 596	938 513	26 589 131	9 343	91 802
Total	5 202 113	52 002 142	976 442	6 489 236	39 034 035	14 093	138 467

Tabell 18. Årlig energiforbruk for nåværende og fremtidig løsning for de tre båtrotene samt reduksjon i direkte CO₂- og NO_x-utslipp

5.11.3 Kostnader rutedrift

Omfattende analyser har gitt grunnlag for beregning av utviklings- og byggekostnader for de aktuelle fartøyene og for drift av disse i samsvar med oppgradert ruteplan. Utviklings- og byggekostnader representerer kostnadsnivå per 2019. Det er relevant å anta at prisnivå for hydrogenteknologi vil bli redusert i årene som kommer. I hvor stor grad og hvor hurtig dette skjer er usikkert. Driftskostnader er basert på kjente parameterer som energipris og vedlikeholds-, klassing- og mannskapskostnader og må sees på som sikre anslag.

Ved utarbeidelse av driftskostnader er energipris for strøm og hydrogen isolert som egne variabler. Oppdragsgiver får oversendt regneark som viser hovedelementene i beregningsmodellen.

Trøndelag fylkeskommune skriver i prosjektbeskrivelsen at "Våre to primære krav er at man skal dekke et behov for mobilitet langs kysten, uten utslipp og til en lavere kostnad enn i dag." Kravet "uten utslipp" er tatt i vare ved Brødrene Aa-konsortiet sin leveranse, ref. forrige avsnitt.

For krav nummer to, "til en lavere kostnad enn i dag", har vi følgende tolkning: Vi anser at Trøndelag fylkeskommune ønsker å belyse kostnadsnivået for regulær fremtidig rutedrift. Dette kostnadsnivået vil i hovedsak være basert på energipris og vedlikeholds-, klassing- og mannskapskostnader. I praksis vil også kapitalkostnader inngå. De nåværende svært høye utviklings- og byggekostnadene for hydrogenfartøy vil ikke være representative for fremtidig kostnadsnivå. Vi velger derfor å se bort fra kapitalkostnadene i våre beregninger. Priser på fartøy er oppgitt i seksjon 5.8.1. Oppdragsgiver eller operatører kan beregne kapitalkostnader ved å bruke egne modeller for dette.

Driftsmodell for ruta Trondheim-Vanvikan gir stor fleksibilitet. Bruk av 97 pax-fartøy gjør at det ikke er behov for eventuelle ombygginger og kostnader knyttet til dette for Vanvikan havn. To-fartøyløsning fører likevel til økte mannskapskostnader. Brødrene Aa-konsortiet sin modell for ruta Trondheim-Vanvikan oppfyller ikke kravet om lavere kostnad enn i dag.

For rutene Trondheim-Brekstad og Trondheim-Kristiansund er en hydrogenpris på NOK 45,00 per kilo lagt til grunn for beregningene. Brødrene Aa-konsortiet sin modell for rutene Trondheim-Brekstad og Trondheim-Kristiansund blir ca. 9 % dyrere med hydrogendrift enn med dieseldrift. Driftsmodellene

oppfyller ikke kravet om lavere kostnad enn i dag. Dersom dieselpriisen øker med mer enn 20 % vil hydrogendrift bli billigere enn dieseldrift.

5.11.4 Innovasjonsgrad

Innovasjon defineres som verdiskapende fornyelse. I praksis betyr dette introduksjon av nye eller vesentlig forbedrede produkter eller prosesser, gjerne målt i forhold til "state-of-the-art" på området. Alle partene i Brødrene Aa-konsortiet kan historisk vise til høy innovasjonsgrad. Brødrene Aa og Westcon Power & Automation kan i særdeleshet vise til høy innovasjonsgrad i forhold til tekniske løsninger og nyvinninger.

De to sistnevnte partene fører mange nye og innovative tekniske løsninger inn i tilbudet til Trøndelag fylkeskommune. Flere av løsningene som tilbys er nye eller radikale forbedringer av eksisterende teknologi. Blant disse er:

- Ny løsning for effektiv lading ved tidsavgrensede havneanløp (Westcon Power & Automation)
- Styringsystem for optimal energiutnytting ved kombinasjon av batteri-hydrogen (Westcon Power & Automation)
- Hydrogenbaserte fremdriftssystem i MW-klassen (Westcon Power & Automation / Brødrene Aa)
- Optimalisering av skrog og struktur for hydrogen lagertanker og brenselcelleanlegg (Brødrene Aa)
- Design og utforming av brenselcellerom (Westcon Power & Automation / Brødrene Aa)
- Sikkerhetssystem for hydrogenteknologi (Westcon Power & Automation)
- Design og utforming av tankløsninger (Westcon Power & Automation / Brødrene Aa)

5.11.5 Realisme

Brødrene Aa-konsortiet har bred erfaring fra både drift og bygging av hurtiggående passasjerbåter. Westcon Power & Automation har også stor erfaring med batteribaserte energisystem. Sistnevnte bedrift utvikler nå en testlab for hydrogen brenselcelle som skal integreres med eksisterende kraft- og energisystemløsning. Alle skrog og motstandsdata som ligger til grunn for denne leveransen er vel utprøvd gjennom både modelltester og driftsdata fra tidligere bygde fartøy.

Brødrene Aa har bygget flere komposittfartøy med energilagring i batteripakker og kan vise til svært god driftsregularitet for disse fartøyene. «Future of The Fjords» ble levert i april 2018 og driften har vært i samsvar med forventningene. System for fremdrift, power management og lading har fungert veldig bra. Med unntak av noen kansellerte turer på grunn av is på fjorden har driftsregulariteten vært 98,04 %.

Viser ellers til kapittel 5.1.7.1 der Westcon Power & Automation sin involvering i tilsvarende maritime hydrogenbaserte fremdriftssystem er omtalt. Brødrene Aa ser det som realistisk å kunne levere fartøyer av typen *Aero 25* og *Aero 42 H2* innen 2023.

5.11.6 Forbehold og restriksjoner

En del forbehold og restriksjoner er gjeldende for Brødrene Aa-konsortiet sitt løsningsforslag. Disse er omtalt i tabellen under.

Forbehold/restriksjon	Merknad
Prisnivå hydrogen og elektrisk energi	Ved beregning av driftskostnader for de ulike hurtigbåtsambandene er pris for hydrogen satt til NOK 45,00 per kilo og elektrisk energi til NOK 0,95 per kWh. Reelle priser vil sannsynlig vis avvike fra disse verdiene
Prisnivå på hydrogenteknologi	Fremtidig prisnivå er usikkert. Priser oppgitt i tilbudet fra Br. Aa vil trolig bli lavere løpet av de neste årene

Leveringstid brenselceller	Produsent oppgir opptil 12 mnd. leveringstid på brenselceller. Dersom mange hydrogenfartøy bestilles kan leveringstid bli økt
Design og bygging av fartøy, inkludert testperiode	Design-, bygge- og testprosess tar 28 mnd. Fartøy må bestilles senest i august 2021 for å være klar til driftsetting i januar 2024
Tilgang på elektrisk energi	Det forutsettes at det er tilstrekkelig tilgang til energi ved kai Brattøra og Vanvikan for å oppnå ønsket ladekapasitet for batteri. Det samme gjelder for Kristiansund, Brekstad og Edøy, dog med mindre effektbehov
Tilgang til hydrogen	Det forutsettes at Trøndelag fylkeskommune legger til rette for hydrogenfylling i Trondheim og Kristiansund. Anleggene må ha tilstrekkelig lagrings- og fyllekapasitet og oppfylle gjeldende krav fra DSB og annen myndighet
Godkjenning av fartøy	Sjøfartsdirektoratet må godkjenne endelig løsning for begge fartøytyper. Dette ligger til neste prosjektfase, dvs. etter at operatør har bestilt fartøy og design og detaljerte tekniske løsninger er ferdigstilte
Formidling av Brødrene Aa sin rapport	Brødrene Aa har levert kun en versjon av konsortiets rapport. Rapporten kan i sin helhet formidles videre til Trøndelag fylkeskommune sine samarbeidspartnere. Rapporten kan brukes som grunnlag for utlysning av nullutslipps hurtigbåtsamband fra Trondheim
Fyllehastighet ved bunkring av hydrogen	Det forutsettes at teknologileverandører tilbyr utstyr i 2022 med bunkringskapasitet 20 kg/min per dispenser
Prosedyrer for bunkring av hydrogen	Utforming av prosedyrer for fylling av hydrogen vil avgjøre om fylling kan skje ved passasjerterminal, med eller uten passasjerer om bord eller om fylling må skje ved egen terminal. Ruteoppsett må ev. justeres slik at det blir tilstrekkelig tid til å følge prosedyrer ev. forhale fartøy for bunkring

5.11.7 Samlet tjenestetilbud

Brødrene Aa-konsortiet har besvart og definert løsning for alle punkt i Trøndelag fylkeskommune sin utlysning. Løsningsforslaget tilbyr nullutslipps løsninger på alle rutene og ivaretar tjenestetilbudet som en helhet.

Tabellen under oppsummerer de ulike punktene og kravene i Trøndelag fylkeskommune sin bestilling og Brødrene Aa-konsortiet sin leveranse i forhold til disse.

Leveranse	Merknad
Utarbeide en teoretisk løsningsbeskrivelse, i hht. funksjonskrav, gjeldende regelverk og som dekker Trøndelag fylkeskommune sine tjenestebehov	Gjennomført i samsvar med bestilling
Presentere forslag til løsning	Presentasjon på Hell 18.06.2019 og ved rapport 01.09.2019
Modellere/teste/utvikle modeller og prototyper	Omfattende modellering og testing er gjennomført ved design av optimal struktur- og skrogutforming. Brødrene Aa har levert ei

	rekke fartøy til ulike operatører. Praktisk bruk i rutedrift viser at struktur- og skrogutforming er svært god i forhold til universell utforming, komfort, styrke og energibruk
Verifisere energibærerens evne til bruk i hurtigbåt	Gjennomført i samsvar med bestilling
Sikre preliminær godkjenning fra Sjøfartsdirektoratet	Det er gjennomført HAZID for fartøytype med hydrogenbasert fremdrift. Sjøfartsdirektoratet deltok på HAZID med to representanter. Det er ikke gjennomført preliminær godkjenning fra Sjøfartsdirektoratet. Dette er en svært omfattende og kostbar prosess som krever detaljert grunnlag for å kunne gjennomføres. Slikt grunnlag må utarbeides i nært samarbeid med fremtidig operatør for rutene Trondheim-Brekstad og Trondheim-Kristiansund. På grunn av manglende grunnlag og avgrenset økonomisk ramme har konsortiet ikke sett det som hensiktsmessig å sikre preliminær godkjenning
Beskrive CAPEX og OPEX for konseptene	Gjennomført i samsvar med bestilling
Beskrive og evaluere konsepter som en helhetlig løsning for nullutslipp hurtigbåt drift	Løsningsforslaget tilbyr nullutslipps løsninger på alle rutene og ivaretar tjenestetilbudet som en helhet. På ruta Trondheim-Vanvikan er passasjerkapasiteten økt vesentlig ved forslag om bruk av to mindre fartøy. Rapporten inneholder en del tilleggsleveranser, som for eksempel kapitlet 5.9 Miljødata og digitale verktøy
Fartøyene skal være tilpasset dagens kaiinfrastruktur	Fartøyene er i sin helhet tilpasset dagens kaiinfrastruktur. Mindre endringer må gjennomføres for å sikre optimal lading

5.11.8 Videre samarbeid og dialog med Trøndelag fylkeskommune

Brødrene Aa og samarbeidspartnerne Westcon Power & Automation og Boreal ønsker i størst mulig grad å bidra til realisering av nullutslipps hurtigbåtsamband. Trøndelag fylkeskommune er velkommen til å ta kontakt med konsortieleder Brødrene Aa også etter 1. september 2019. Brødrene Aa vil kunne bidra med oppdaterte tekniske løsninger og reviderte budsjettall samt være dialogpartner for generelle emner som gjelder nullutslipps fremdrift av hurtiggående passasjerbåter.

For fremtidig dialog med Brødrene Aa gjelder følgende kontaktinformasjon:

Anstein Aa, Technical Manager, tlf +47 930 65 427, mail anstein@braa.no

5.12 Realisering

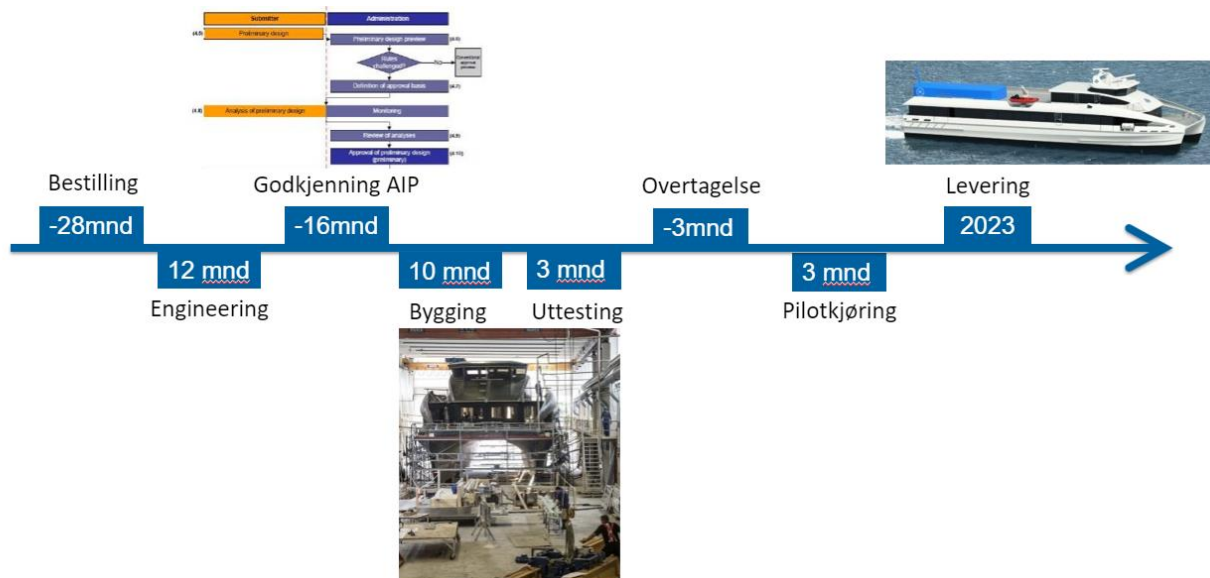
5.12.1 Bygging og installasjon

Brødrene Aa opererer med svært kort byggetid for sine leveranser. Derfor er det viktig at det foreligger et godt design i forkant av byggestart.

Etter ferdigstilling bør det være seks måneder innkjøring og uttesting av hydrogenfartøy i driftssituasjon før fartøyene kan gå inn i normal trafikk. Det kreves anslagsvis 12 måneder for design av fartøy og konsept, inkludert nødvendige godkjenninger. Fra byggestart må det påregnes 10 måneder byggetid. Basert på estimatene over bør løsning velges og båter kontraheres minimum 28 måneder før oppstart av ordinær rutedrift.

For elektriske hurtiggående fartøy er utviklingsbehovet betydelig mindre. For denne type fartøy og design må fartøy kontraheres minimum 16 måneder før oppstart. Det vil være behov for å bygge ut nødvendig infrastruktur for ladeløsninger i denne fasen.

Leveringstider for batterier er i ferd med å øke i takt med etterspørselen. Det samme vil trolig være tilfelle for brenselceller når disse blir kommersielt tilgjengelige i større volum. For å hindre at leveringstid på brenselceller skal forsinke levering av fartøy må bestiller være tidlig ute med sine vedtak om hydrogenbasert rutebåtdrift.



Illustrasjon 40. Tidslinje som viser tidsforbruk for ulike trinn i realisering av hydrogenrevet hurtigbåt

5.12.2 Uttesting og idriftsetting

For Brødrene Aa er utprøving av ny teknologi en naturlig og integrert del av alt utviklingsarbeid. Gjennom flere prosjekt har bedriften utviklet gode rutiner for uttesting og sikker igangkjøring, senest ved produksjon av helelektriske «Future of The Fjords». Ved utprøving av ny teknologi får alle involverte parter validert sine teoretiske tilnærminger og løsningsforslag opp mot den praktiske virkeligheten og fullskala test av fartøyet. Grensesnittet mellom ulike leveranser blir utfordret og finner sin beste løsning i ferdigstillings- og testfasen. Brødrene Aa har opparbeidet god kompetanse for gjennomføring av denne krevende prosjektfasen.

Det er skipsbygger som samler og koordinerer testprosedyrer fra alle underleverandører i et utviklingsprosjekt. Dette gjøres for å oppnå en trygg gjennomføring av igangkjøringen. På denne måten får også kunde, myndigheter og klassifiseringsselskaper en bedre forståelse av helheten i prosjektet. I prosjekt hvor man følger alternativt design er det også viktig at alle godkjenningsmyndigheter mottar all informasjon om testing i god tid før testene, slik at fagavdelingene får tid til å evaluere og komme med tilbakemeldinger på alle prosedyrer og oppsett av testplan. Brødrene Aa er godt kjent med slike prosedyrer med bakgrunn i design, bygging og testing av pionerfartøyet «Vision of The Fjords».

I løpet av testperioden skal verft, kunde, myndigheter og underleverandører jobbe sammen for å sikre at systemet blir fullverdig uttestet. All koordinering av praktisk gjennomføring skjer i regi av skipsverft. Basert på erfaringer og praksis med elektriske fartøy fra tidligere leveranser har Brødrene Aa rutiner som tilfredsstillende gjeldende krav. Uttesting og igangkjøring av et hydrogenfartøy vil kreve oppdatering av verftets sikkerhetsrutiner fordi det ikke er bygget tilsvarende fartøy tidligere. Brødrene Aa vil leie inn kvalifisert personell for gjennomgang og kvalitetssikring av nye sikkerhetsrutiner knyttet opp til hydrogenfartøy.

5.13 Vedlegg

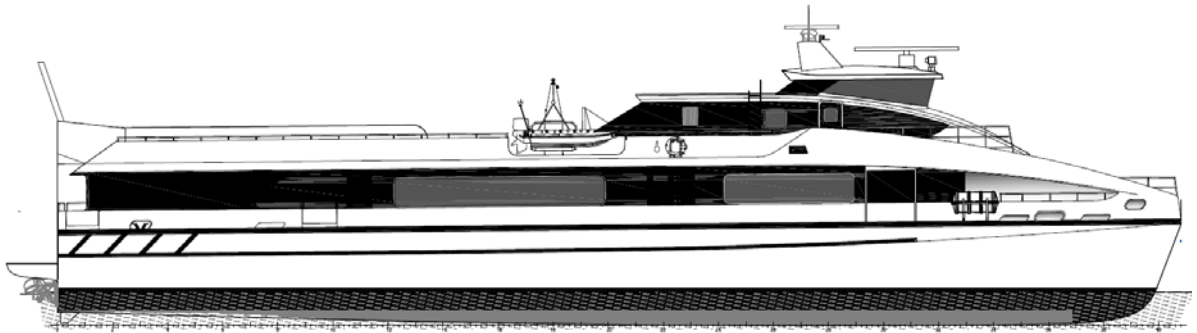
1. HAZID-rapport
2. Generalarrangement fartøytype *Aero 25*
3. Generalarrangement fartøytype *Aero 40 H2*
4. Artikkel "Future of The Fjords"

5.13 Vedlegg

1. HAZID-rapport
2. Generalarrangement fartøytype *Aero 25*
3. Generalarrangement fartøytype *Aero 40 H2*
4. Artikkel "Future of The Fjords"

REPORT

HAZID Hydrogen Passenger Ferry



Client
Brødrene Aa AS

Authors
Geirmund Vislie
Ørjan Knudsen

Document Info

Author

Geirmund Vislie

Classification

Confidential

Title

HAZID Hydrogen Passenger Ferry

Extract

Gexcon have been contracted to assist Brødrene Aa in their development of a Hydrogen powered Passenger Ferry as a concept for Trøndelag fylkeskommune for use in several existing passenger routes in the region.

The Hazard Identification for the conceptual design was conducted on 21 May 2019 and is documented in this report.

Project Info

Client

Brødrene Aa AS

Clients ref.

N/A

Gexcon Project No.

100865

Gexcon Project Name

HAZID Hydrogen Passenger Ferry

Revision

Rev.	Date	Author	Checked by	Approved by	Reason for revision
00	28.05.2019	Geirmund Vislie	Ørjan Knudsen	Nicolas Salaün	Issued for comments
01	07.06.2019	Geirmund Vislie	Ørjan Knudsen	Nicolas Salaün	Comments incorporated

Disclaimer

Gexcon shall not be liable for any damages which the assignor, or assignor's clients, vendors, consultants or other third party, may incur as a result of applying or using the results of Gexcon's work, unless there is misconduct or gross negligence on the part of Gexcon or on the part of the persons used by Gexcon to carry out the work.

Table of Contents

Disclaimer3

1 INTRODUCTION.....5

1.1 General.....5

1.2 HAZID Team5

2 Technical Solution6

3 HAZID Methodology.....7

4 HAZID Findings8

5 References.....9

APPENDIX A – HAZID Records10

1 INTRODUCTION

1.1 General

Gexcon have been contracted to assist Brødrene Aa in their development of a Hydrogen powered Passenger Ferry as a concept for Trøndelag fylkeskommune for use in several existing passenger routes in the region. The conceptual design of the ferry specifies the following characteristics;

- Length over all: 41.80 m
- Breadth: 10.80 m
- Passenger capacity: 277

The vessel shall be designed and built according to DNVGL rules.

The Hazard Identification for the conceptual design was conducted on 21 May 2019 in accordance with section 4.8 in [1] and is documented in this report.

1.2 HAZID Team

The following personnel participated in the HAZID

Name	Company	Position
Geirmund Vislie	Gexcon AS	HAZID Facilitator
Ørjan Knudsen	Gexcon AS	HAZID Scribe
Pål G. Eide	Westcon Power & Automation	System Integrator
Arnstein Aa	Brødrene Aa	Technical Director
Trond Strømgren	Brødrene Aa	Project Manager
Bjørn Høyving	FiReCo AS	Safety Design, fire
Kristian Breidfjord	Norwegian Maritime Authority	Authority
Andreas Åberg	Norwegian Maritime Authority	Authority
Lars-Erik Larsen	Boreal Sjø AS	Ship Owner
Bjarne Rygg	Brødrene Aa	Construction Manager
Håvard Kvist	Brødrene Aa	System Engineer

2 Technical Solution

The hydrogen storage and bunkering areas shall be located as far as possible away from the passenger areas and evacuation stations. All locations are shown on [2].

The hydrogen fuel system is based on compressed Hydrogen (CH₂). Hydrogen storage capacity will be 612 kg, and the battery capacity about 500 kWh.

The CH₂ shall be stored in four horizontal cylindrical tanks on the 01 deck at a pressure of 250 barg. The initial pressure reduction is carried out in the tank connection space at the aft end of the tanks, and gaseous Hydrogen is led to the two fuel cell rooms on the Main Deck. Figure 2.1 below shows the 01 deck with the Hydrogen storage tanks located aft.

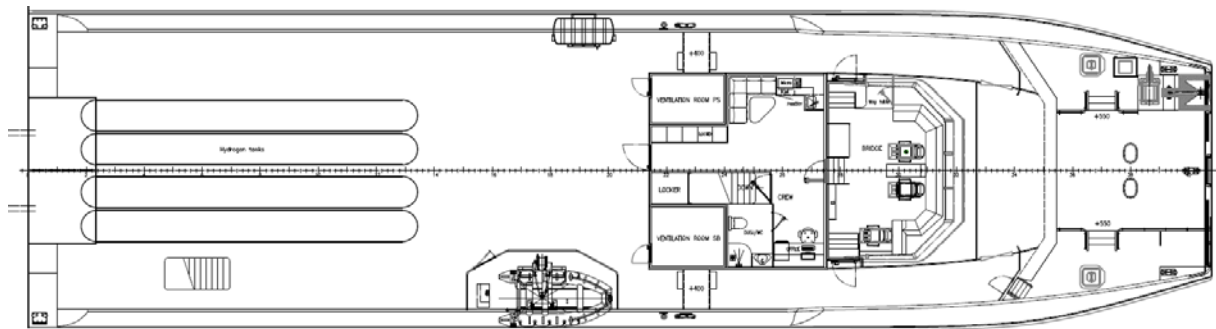


Figure 2.1 Plan view of the 01 Deck

During discussions in the HAZID it was concluded that fuelling connections should be moved to the 01 deck to achieve physical separation from areas likely to be occupied by passengers.

Previous designs have featured the storage tanks below the Main Deck, in the space between the two hulls. This has been abandoned, for the following reasons

- Difficulties with achieving sufficient stiffness in the vessel's construction
- Risks associated with straddling collisions

The fuel cell assemblies will be located in two Fuel Cell Compartments, as indicated on the plan view of the Main Deck below.

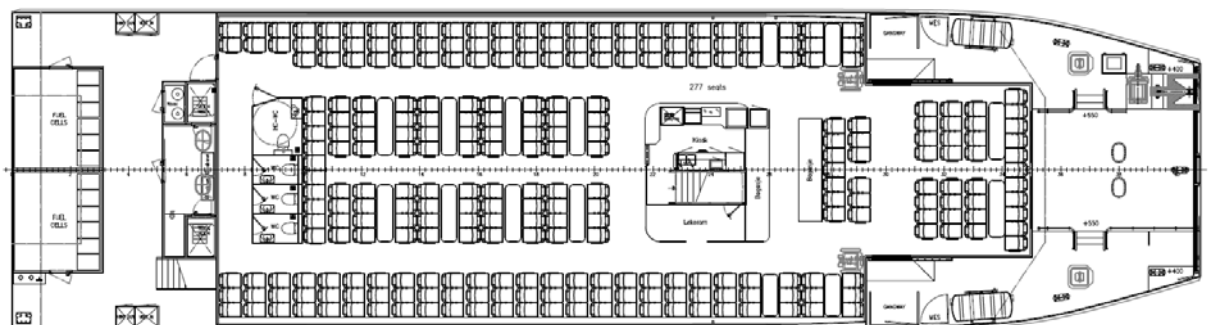


Figure 2.2 Plan view of Main Deck

Fuel cell assemblies will be located near the forward bulkhead so that the aft bulkhead can be used for explosion relief panels and vent explosions to the area aft of the vessel, which is deemed the area least likely to be occupied by other vessels or bystanders.

3 HAZID Methodology

A HAZID (Hazard Identification) is a structured review of the elements of a design intended to highlight the major hazards associated with the design at hand. The review is a sequential process following the graph below.



The guide words to be applied are listed in the table below.

Category	Guide Word
Fire and Explosions	<ul style="list-style-type: none"> • Leakages • Ignition sources • Detection • Possibility for escalation • Fire fighting • Passive fire protection • Explosion overpressure and ventilation
External impacts	<ul style="list-style-type: none"> • Ship collision • Drifting objects
Environmental loads	<ul style="list-style-type: none"> • Wind • Waves • Temperature
Other situations of hazards and accidents	<ul style="list-style-type: none"> • Loss of power or other utilities

The project has not presented a risk matrix, so in lack of this, it was agreed in the HAZID session that risks be ranked as follows in order to assist prioritizing efforts;

- 1 – Low
- 2 – Medium
- 3 – High

4 HAZID Findings

The complete HAZID records is included in Appendix A. There are, however, a few aspects that need special emphasis, and these are listed below.

Key observations:

- According to code [4, page 78], the fuel cell compartments are category A rooms according to SOLAS Ch. II-2, and shall be fitted with fixed fire protection systems. However, available fire fighting systems which are suitable for other fuels have negative effects or are otherwise unsuitable for Hydrogen applications. The industry has not yet developed suitable solutions for active fire protection, and alternative solutions should be pursued according to [1].
- Ignition energies for Hydrogen are very low, and electrical bonding to prevent static discharges is highly important. Carbon fiber is an electrical conductor, but care must nevertheless be taken to ensure that all items are securely earthed.
- Hazardous zone classification must be according to ATEX Gas group IIC [5] and to the DNV rules [4] section 3, chapter 7.2.

5 References

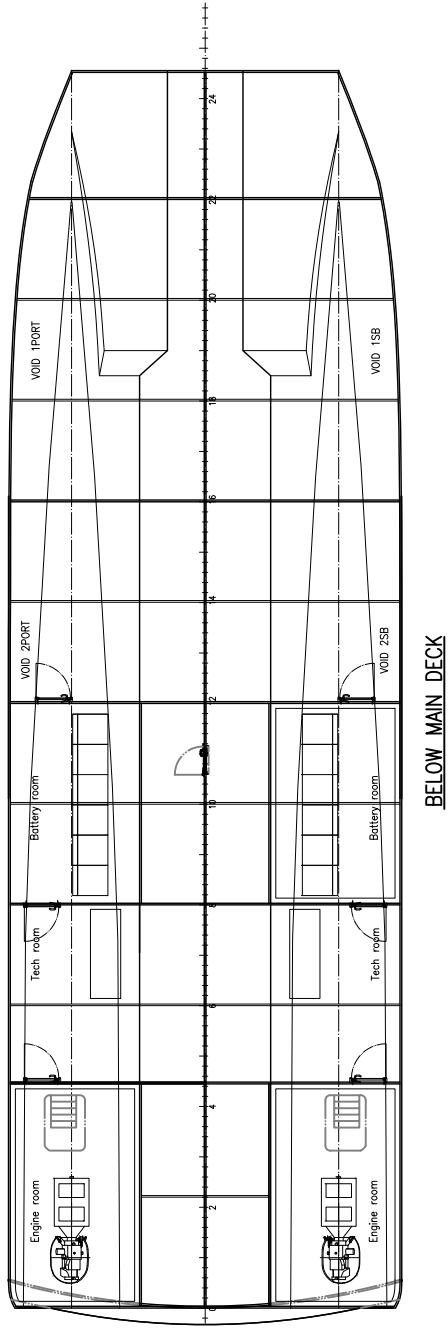
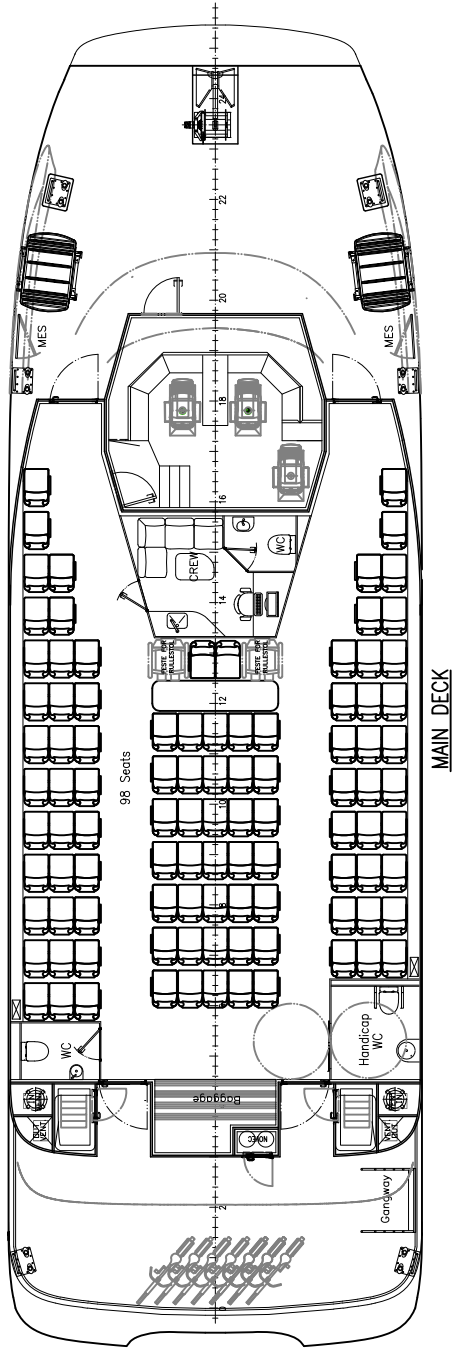
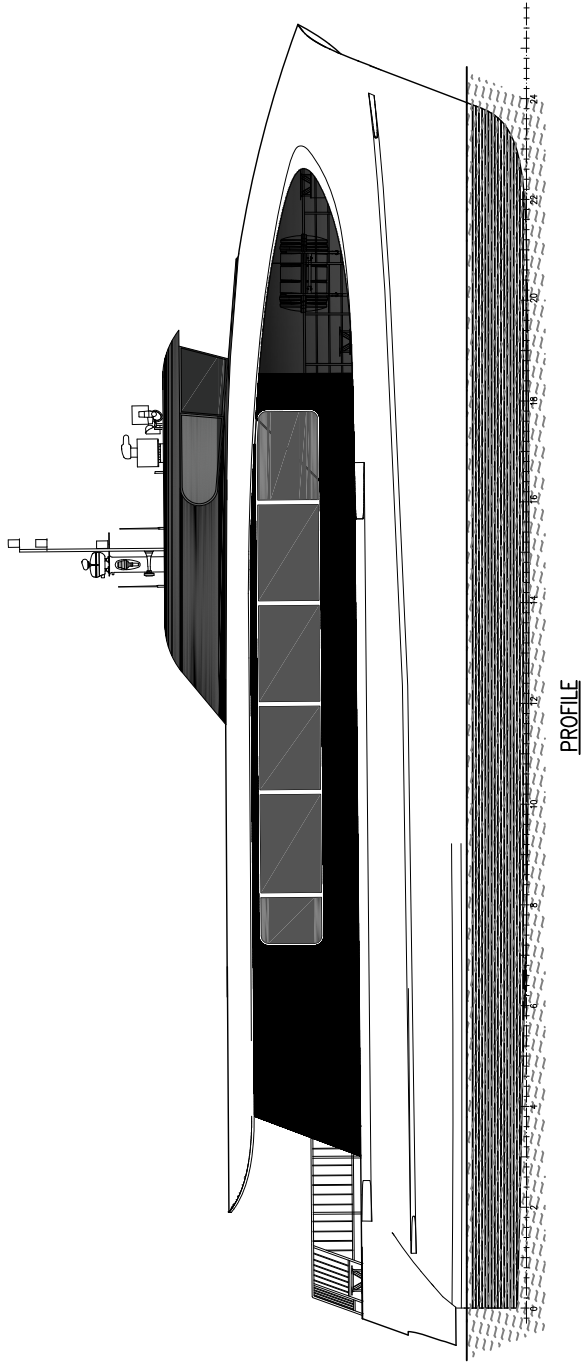
- [1] International Maritime Organization, Guidelines for the Approval of Alternatives and Equivalents as Provided for in Various IMO Instruments, MSC.1/Circ.1455, 24.06.2013
- [2] 000-101-00000-T-1 - General Arrangement, 15.05.2019
- [3] Resolution MSC.391(95) Adoption of the International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels (IGF CODE)
- [4] DNV GL Rules for Classification, Part 6 Additional class notations, Chapter 2 Propulsion, power generation and auxiliary systems, Amended July 2018
- [5] Explosive atmospheres, Part 36: Non-electrical equipment for explosive atmospheres, Basic and method requirements, NS-EN ISO 80079-36:2016
- [6] Veiledning om kjemiske lager for energi – maritime batterisystemer, Norwegian Maritime Authority, RSV 12-2016.

APPENDIX A – HAZID Records

ID	Scenario	Causes	Associated Risk	Risk Rank	Safeguards	Alternative design solutions	Strategy to control risk	Recommendations
IN TRANSIT								
1	Side collision			Medium			Deformation zone deemed adequate	Accelerations to be communicated to system suppliers to ensure that correct loads are incorporated
2	Stern collision		Leakages in storage or fuel cell systems	Low			Stern collisions deemed unlikely in transit	Accelerations to be communicated to system suppliers to ensure that correct loads are incorporated
3	Frontal collision		Leakages in storage or fuel cell systems	Medium				Accelerations to be communicated to system suppliers to ensure that correct loads are incorporated
4	Leak close to tank		High pressure relief of Hydrogen to air, possible ignition	High				Approach tank manufacturer to ascertain whether the tank is fitted with any quick shut-off mechanisms or systems, and present FMECA for these for assessment.
5	Weather corrosion/damage on tank	To be determined in system FMECA	Risk of exposing aft lantern to explosive Hydrogen clouds	High		Consider fiber optic transmission of light from a source outside ATEX zone or positively pressurised lantern housing	Avoid contact between light source and Hydrogen	Obtain documentation from system vendor, and seek ATEX approved solution. Lantern must be visible from a distance of at least 2 nautical miles.
6	Loss of hydrogen power	To be determined in system FMECA	Hydrogen has a reverse Joule-Thompson effect, i.e. it heats up when pressure is dropped. Not known	Low			Unlikely that auto-ignition temperature (500 °C) will be reached.	
7	Leakage in FC room	To be determined in system FMECA	Explosion Explosion Fire	Low Low High	Battery back-up power - Ventilation system - FC compartments to be gas tight towards other enclosed spaces of the ship, including pipe and cable penetrations - Explosion panels - Hydrogen detectors located inside fuel cell stacks, in the FC rooms, and in the vent mast - Blast rating on walls towards deck areas - Ceiling of FC compartments to be steadily ascending towards outlet duct to prevent Hydrogen accumulation, including when ship is listing. Refer to [4], sec. 3, ch. 5.		Battery capacity is adequate to reach emergency harbours along the route Explosion relief panels	Operating company should designate emergency harbours along the trafficated routes and verify that battery capacity will be adequate to safely reach at least one such location from anywhere along the route. Doors between FC rooms and open deck to be oriented so that they open into the rooms. This is to ensure that pressure in the event of an explosion pushes the doors onto their frames rather than burst open. Define representative explosion scenario(s) and conduct simulations to determine explosion pressure distributions for: - Sizing of explosion relief panels - Verification of deck and bulkhead integrity Define representative fire scenario(s) in fuel cell compartment and conduct simulations in order to verify integrity of decks and bulkheads to ensure that events do not spread to other parts of the vessel.
			According to [4], sec. 3, ch. 6.2 the fuel cell compartments shall have A60 fire insulation to all surrounding spaces. Concern was raised whether Hydrogen gas may permeate the insulation and pose a latent fire risk.					Obtain insulation vendor data to clarify whether insulation can be Hydrogen saturated.

ID	Scenario	Causes	Associated Risk	Risk Rank	Safeguards	Alternative design solutions	Strategy to control risk	Recommendations
	Fire in Fuel Cell Compartment	See above		High	According to [4], sec. 3, ch. 8.3.4, a detected leakage shall cause shutdown of Hydrogen supply and ignition sources in the Fuel Cell compartment. Additionally, a detected fire shall cause shutdown of the ventilation system and activation of the fire fighting system. See recommendation, where this is being challenged.	Must be developed		According to code [4, page 78], the fuel cell compartments are category A rooms according to SOLAS Ch. II-2, and shall be fitted with fixed fire protection systems. However, available fire fighting systems which are suitable for other fuels have negative effects or are otherwise unsuitable for Hydrogen applications. The industry has not yet developed suitable solutions for active fire protection, and alternative solutions should be pursued according to [1].
8	Fire in engine room			Medium	Fire detection in the engine room will cause a shutdown and depressurisation of the corresponding fuel cell compartment		Detection, fire fighting and fire insulation	Engine rooms must be fitted with adequate fire insulation to prevent fire migration to the FC compartments. (A60)
9	Passenger access near tanks/connections	Tanks to be located on upper deck, where also passengers may be allowed		Medium	Limited access to areas with connections and tanks		Areas with tanks/connections will be on upper deck and access will be restricted	Consider need for separation between public area and storage tanks
DOCKED								
10	DSB consent to operate shore facilities	DSB is likely to require documentation in order to approve storage and bunkering operations. Regulation for large accidents (Storulykkeforskriften) is valid for stored amounts over 5 tons of Hydrogen.		Info				<u>NOTE:</u> <i>Obtaining consent for operating shore facilities is not included in the scope for this project</i>
11	Leak during bunkering	To be determined in system FMECA	Hydrogen accumulation under upper deck in an area which may be available for public.	High		Move bunkering interface to 01 deck, so that it is physically separated from areas open to public. The added benefit is that it will not be placed below a deck which may accumulate gas if released. Earthing is of high importance, regardless of interface location.	Separation between bunkering and passenger areas	Define scenarios for CFD simulation based on bunkering system FMEA. CFD should be used to demonstrate that onshore ignition sources are not exposed to flammable Hydrogen clouds. E.g. Building ventilation inlets, railway in Trondheim etc. Define scenario(s) for dispersion calculations / simulations to establish safety zones and exposure of personnel and 3rd parties.
12	Vessel drift off during bunkering			Medium	Procedure for mooring		Procedure	A procedure must be developed to ensure that mooring for bunkering is secure. Further, there must be a procedure in place to ensure that fuelling hose is disconnected prior to leaving the docking location, in addition to technical solutions to prevent significant Hydrogen release if disconnection is forgotten.
13	Fire or explosion during bunkering			Medium	Grounding, ATEX zoning			Common earthing to prevent static discharges

ID	Scenario	Causes	Associated Risk	Risk Rank	Safeguards	Alternative design solutions	Strategy to control risk	Recommendations
14	Battery charging during bunkering	It is likely that battery charging and Hydrogen fuelling will take place simultaneously.		Low	Plug for charging to be located outside ATEX zone			The HAZID team did not identify any reasons why simultaneous fuelling and charging can take place, but emphasized the importance of common earthing. It should be noted that the construction material (Carbon Fiber) is an electrical conductor, whereas paint usually is not. Consider time for fuelling and whether the fuelling operation can be performed when no passenger transfer takes place.
15	Passenger transfer	Embarking and disembarking may take place at the same time as bunkering is performed	Simultaneous activity, little control of smoking bans, use of cameras with flashlights, mobile phones etc.	Medium				
SERVICE								
16	Hydrogen leak in roofed hall	Maintenance / repair at shipyard		Medium	Run down H2 tanks before entering hall		Removal of Hydrogen prior to yard arrival	Should be included in operating procedures
GENERAL DESIGN								
17	Material stress on tank	When pressurised, the tank is expected to expand	Stresses on connection nozzles	Medium			Piping design and fixation of tanks	Ensure that tanks are fixed so that nozzle stresses can be managed during piping design in tank connection space. Simultaneously, tanks must be fixed in such a way that they remain in place in the event of a frontal collision. Tank vendor to demonstrate that tanks can sustain collision loads without loss of containment. The FC rooms should be fitted with dedicated ventilation systems with inlets near deck level and free vent from the top of the rooms. In order to limit salt and humidity, the inlet air should be taken from the upper deck. Class requirements for ventilation stated in [4], sec. 3, ch. 5.3. Ventilation rate to be sufficient to dilute the Hydrogen concentration below the flammable range in all scenarios, including fuel pipe rupture.
18	Ventilation System for FC rooms	According to the DNV code [4, sec. 3, ch. 5.3.1.1], machinery spaces such as the FC rooms should be fitted with extraction ventilation. This is not a feasible solution as extraction blowers for compatible with ATEX gas group IIC are not available.		Info			Dilution of leakages	
19	Double wall piping	Transfer from the tank connection space to the FC compartments will be through fully welded, double walled piping, according to [4], sec. 3, ch. 4.1.		Info			Prevention of leakages	
20	Battery backup power	Battery packages will be specified to requirements for marine use [6]. No conflict or additional challenges are foreseen by the combination of battery and Hydrogen power.		Info				Ventilation as per [4], sec. 1 ch. 2.3, fire safety as per [4], sec. 1 ch. 2.4.
21	Area classification	Hydrogen gives rise to area classification according to IEC 60079-20, with temperature class T1, gas group IIC		Info			Ignition source control by use of ATEX equipment	Prepare area classification design according to [4], sec. 3, ch. 7.2. To apply to all situations including bunkering.
22	Training of personnel	General operation		Info			Competence	Formal training requirements are currently under consideration by the Norwegian Maritime Authority.



MAIN DIMENSIONS:

Length (Loa) 27,00 m
 Length (Lwl) ~23,90 m
 Breadth 7,80 m
 Depth Maindeck 3,40 m
 Draft 1,00 m
 Passengers 98

Rev.	Om. /opp.	Dato	Beskrivelse	Laget av	Kontrollert	Godkj.
15.08.2019	TBA		Plotted			
	Stand.check.		Approved			

This drawing and the design is our property and must not be disclosed to any third part without permission.

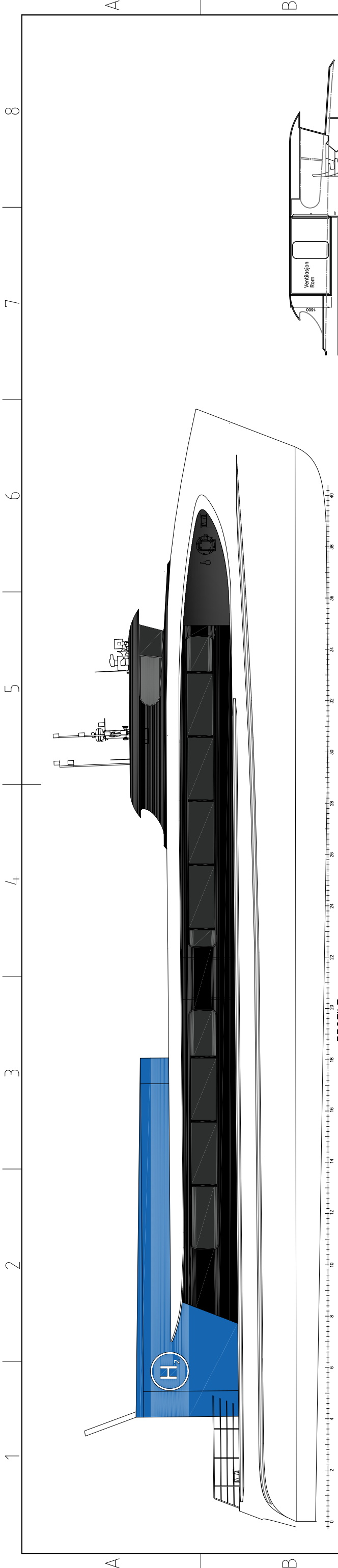
Date 15.08.2019
 Drawn TBA
 Checked Stand.check.
 Title GENERAL ARRANGEMENT

Scale 1:150

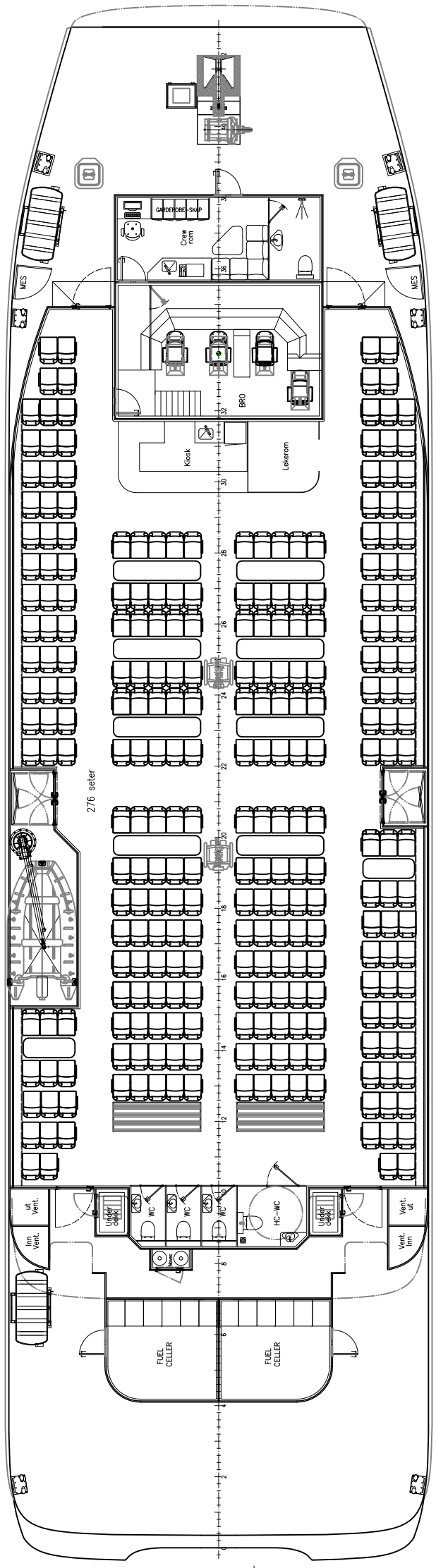
Project/Vessel Trøndelag

Brødrene Aa AS
 N-6629 Høyen, NORWAY
 Tel: +47 57868700
 Fax: +47 57869114
 E-post: broa@broa.no - www.broa.no

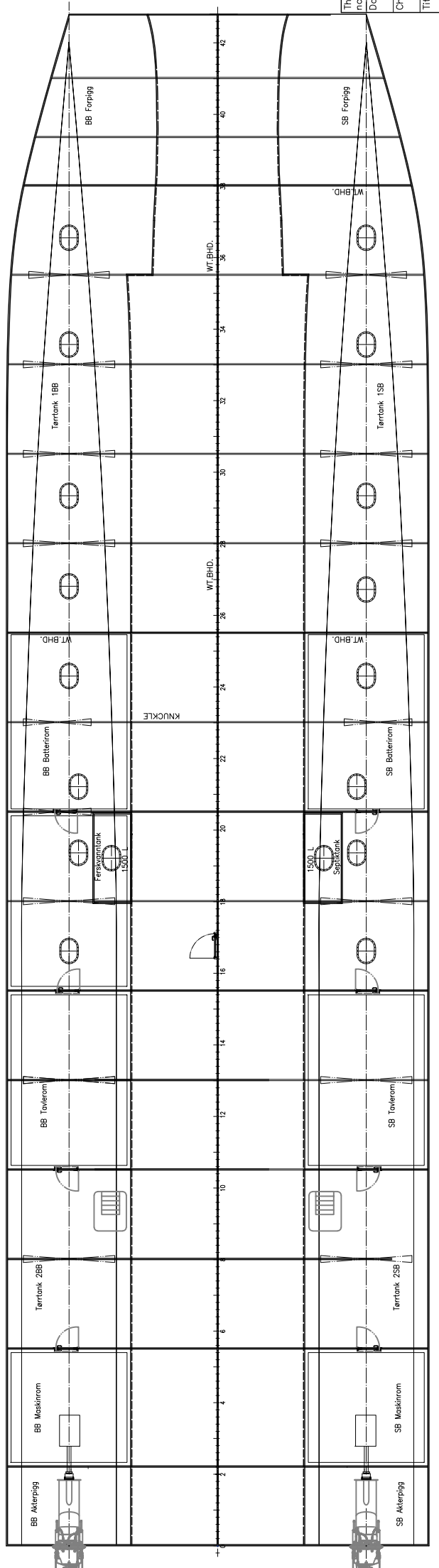
Drawing no. 000 - 101 - 00000 - T - 1
 Rept. for
 Rept. by



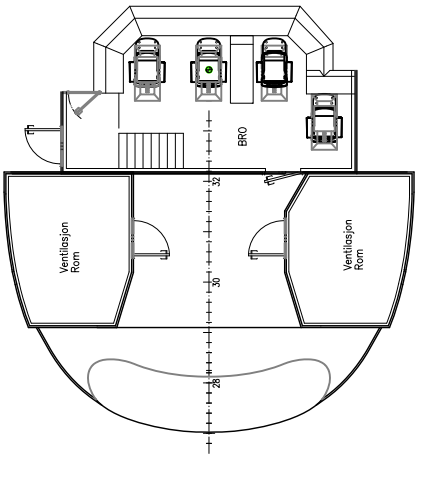
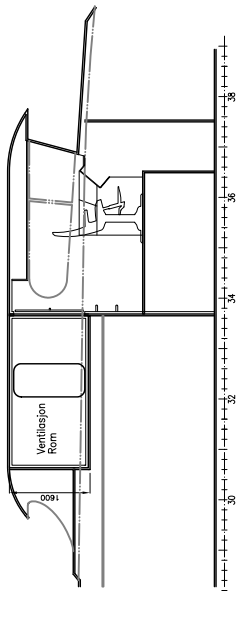
PROFILE



MAINDECK



BELOW MAINDECK



Styrehus & Ventilasjon

HOVED DIMENSJONER:
 Lengde (LOA) 43,80 m
 Lengde (LVL) 42,00 m
 Bredder 11,80 m
 Dybde til hoveddekk 3,65 m
 Passasjerer 276

Rev.	Area	Date	Description	Constr	Chk'd	Appr.	Sign.
	Drawn	TBA	Plotted				
	Checked	26.08.2019	Approved				
Scale			1:150				

This drawing and the design is our property and must not be disclosed to any third party without permission.
 Date: 26.08.2019
 Checked: TBA
 Stand.check: Approved
 Scale: 1:150

Project/Vessel: Aero 40 Hydrogen

Brødrene Aa AS
 N-6629 Hyen, NORWAY
 Tel: +47 57868700
 Fax: +47 57869914
 E-post: broa@broa.no - www.broa.no

General Arrangement

Drawing no. 000 - 101 - 00000 - T - 1

Repl. for: ---
 Repl. by: ---

Rapport

Brødrene Aa og The Fjords viser vei med «Future of The Fjords» – tilbyr nullutslipps fjordcruise



Hovedforfatter: Trond Strømgren

Medforfattere: Anstein Aa, Ole Andre Aa

Oppdragsgiver: Brødrene Aa

Dato: 04.04.2019

Sted for utgivelse: Høyen

Finansiell støtte: Innovasjon Norge og Enova

Brødrene Aa og The Fjords viser vei med «Future of The Fjords» – tilbyr nullutslipps fjordcruise

Turistnæringen opplever stadig større fokus på kombinasjonen av miljøprofil og kommersiell bærekraft. Denne artikkelen omhandler hvordan Brødrene Aa har fanget opp markedets behov, løst en rekke tekniske og regulatoriske utfordringer og designet og bygget en helt ny type miljøvennlig fartøy med nullutslipps løsning. Siste del av artikkelen gir innblikk i erfaringene etter nesten ett års drift av fartøyet.



Foto 1. «Future of The Fjords» i Nærøyfjorden. Foto: Sverre Hjørnevik

Tekniske data for «Future of The Fjords»

Byggenummer: 291

Byggeår: 2018

Rederi: The Fjords DA

Loa: 42,49 m

Bredde: 15,2m

Pax: 400

Byggemateriale: Karbonfiber sandwich

Elektromotorer: 2 x 450 kW

Batterisystem: 2 x 900 kWh

Utfordringer i transportsektoren krever nye løsninger

Maritim sektor står for om lag 2,5 % av de globale klimagassutslippene. For å nå de internasjonale klimamålene må det frem mot 2050 innføres omfattende tiltak som reduserer utslipp og miljøpåvirkning fra skipsfarten. I 2011 vedtok International Maritime Organization (IMO) reguleringer for framtidige utslipp av klimagasser fra internasjonal skipsfart. To år senere fulgte EU opp med en strategi for å kutte

40-50 % av utslippene fra maritim sektor innen 2050. Utslppsreduksjonene må komme ved å effektivisere drift, forbedre eksisterende løsninger samt ta i bruk ny og innovativ miljøteknologi.

Brødrene Aa er verdensledende på design og bygging av hurtiggående lettvekts karbonfiber passasjerbåter. Firmaet arbeider kontinuerlig med å utvikle mer driftsøkonomiske og miljøvennlige fartøy. De viktigste enkeltfaktorene for å oppnå dette er reduksjon av vekt og energiforbruk. Bruk av karbonfiber som byggemateriale i skrog, dekk og overbygg samt utvikling av nye produksjonsmetoder for strukturbygging har gitt gode resultat. Siden 2002 har Brødrene Aa utviklet og produsert over 60 karbonstruktur fartøy med lengde fra 20 til 50 meter.

I 2014 utviklet og bygde Brødrene Aa «M/S Terningen» til ruta Trondheim - Kristiansund. Båten erstattet aluminiumsfartøyet «M/S Ladejarl» fra 2002. Karbonstrukturen på «M/S Terningen» har betydelig lavere vekt og opererer derfor i samme hastighet med lavere motoreffekt. Dieselforbruket på ruta er redusert med 40 % eller omkring 1,3 millioner liter per år. CO₂-utslippene er redusert med 3.370 tonn CO₂-ekvivalenter per år og NO_x-utslippene med 55 %. «M/S Terningen» alene bidrar med 3,5 % av det årlige nasjonale kutt målet i sektoren «Luftfart, sjøfart, fiske og motorredskaper». Samlet bidrog fartøyene Brødrene Aa leverte i 2014 med 10 % av nasjonale kutt.

Turistnæringen ønsker styrket miljøprofil

I 2015/2016 designet og utviklet Brødrene Aa den nye fartøytypen Seasight, en 43 meter lang karbonfiberstrukturkatamaran med plass til 400 passasjerer. Hensikt var å tilby et fartøy med redusert eller null utslipp for å tilfredsstille krav i et stadig økende og mer miljøbevisst internasjonalt turistmarked. Seasight-klassen er designet for å gi passasjerene best mulig utsikt fra sine oppholdsplasser, både på dekk og i innvendige salonger. Universell utforming, moderne design og en grønn profil var krav fra bestiller.

«Vision of The Fjords» ble bygd som batteri/diesel-hybrid for ruta Flåm-Gudvangen og overlevert operatøren The Fjords i juli 2016. Fartøyet opererer med ren batteridrift i verdensarvområdet Nærøyfjorden innerst i Sognefjorden. Transitt til og fra Flåm går med dieseldrift. I april 2018 ble søsterskipet «Future of The Fjords» levert til drift i samme rute. Fartøyet er et rent nullutslippsfartøy med 100 % batteridrift. Bestiller hadde klare ønsker om å redusere utslipp, tydeliggjøre miljøprofil, styrke kundeopplevelsen samt redusere driftskostnadene. «Future of The Fjords» har 1800 kWh batteripakke og kan gå 2,5 timer med 16 knops fart før batteriene må lades. Fartøyet kan med god margin gå de 19 nautiske milene mellom Flåm og Gudvangen uten etterlading underveis. Designet er tilrettelagt for hydrogenbaserte framdriftsløysinger som rekkeviddeforlenger.



Figur 1. «Future of The Fjords» går i rute mellom Flåm og Gudvangen i indre del av Sognefjorden. Gudvangen er lokalisert Nærøyfjorden verdensarvområde. Skjermdump: www.marinetraffic.com

Batteriteknologi har ikke tidligere vært brukt på denne typen fartøy og ruter. Konseptet omfattet den nyeste batteriteknologien for å oppnå nødvendig energitetthet. Det estimerte lagringsbehovet for energi på 2000 kWh gjorde konseptet til det største batteriprojektet innenfor marin transport i Norge noen gang i forhold til ytelse. Utvikling og produksjon av «Future of The Fjords» kostet 130 MNOK. Tilpasning og utvikling av fartøyet for ren batteridrift utgjorde 34 MNOK. I tillegg var det nødvendig med omfattende investeringer i infrastruktur på landsiden og til oppgradering av eksisterende ladestasjoner.

I august 2016 ble «Vision of The Fjords» kåret til «Ship of the year» under den internasjonale shippingmessen SMM Hamburg. I september 2018 fikk også «Future of The Fjords» i kombinasjon med PowerDock den samme utmerkelsen.

Videreutvikling av Seasight-klassen

Bakgrunnen for bygging av «Future of The Fjords» var at operatøren The Fjords gav Brødrene Aa følgende utfordring: Kan kombinasjonen av moderne batteriteknologi og en lett karbonsandwichkonstruksjon med optimalt skrogdesign realisere et funksjonelt fartøy som kan operere med nullutslipps framdrift i opptil 3 timer med 10-18 knops hastighet og ta 450 passasjerer?

Utvikling av et helelektrisk fartøy med rekkevidde og behov som spesifisert krevde en rekke nye løsninger som ikke var tilgjengelig i det maritime markedet. Brødrene Aa med samarbeidspartnere analyserte situasjonen og definerte ei rekke delutfordringer som måtte finne sin løsning for å realisere nytt fartøykonsept. Utfordringene var som følger:

- Utslippsfri drift
- Tekniske og operative løsninger skal ha kommersiell bærekraft
- Minimalisere energiforbruk
- Utvikle optimale batteri- og ladeløsninger
- Fartøydesign skal hindre bølgeskapt erosjon i strandsonen
- Teknologiløsninger skal være overførbare i det norske og internasjonale turistmarkedet

- Implementere mulighet for hydrogenteknologi i design

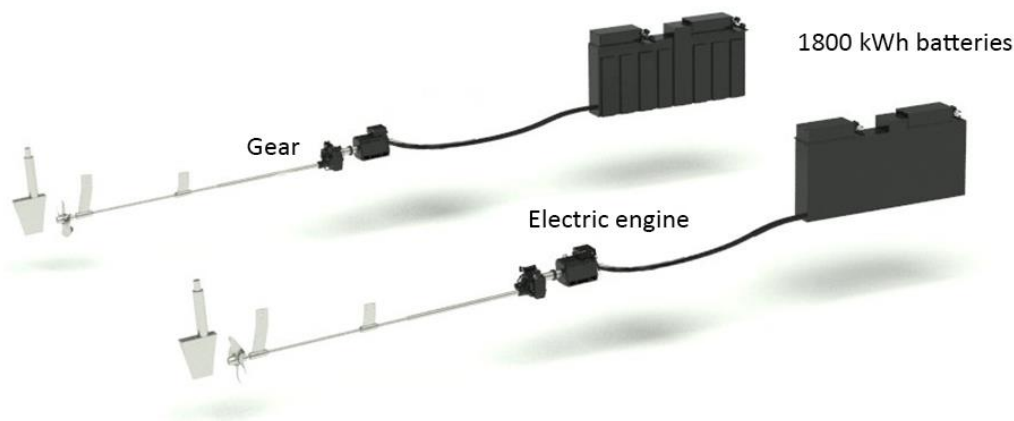
De følgende seksjonene skildrer de ulike komponentene og elementene i et helelektrisk fremdriftssystem. Underveis i arbeidet med «Future of The Fjords» hadde Brødrene Aa tett dialog med DNV GL, sjøfartsmyndighetene og flere viktige underleverandører. Datterselskapene Paradis Nautica og Marcontrol har vært tungt involvert i prosjekteringsfasen.

Fremdriftssystem med energi fra batteri

Systemoppbygging av fremdriftssystemet for fartøy med batteridrift skiller seg i vesentlig grad fra fartøy med dieselmotorer. Løsningen på «Future of The Fjords» er designet og utviklet av Westcon Power & Automation. Et elektrisk fremdriftsanlegg består av følgende hovedkomponenter:

- Batterimoduler med styringssystem for lading og forbruk
- Omformere og tavler for landstrøm og lading
- Omformere fra likestrøm til vekselstrøm skipsnett
- Hovedtavler for kraftfordeling til forbrukere
- Kraftkabler og skinnerystemer for energidistribusjon ombord
- Elektriske fremdriftsmotorer med kraft og turtallsregulering
- Kontrollsystemer for fremdrift
- Kontrollsystem for kraftdistribusjon og lading
- Hjelpesystemer for kjøling, fjernstyring etc.

Løsningen for «Future of The Fjords» er vist i figur 2.



Figur 2. Drivline for «Future of The Fjords». Illustrasjon: Brødrene Aa

Nullutslipps drift

Drivlinja i «Future of The Fjords», med unntak av elektromotorene, er spesialutviklet av Servogear. All energi til framdrift og hotellast kommer fra elektrisk energi som er lagret i to batteripakker. To elektromotorer på 450 kW hver gir framdrift. Denne løsningen gir nullutslipps drift av fartøyet. CO₂-utslipp vil likevel inngå i energiforsyningskjeden dersom det brukes fossilt brensel til produksjon av en andel av den elektriske energien, f.eks. ved import av europeisk kraftmikstil Norge.

Kommersiell bærekraft

Det har stor verdi å ha en tydelig miljøprofil ved presentasjon av turistmål, særlig norsk uberørt og storslått natur. Erfaringstall fra «Vision of The Fjords» viser at det er betydelig betalingsvilje for

meropplevelsen ved å være om bord på elektrisk drevne fartøy sammenlignet med alternative dieselfartøy.

Konkurransen i turistmarkedet er hard og bestiller hadde ikke marginer for redusert netto inntjening for det nye fartøyet. Investeringen i et batterifartøy av denne typen var anslått til å være 20 % høyere enn for et dieselfartøy. Utfordringene for The Fjords ville være å forsvare merinvesteringen ved reduksjonen i driftskostnader og økt inntjeningspotensiale som ligger i en tydelig miljøprofil. Hensyn til pris var derfor et av kriteriene for valg av ulike komponenter som inngår i teknologiløsningene om bord i «Future of The Fjords».



Foto 2. «Future of The Fjords» sitt design gjør at passasjerene har utsikt og nærhet til naturen og omgivelsene fra alle steder på dekk. Designet er svært bra egnet for turistfartøy. Foto: Maria Górzynska

Elektrisk fremdrift er tilnærmet lydløs og er støymessig overlegen all annen teknologi som er tilgjengelig i dag. Dette er en fordel for all transport, men spesielt viktig i forbindelse med sightseeing der det ofte er guiding underveis og der nærhet til fugle- og dyreliv, natur og fossefall er en viktig faktor. Forskjellen i naturopplevelse fra konvensjonelle fartøy må oppleves. Design og miljøprofil gjør også at «Future of The Fjords» har stort potensiale for bruk til konferanser og andre tilstelninger utenfor hovedsesongen. Begge faktorene øker inntjeningen betydelig sammenlignet med eksisterende fartøy i turistnæringen.

Minimalisere energiforbruk

Det kreves omfattende analysearbeid for kartlegging og beregning av energiforbruk. Dette må analyseres i detalj for best mulig utnyttelse av tilgjengelig energi. Lav vekt og optimalt skrogdesign er de to viktigste faktorene for lavt energiforbruk. Karbonsandwichkonstruksjon er nøkkelen for å holde vekten nede. Brødrene Aa er verdensledende på bygging av lettvkts karbonfiberstrukturer. De arbeider kontinuerlig med å minimalisere vekt på skrog, struktur og alt utstyr om bord.

Vektoptimalisering gjelder blant annet utrustning som tavlesystem, kabler, elektriske drivere, elektromotorer og rørsystem. Vektreduksjon på elektriske komponenter får omtale i de påfølgende seksjonene. Rørsystemene om bord i «Vision of The Fjords» er for varmt og kaldt ferskvann og for

kjøling av elektromotorer, kraftelektronikk og batterisystem. Varmen blir gjenvunnet og brukes til vannbåren oppvarming av fartøyet. Brødrene Aa har brukt ny og lettere type rør om bord i «Future of The Fjords». Forenklete løsninger og bedre design gjør at det nye systemet er lettere enn i søsterskipet.

Felles for mange sightseeing- og turistfartøy er strenge krav til motorytelse og redusert energiforbruk. Båtene opererer i forholdsvis lav hastighet og rutene er ikke spesielt lange. Brødrene Aa hadde allerede et effektivt skrogdesign, men valgte å videreutvikle designet for å redusere skrogmotstanden ytterligere. 100 % drift med batteri og større batteripakker førte ikke til økt totalvekt av fartøyet. Siste generasjon batterier var lettere enn for «Vision of The Fjords» og fjerning av dieselmotor, drivstofftanker og tilbehør gav vektmessig rom for mye batteri. Nytt skrogdesign for redusert skrogmotstand medførte nye krav til dimensjonering av karbonstruktur.

Videreutvikling ble i hovedsak gjort ved å ta utgangspunkt i eksisterende 42 meters struktur og øke lengde på vannlinje og størrelse på volum for å tåle større vekt. Det måtte utføres globalanalyser og styrkeberegning av den endrede strukturen. Globalanalyser er en styrkebergningsmetode som omfatter hele båten. Utvikling av skroget ble gjort i samarbeid med Paradis Nautica, Sintef Marintek og SINTEF Ocean, blant annet ved testing i modelltank og gjennomføring av CFD-beregninger for ulike skrog og hastigheter. Resultatet var at skroget ble forlenget med 1,8 meter. Dette ville gi 5-10 % mindre energiforbruk som forventet effekt. FiReCo AS var samarbeidspartner ved optimalisering av styrkeberegning av struktur og som utførende part på globalanalyser. FiReCo er en FoU-institusjon med svært god erfaring på dimensjonering og materialoptimalisering på karbonstrukturer i større fartøy. Norsk Marinteknisk Forskningsinstitutt AS (MARINTEK) var også sentral samarbeidspartner og ble benyttet ved skrogutvikling og modelltesting. Bedriften er ledende på sitt felt.

Energi til hoteldrift utgjør 30-35 kW, tilsvarende omtrent 3-4 % av det årlige energiforbruket om bord. «Future of The Fjords» har store utvendige vindus- og dekkshusflater og store innvendig volum som skal varmes opp. Drift med opptil 400 passasjerer krever også en del energi til oppvarming av varmvatn. Brødrene Aa har optimalisert energiforbruket ved å ta i bruk led-belysning, varmpumper/varmegjenvinning og har isolert alle ytre skott godt for å redusere varmetap til ytre omgivelser.

Valg av drivlinje og type elektromotor, turtall og propelløsning er også avgjørende for energiutnyttelsen. Erfaringer fra «Vision of the Fjords» gav grunnlag for å utvikle en forbedret og optimalisert utgave av eksisterende permanentmagnet synkronmotor. Dette ble gjort av Westcon Power og Automation. God propelløsning kan gi opptil 5-10 % reduksjon av energiforbruk til fremdrift. På «Future of The Fjords» er det valgt relativt store propeller med lavt turtall.

Manøversystem, styresystem og kontrollsystem for propulsjon

Selv om fartøy og komponenter er utformet for lavest mulig energiforbruk er et optimalisert styringssystem en viktig faktor for å oppnå energimessig god driftsprofil. Slike system må tilpasses fartøyet. Et avgjørende prinsipp er at stor grad av autonom drift vil minimalisere energiforbruket. Styringssystemet for «Future of The Fjords» ble utviklet og bygd fra grunnen av. Det innebar omfattende programmeringsarbeid og utvikling av en simulator for testing og sertifisering av manøversystemet.

Konvertering til elektrisk drift krevde også en del komponenter som ikke var optimalisert for bruk på mindre og lette fartøy, spesielt med tanke på volum og vekt. Brødrene Aa og samarbeidspartnerne har nær dialog med underleverandører. Ved å definere behov og sette krav til vekt og funksjon for alle komponenter oppnådde Brødrene Aa noe vektreduksjon for manøversystem, styresystem og

kontrollsystem for propulsjon. Nye løsninger og valg av komponenter ble godkjent av DNV GL og Sjøfartsdirektoratet.

Optimale batteri- og ladeløsninger

Batteri har stort volum og høy vekt i forhold til lagret energimengde. Før «Vision of The Fjords» hadde ikke batteriteknologi vært brukt på denne typen fartøy og ruter. «Future of The Fjords» hadde et estimert lagringsbehovet for energi på 2000 kWh. Dette gjorde konseptet til det største batteriprojektet innenfor marin transport i Norge noen gang i forhold til ytelse. Erfaringer fra hybridløsningen på «Vision of The Fjords» var viktige for å kunne utvikle de beste løsningene for det nye fartøyet. De nye løsningene innebar et omfattende analysearbeid, utvikling av testregime, samt testing og verifisering av analysene.

Det er generelt svært begrenset plass til batterisystem om bord i passasjerfartøy. Med «Future of The Fjords» som pilotfartøy for 100 % batteridrift måtte Brødrene Aa og partnerne optimalisere og tilpasse monteringsystem og kjølesystem for batteripakkene. Løsninger som var utviklet for automotiv industri er svært kompakte og flere av disse løsningene ble tilpasset maritim bruk.

Westcon Power & Automation hadde ansvar for energisystemet og måtte ta i bruk det nyeste innen kraftelektronikk, motorteknologi og batteriteknologi for å oppnå nødvendig løsning for helelektrisk fremdriftsløsning. Det måtte på plass et omfattende sikkerhetsregime for å ivareta passasjersikkerheten ved anvendelse av batterier med flere MWh energiinnhold. Westcon Power & Automation gjennomførte analysearbeidet for kartlegging av risiko. Disse analysene var blant annet direkte knyttet opp til batterisystemet sitt energiinnhold. Brannteknisk var det en utfordring å installere en så stor batteripakke i et lettbygd komposittfartøy. FiReCo AS var involvert utarbeiding av branntekniske løsninger.

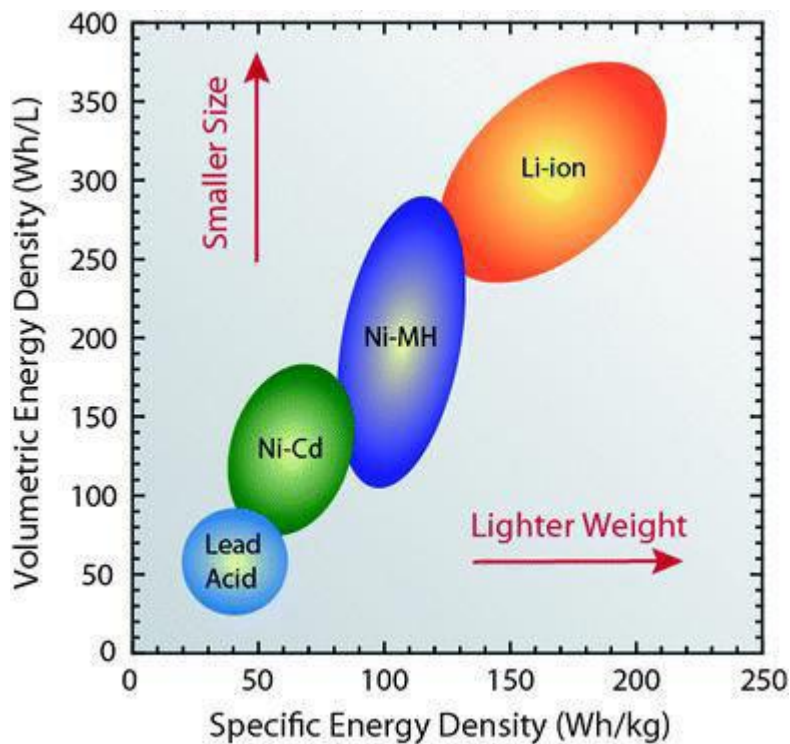
Etter sammenstilling av Westcon Power & Automation sine batterianalyser og Brødrene Aa sine energianalyser for framdrift valgte aktørene å installere to lithium-ionbatteripakker med en samlet kapasitet på 1800 kWh. Det er brukt lithium-ionbatterier fordi denne batteritypen har lav vekt og er luftkjølte. Batteriene ble levert av bedriften ZEM, og det er en batteripakke i hvert skrog. DNV GL (klasse for batteridrevne skip) og Sjøfartsdirektoratet godkjente batteriløsningene. Se tabell 1 for data.

Tal celler	Vekt	Volum	Kapasitet	Max ladeeffekt	Antall ladesykluser
3808	8400kg	Ca. 21 m ³	1800 kW/900 kWh	1800 kW	3000 – 10000

Tabell 1. Data for begge batteripakkene samlet

Antall ladesykluser er svært avhengig av hvordan ladingen utføres. Faktorer som påvirker er ladeeffekt, hvor mye energi som overføres per lading og hvor høyt opp man lader batteriene.

De siste tiårene har det vært stor utvikling av energitetthet for batteri. Figur 3 viser utvikling for volumetrisk energitetthet og tetthet i forhold til vekt.



Figur 3. Batteriteknologien har utviklet seg betraktelig de siste tiårene. Figuren viser hvordan energitettheten har blitt stadig bedre. Illustrasjon fra publikasjon: Veerapandian Ponnuchamy; Towards A Better Understanding of Lithium Ion Local Environment in Pure, Binary and Ternary Mixtures of Carbonate Solvents : A Numerical Approach, januar 2015

Basert på data for energisystemet spesialtilpasset Brødrene Aa deretter fartøyets arrangement. De store batteripakkene medførte blant annet vurderinger av forhold rundt eksplosjonsrisiko og branntekniske egenskaper samt nye krav til oppbygging av skrogstruktur. Batterirommene har mekanisk ventilasjon.

Spesialtilpassing av fartøyarrangement inkluderte romarrangement, isolering og brannbeskyttelse, eksplosjonssluker, brannslukkesystem og brann- og gassdeteksjonssystemer. Eksplosjonssluker ble utviklet som nytt konsept til «Vision of The Fjords», og samme konsept ble brukt på «Future of The Fjords». Lukene fungerer som trykkavlaster dersom det oppstår gassdannelser fra batteripakkene og denne gassen antennes. Eksplosjonsslukene åpner seg ved overtrykk og slipper ut trykket ved eksplosjonsartet gassbrann. Dette vil hindre deformasjon av hoveddekk eller skrogstruktur. Design og dimensjonering av skrog og overbyggstruktur gav grunnlag for dimensjoneringsrapport og globalanalyse, utført av FiReCo. Ferdig konsept for skrog, overbyggstruktur og fartøyarrangement ble godkjent av DNV GL.

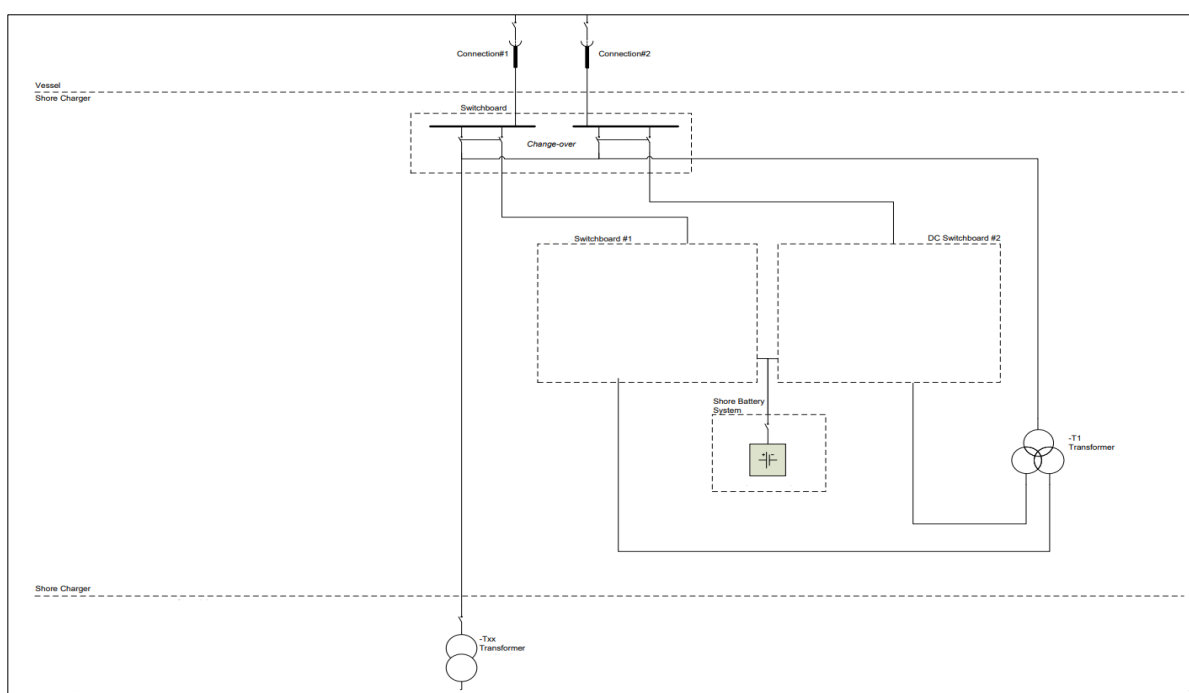
Det var allerede etablert ladeløsninger for «Vision of The Fjords» i Flåm og Gudvangen. De to ladestasjonene hadde hver en kapasitet på 1,2 MW. Dette er en stor last for det lokale kraftnettet. «Future of The Fjords» ville ha behov for en ladeeffekt på 2,4 MW. Dette var det ikke kapasitet til i kraftnettet. The Fjords, Brødrene Aa og Westcon Power & Automation tok utfordringen med å utarbeide nye ladeløsninger. De to sistnevnte aktørene har svært god kompetanse og bruker analyseverktøy som gir de beste løsningene for overføring og lagring av elektrisk energi.

Med 2,4 MW ladeeffekt var det viktig og nødvendig å optimalisere løsningene for overføring og lagring av elektrisk energi. Løsningene måtte være samstemte for å sikre høy overføringseffekt, minst mulig ladetid, lang batterilevetid, opprettholde batteriene sin ytelse og systemoperasjon ved høyt antall ladesykluser. Samtidig måtte energitapet være lavest mulig og pris på batteri og ladesystem måtte være

harmonisert i forhold til optimal drift og alle trykghetsaspekt. På grunn av vektbegrensninger var det viktig at ladetrafoer og mest mulig av ladesystemet ikke ble plassert om bord.

Det var en utfordrende prosess å utarbeide løsninger for lading. Ruteønstret til «Future of The Fjords» var lagt opp til fem avganger per dag, med 30 minutt liggetid ved kai i Flåm mellom hver tur. The Fjords hadde krav til maksimalt 20 minutt ladetid mellom avgangene på dagtid. Selv om det lokale linjenettet i Flåm kunne ha kapasitet til å lade batteripakkene med lav effekt i løpet av natta, ville det ikke være nok kapasitet i nettet til å topplade batteripakkene mellom hver avgang på dagtid. The Fjords, Brødrene Aa og Westcon Power & Automation utviklet konseptet PowerDock som løsning.

Konseptet består av en flytebrygge med batteripakker lagret under dekk. PowerDock-konseptet gir løsning for å kunne overføre store energimengder på kort tid på steder der kraftnettet er for svakt til direkte lading av et fartøy eller annen installasjon. Størrelse på batteripakkene blir tilpasset lagringsbehovet for energi. En fordel med PowerDock er at lading av batteripakkene kan skje med relativt lav effekt døgnet rundt eller med høyere effekt i tidsperioder med lav belastning på kraftnettet eller når det er rimelig tilgang til elektrisk energi. Figur 4 viser skjematisk løsning for overføring av energi fra kraftnett på land og batteripakke til fartøy.



Figur 4. Prinsippkisse for overføring av energi til batteri om bord i fartøy. Elektrisk energi fra land kommer enten direkte fra nettet (Txx Transformer), fra PowerDock eller batteripakke på kai (Shore Battery System) eller begge deler i kombinasjon. Connection#1 og Connection#2 er koblet til hver sin batteripakke om bord. Design ved Westcon Power & Automation, august 2018

«Future of The Fjords» har dobbel ladeeffekt i forhold til søsterskipet. Av praktiske årsaker var det ønske om å bruke de samme kablene til lading av begge fartøyene. For å kunne overføre dobbel effekt til nybygget ble ladespenningen økt fra 400 volt AC på «Vison» til 1000 volt DC på «Future». Endring fra vekselstrøm til likestrøm ble gjort fordi likestrøm krever mindre tverrsnitt enn vekselstrøm for samme strømstyrke.



Figur 5 og foto 3. Brødrene Aa og Westcon Power & Automation sitt nytviklede konsept PowerDock løser utfordringen for lading når nettet på land har lav kapasitet. Illustrasjonen øverst viser prinsippskisse av konseptet. Foto nederst viser PowerDock'en i bruk av «Future of The Fjords». Figur: Brødrene Aa. Foto: Lars Haugnes

Konseptet PowerDock ble tatt i bruk i Gudvangen i september 2018 for levering av energi til «Future of The Fjords». Fartøyet får tilført energi ved hver stopp. PowerDock'en i Gudvangen har batterikapasitet på 700 kWh. Dock'en overfører energi via to ladekabler som hver kan levere 1,2 MW effekt til hver sin batteripakke, se foto 4. Kablene er festet til hvert sitt ladetårn som gjør det enkelt å koble kablene manuelt til ladepluggene om bord. I tillegg til batteriene utgjør to trafoer og kraftelektronikk hovedkomponentene på PowerDock'en. Ved økt krafttilgang fra land kan PowerDock-konseptet enkelt oppskaleres i forhold til kapasitet. Det er også mulig å øke ladeeffekten dersom nye batteriløsninger åpner for hardere lading. I Flåm er det montert to tilsvarende system på land i to containere.



Foto 4. Tilkobling av ladeplugg på «Future of The Fjords». Det brukes to plugger til lading av batteripakkene. Hver plugg kan lade med 1,2 MW effekt. Foto: Severin Synnevåg

Størrelsen på PowerDock'en er 40 x 5 x 3,5 meter (lengde, bredde, høyde). Praktiske erfaringer viser at «Future of The Fjords» får overført ca. 800 kWh i løpet av 20 minutt liggetid. Energien blir då overført i parallell fra PowerDock'en og nettet på land. «Future of The Fjords» har installert 1,8 MWh batterikapasitet. PowerDock'en kan bare lade en del av denne energimengden. Dimensjonering er likevel optimal, fordi batteripakkene om bord i «Future» er designet for 10 års levetid og tappes normalt ikke mer enn 60 % under bruk. Arbeidet med utvikling av PowerDock foregikk i nært samarbeid med DSB.

Invertere, ladere og motordrivere

Tradisjonelt skipsutstyr er ikke utformet for minimal vekt eller kompakt oppbygging og er ikke egnet til bruk på lettvektfartøy. Det fantes utstyr på markedet, men det var i hovedsak tilpasset landbasert transport, buss og anleggsmaskiner. Brødrene Aa og Westcon Power & Automation valgte de letteste og

beste komponentene som var i markedet. En del lette komponenter fra landbasert transportindustri ble brukt og en del komponenter ble bygd om eller tilpasset ny bruk for å redusere vekt. Modifikasjoner, ombygging og omprogrammering var delvis nødvendig for å støtte gjeldende maritimt regelverk. Kabelføringer ble lagt med korteste trasé og alle tavler ble plassert optimalt i forhold til kabling. Valg av komponenter og kabelføring gav vektreduksjon i forhold til det første Seasight-fartøyet. DNV GL og Sjøfartsdirektoratet godkjente valg og løsninger for invertere, ladere og motordrivere.

Power management-system

Disse systemene styrer ladeprosess, forbruk til fremdrift og forbruk til skipssystemer (hotellast). Systemene ble spesialtilpasset fartøyet for best mulig drift og minimalt energiforbruk ved bruk av Westcon Power & Automation sitt egenutviklede automasjonssystem e-SEAMatic BLUE. Dette systemet sikrer optimal energiflyt mellom energilager, motor og ulike andre laster. Prosessen er avansert og krever god styring for å sikre optimal utnyttning av energien. Parameterer som virker inn på systemet er mellom annet fordeling av effekt mellom motorene, energiforbruk til hotelldrif og annen last og energimengde i rest på batteriene.

Styringssystemet omfatter også automatiserte lade- og fortøyingsløsninger. Automasjonssystemet e-SEAMatic BLUE har innebygde funksjoner som skal hindre skade på komponenter i energisystemet i tilfelle kortslutning, momentant bortfall av last eller ikke-planlagt frakopling av batteriene. Konsekvensene av slike hendelser kan være alvorlige dersom styringssystemet ikke er designet for disse hendelsene.

Westcon Power & Automation designet og optimaliserte det elektriske anlegget med automatikk for minimalt energiforbruk. Komponentene som ble brukt til dette systemet var standard utstyr. Det var påkrevd med omfattende programmering for tilpasning til fartøyet og påfølgende justeringer av driftsmodus for optimalt energiforbruk. Justering og tilpassing av systemet ble utført både under testkjøring og i de første driftsukene. God tilpassing var avgjørende for å minimalisere energiforbruket. Power managementsystemet er godkjent av DNV GL og Sjøfartsdirektoratet.



Foto 5. Energi- og fremdriftssystemet på «Future of The Fjords» er i stor grad automatisert. Overvåking, kontroll og eventuell overstyring skjer fra styreposisjonen på broa. Foto: Lars Haugnes

Hindre bølgeskapt erosjon i strandsona

Lav vekt og effektivt skrogdesign har ikke bare økonomiske og praktiske implikasjoner, men også miljømessige. Optimalt skrogdesign må også omfatte at fartøyet skal kunne operere som et «low-wash»-konsept. Strandsona i verdensarvområdet Nærøyfjorden og den tilliggende Flåmsfjorden har ligget tilnærmet upåvirket av menneskelig aktivitet fram til cruise- og turistr trafikken gjorde sitt storskala inntog i moderne tid. En økende mengde store cruise fartøyer og stadig mer hurtiggående sightseeingbåter skaper bølger som slår inn mot land og fører til erosjon av strandsona. Dette er et problem med økende omfang og med negative konsekvenser for verdensarvområdet og tilliggende fjorder. Brødrene Aa har tatt hensyn til problemstillingen ved design av skrogstrukturen på «Future og The Fjords». Den modifiserte skrogstrukturen reduserer bølgehøyden med ca. 30 %.

Overførbare teknologiløsninger

Teknologiløsningene fra «Future of The Fjords» er i stor grad overførbare til andre fartøykonsept og marine næringer. Utviklingsarbeidet til Brødrene Aa og partnere har derfor nytteverdi for andre aktører. Lista under viser de viktigste punktene som har overføringsverdi.

- Nullutslipps drift vil få økende etterspørsel i fremtiden. Generell metodikk og tankegang for nullutslipps drift er direkte overførbare til andre maritime sektorer og marine næringer, f.eks. oppdrettsnæringen
- Fremdriftssystem med energi fra batteri har ført til utvikling av nye styringssystem og komponenter og til tilpassing av eksisterende komponenter. Dette har gitt nye kommersielle løsninger som enten direkte eller i modifisert versjon kan overføres til andre fartøytyper

- Minimalisering av energiforbruk vil gjelde for alle typer sjøtransport. Analysemetoder, testalgoritmer og erfaringsbaserte effekter av skrogutforming og styrings- og manøversystem vil ha nytteverdi for alle fartøytyper
- Manøver-, styre- og kontrollsystem for propulsjon kan overføres til andre fartøytyper som hurtiggående passasjerbåter, servicefartøy til oppdrettsnæringen m.m.
- Optimale batteri- og ladeløsninger kommer eksisterende og framtidig maritim og marin sektor til nytte i svært stor grad. Brødrene Aa og Westcon Power & Automation sitt forskings- og utviklingsarbeid har frembrakt state of the art-løsninger som gir grunnlag for energieffektivisering og som er direkte overførbare til nasjonal og internasjonal industri. Løsningene har potensiale til stor verdiskaping i form av produksjon og levering til både innenlands marked og eksportmarkedet
- Utvikling eller modifikasjon av invertere, ladere og motordrivere tilpasset og godkjent til maritim sektor har direkte overføringsverdi til tilsvarende fartøy og andre fartøy med energi helt eller delvis basert på batteri, og der minimal vekt eller plassbehov er en faktor det må tas hensyn til
- Power management-systemet som er utviklet, testet og har vært i bruk siden april 2018 har fungert svært godt. Systemet kan med individuelle modifikasjoner brukes på andre fartøy
- Generelt gjelder det at alle teknologiløsningene i det overstående er direkte overførbare til neste generasjon nullutslippsfartøy som vil få hovedmengden av energien fra hydrogen med strømproduksjon ved bruk av brenselceller
- Infrastruktur med ladefasiliteter er i drift på de aktuelle operasjonsområdene Flåm og Gudvangen. Sammen med ladestasjoner på norske ferjekaier danner disse starten på en storstilt nasjonal utbygging av denne type infrastruktur, særlig på plasser med dårlig nettkapasitet. Konseptet PowerDock er svært energieffektivt, kan skaleres i størrelse og kapasitet og er dessuten en flyttbar installasjon. Alle disse fire faktorene gjør at bruken av PowerDock er høyst aktuell både nasjonalt og internasjonalt

Utviklings- og byggeprosess

De viktigste milepælene for utvikling og bygging av «Future of The Fjords» er vist under.

15.12.2016 Kontrakt signert

31.03.2017 Gjennomført modelltest ved SINTEF Marintek

30.04.2017 Gjennomført finite elementberegninger og globalanalyser av struktur

01.06.2017 Byggestart

01.03.2018 Start testing av fartøy

15.04.2018 Levering til The Fjords

Erfaringer fra drift av «Future of The Fjords»

Tekniske system

Driften av «Future of The Fjords» har vært i samsvar med forventningene. System for fremdrift, power management og lading har fungert veldig bra. Med unntak av noen kansellerte turer på grunn av is på fjorden har driftsregulariteten vært 98,04 %.

Utslippsreduksjoner

Drift av de to Seasight-fartøyene har gitt store miljøgevinster, særlig for «Future of The Fjords».

Dieselforbruket på hybridfartøyet «Vision of The Fjords» gjør det mulig å beregne årsforbruket av diesel dersom fartøyet kun hadde gått på dieseldrift. Utrekninger for utslipp av CO₂ ekvivalenter per år med ulike energibærere er vist i tabellen under. Andelen av CO₂ for ren batteridrift skyldes noe import av kraft til Norge og innblanding av europeisk kraftmiks.

Energibærer	Forbruk liter diesel pr år	CO ₂ ekvivalenter (kg)
Diesel	650.000	1.716.000
Hybrid - diesel/batteri, «Vision of the Fjords»	460.000	1.286.100
Batteri, «Future of The Fjords»	0	187.500

Tabell 2. Dieselforbruk og CO₂-utslipp. Tallene er basert på 2500 driftstimer per år, motoreffekt på 1000 kW og 75 gram CO₂EKV/kWh for el-nettet

Nettogeinst ved batteridrift for «Future of The Fjords» på ruta Flåm-Gudvangen er på ca. 1.500 tonn CO₂-ekvivalenter pr år. Dette utgjør 0,75 % av den estimerte effekten av regjeringens *Grønt skatteski* i statsbudsjettet 2017.

Miljøprofil

Erfaringer fra Nærøyfjorden bekrefter at stadig flere kunder etterspør opplevelser med god miljøprofil. Slik profil er salgsvare og gir fortrinn sammenlignet med eksisterende driftsløsninger. Dette gjelder både nasjonalt og internasjonalt. I Nærøyfjorden ser man stor betalingsvilje for oppgradering av billetter til de to Seasight-fartøyene. Årsaken ligger både i meropplevelsen og miljøprofilen til fartøyene.

Økonomi

Med konvensjonell dieseldrift ville «Future of The Fjords» hatt et drivstofforbruk på 650.000 liter pr år. Erfaringene viser at drift med elektrisk energi gir besparelse i driftskostnadene. Basert på normale avskrivninger og levetid overstiger innsparingen de ekstra investeringskostnadene. I tillegg kommer gevinst av høyere billettpriser, redusert vedlikehold og eventuell økt annenhåndsverdi.

God respons i turistbransjen

Brødrene Aa sitt konsept har fått overveldende mottakelse i markedet for maritim sightseeing- og turisttransport. Mye av nøkkelen til suksessen ligger i at fartøyet er arrangert på en slik måte at de reisende får ekstremt god utsikt til omgivelsene fra dekk. Lydløs fremdrift gjør at passasjerene opplever økt nærhet til dyre- og fugleliv og storslått natur. Ved dårlig vær kan passasjerene oppholde seg innendørs og likevel oppleve utsikten gjennom de store vindusflatene. Universell utforming er svært godt ivaretatt. I oktober 2017 fikk «Vision of The Fjords» Innovasjonsprisen for universell utforming.

Konferansebruk

Den unike utformingen til SeaSight-klassen har gitt stort potensiale for bruk av fartøyene til konferanser og andre tilstelninger. Interessen for dette har vært stor og gir økt inntjeningen i vintermånedene med lite turisttrafikk.



Foto 6. «Vision of The Fjords» ble brukt som arena under deler av den internasjonale Maritime Hydrogen and Marine Energy Conference i Florø i oktober 2018. Konferansedeltagerne var imponert over fartøyet og at designet inkluderer framtidig implementering av hydrogenteknologi til energiforsyning og framdrift. Foto: Roger Anzjøn

Nasjonalt og internasjonalt marked

Brødrene Aa mener det vil være et marked for minst 10 fartøy av Seasight-klassen i Norge. Det er potensiale for minst tre fartøy på Nærøyfjorden og et tilsvarende antall på Lysefjorden.

Geirangerfjorden og Nord-Norge er andre aktuelle områder for slike fartøy. Brødrene Aa bygger nå det tredje SeaSight-fartøyet, «Legacy of The Fjords», for The Fjords. Fartøyet er en direkte kopi av «Vision of The Fjords».

Maritim sightseeing- og turisttransport tilbys over hele verden, og Seasight-konseptet har vekt interesse langt utover Norge. Aktører i San Fransisco, Sydney, Hong Kong, Hamburg, Storbritannia, Sverige og på New Zealand har tatt kontakt med Brødrene Aa om det nye fartøykonseptet. Aktørene er reiselivsoperatører og rederier som i dag opererer i turistmarkedet og som har nødvendige konsesjoner.

Teknologien ligger nå til rette for at det kan stilles nullutslippskrav til andre typer passasjertransport. I forbindelse med offentlige fergeanbud og hurtigbåtruter stilles det allerede krav om nullutslipp. Den potensielle miljøgevinsten i hurtigbåtsegmentet, der fartøyene opererer med stor fart og har fremdriftssystem med høy effekt, er betydelig større enn i sightseeing- og turistsegmentet. Vellykket drift av «Future of The Fjords» som rent nullutslippsfartøy gjør at det også kan stilles miljøkrav til turisttransporten i norske fjorder.

Design for framtidig hydrogenteknologi

Batteriteknologien avgrensner muligheten til høy hastighet og lange distanser på rutene. Neste fase i utvikling av Seasight-klassen er å bruke hydrogen som energibærer og brenselcelleteknologi som basis for nullutslipps fremdriftsløsning. «Future of The Fjords» er designet for å gi plass til hydrogenbasert energisystem når teknologien er kommersialisert. Hydrogenteknologi til fremdrift vil ha anvendelse både for konvensjonelle hurtigbåter og annen type maritim transport.

Lokal bruk av overskuddsenergi

I mange norsk fjorder er det stor produksjon og overkapasitet på elektrisk energi. Denne

overkapasiteten er argument for økt satsing på batteri- eller hydrogendrevne passasjerfartøy. Bruk av lokal produsert energi har positivt effekt både miljømessig og økonomisk. Større utbredelsen av nødvendige ladefasiliteter styrker den kommersielle verdien av batteridrevne fartøy og virker positivt inn på annenhåndsværdien.

Hyen 04.04.2019

Kontaktpunkt Brødrene Aa

Anstein Aa

Technical manager

anstein@braa.no

+47 930 65 427