

SLUTTRAPPORT

NULLUTSLIPPS HURTIGBÅT UTVIKLINGSPROSJEKT

FOR

TRØNDELAG FYLKESKOMMUNE

Dok. nr.: 389010-R-001

Revisjon: 01

Bergen, 01.09.2019



Kunde : TRØNDELAG FYLKESKOMMUNE

Nøkkelperson : LARS FABRICIUS

Dokument tittel : SLUTTRAPPORT
NULLUTSLIPPS HURTIGBÅT UTVIKLINGSPROSJEKT

Prosjekt navn : ZEFF

Prosjekt nummer : 389010

Internt dokumentnr : 389010-R-001

Ekstern distribusjon : ZEFF PROSJEKTGRUPPE, TRØNDELAG FYLKESKOMMUNE
MED EKSPERTPANEL

Gradering : ÅPEN

DETTE DOKUMENTET LMG MARINS EIENDOM.

02	01.09.19	FC, IØ, EI, TB	IØ, EI, TS, TT, PM	EI	Sluttrapport
01	01.09.18	TB, IØ	IØ, EI, TS, TT, PM	EI	Første draft rapport med konseptbeskrivelser
Revisjon	Dato	Av	Sjekket	Godkjent	Kommentarer

INNHold

0. SAMMENDRAG	1
1. INNLEDNING	2
1.1 BAKGRUNN FOR STUDIEN	2
1.2 FORVENTNINGER FRA OPPDRAGSGIVER	3
1.2.1 FASE 1 FORVENTNINGER	3
1.2.2 FASE 2 FORVENTNINGER	3
1.3 BESKRIVELSE AV DE TRE UTVALGTE PASSASJERRUTENE	4
1.3.1 INNLEDNING	4
1.3.2 RUTE 1: TRONDHEIM-VANVIKAN (810)	4
1.3.3 RUTE 2: TRONDHEIM-BREKSTAD (805)	6
1.3.4 RUTE 3: TRONDHEIM-KRISTIANSUND (800)	8
1.4 BESKRIVELSE AV KONSORTIET	10
1.5 KONSORTIETS AMBISJON	11
1.6 FREMGANGSMÅTE FOR PROSJEKT	12
1.7 TEKNISKE OG OPERATIVE UTFORDRINGER	12
1.7.1 OVERSIKT UTFORDRINGER	12
1.7.2 VURDERING AV TEKNOLOGIUTVIKLINGSRISIKO	13
2. BESKRIVELSE AV ZEFF KONSEPTET	15
2.1 ARRANGEMENT	15
2.2 SKIPS- OG SKROGDISEIN	16
2.2.1 FOILDESIGN MED INTEGRERT PROPULSJON	17
2.3 HYDRYNAMISK- OG AERODYNAMISK ANALYSER FOR OPTIMERING	18
2.4 VEKTBESPARELSER GJENNOM MATERIALVALG OG OPTIMALISERING	19
2.5 KAIGRENSESNIITT	20
2.6 ENERGISYSTEMET OMBORD	20
2.7 OPERASJONSBEGRENSNINGER FOR FOIL-BÅTER	20
2.8 VISUALISERING AV ZEFF KONSEPTET	21
3. NULLUTSLIPPSTEKNOLOGI	22
3.1 BATTERILØSNING	22
3.2 HYDROGENLØSNING	23
3.2.1.1 KONSEPT FOR KOMPRIMERT HYDROGEN	23
3.2.1.2 KONSEPT FOR FLYTENDE HYDROGEN	25
4. LADE- OG BUNKRINGSTEKNOLOGI	27
4.1 FLYTENDE TERMINAL FOR PASSASJERER, FORTØYNING, LADING OG BUNKRING	27

5. RUTESTUDIE	29
5.1 TRONDHEIM – VANVIKAN (RUTE 810)	29
5.2 TRONDHEIM – BREKSTAD (RUTE 805)	30
5.3 TRONDHEIM – KRISTIANSUND (RUTE 800)	31
6. KOSTNADER	32
6.1 ANSKAFFELSE (CAPEX)	32
6.2 DRIFT (OPEX)	32
7. APPENDIX 1 – SIKKERHETSVURDERINGER	33
7.1 INNLEDNING	33
7.2 OVERSIKT REGLER OG FORSKRIFTER	34
7.2.1 BATTERI	34
7.2.2 HYDROGEN OG BRENSELCCELLER	34

0. SAMMENDRAG

Dette dokumentet inneholder sluttrapporten «Nullutslipps hurtigbåt utviklingsprosjekt» som er utviklet av ZeFF¹ konsortiet, som et svar på Oppdragsgivers forventninger.

Dette er et sammensatt teknologiutviklingsprosjekt som har hatt følgende hovedmål:

- Hurtigbåtrutene (fast ferry) fra Trondheim til Vanvikan, Brekstad og Kristiansund skal seile uten utslipp av klimagasser (zero emission)
- Energiforbruket skal reduseres med 45 % i forhold til dagens forbrukstall for de båtene som betjener sambandene i dag

De funn og utredninger som vi redegjør for i denne rapport **bekrefter at det er mulig å innfri hovedmålene.**

For å underbygge og verifisere hovedmålene er det foretatt engineering, energisystem-beregninger, CFD-analyser og modellforsøk. Konsortiet har spesialkompetanse på den teknologien som er utviklet og planlegger å benytte arbeidet i kommende anbudprosesser i Norge med påfølgende ambisjon om å bygge og operere fartøyer på basis av resultatene fra arbeidet.

Utviklingsprosjektet har hatt som målsetning å løse de utfordringene som hurtigbåtnæringen har med høye klimautslipp og høyt energiforbruk. I tillegg legges det grunnlag for en potensiell stor eksportnæring, hvor norsk teknologi brukes til å løse urbane transportutfordringer i større kyst- og elvebyer på en ny, annerledes, miljøvennlig og mer energieffektiv måte.



¹ ZeFF – Zero-emission Fast Ferry

1. INNLEDNING

1.1 BAKGRUNN FOR STUDIEN

Trøndelag fylkeskommune har invitert til en pre-kommersiell anskaffelsesprosess for å studere og vurdere muligheten for utvikling og operasjon av null/lavutslipps hurtigbåter på en eller flere av følgende ruter:

- Trondheim - Vanvikan
- Trondheim - Brekstad
- Trondheim - Kristiansund

Trøndelag fylkeskommune har, basert på en markedsanalyse, uttalt at slike produkter (null-utslipp hurtigbåter) ikke finnes i markedet og vil på dette grunnlag bidra til at slike produkter/teknologi skal utvikles basert på den vellykkede erfaringen med å innføre slik teknologi innen bilferge sektoren i Norge gjennom en lignende "push-strategi". Norled, som deltar i konsortiet, har utviklet, bygget og opererer den første hybride hurtigbåten på et norsk samband (Haugesund-Karmøy) som kombinerer diesel- og batteri-drift.

Målet for dette prosjektet har vært å vurdere om det er teknisk, operativt og økonomisk gjennomførbart å utvikle, bygge og drive nullutslipps hurtigferger, som deretter vil danne grunnlaget for å sette krav til slike fartøy i en fremtidig anskaffelsesprosess i denne sektoren. Det er fylkeskommunene i Norge som gir driftslisenser til flåten av hurtigbåter (passasjer) i Norge som da inngår som en del av det offentlige transportnettverket.

Konsortiet har på dette grunnlaget startet arbeidet mot å utvikle design for slike nullutslipps hurtigbåter. Konseptet er basert på konsortiets erfaring med hurtigbåter, lav- og nullutslippsteknologi og marinteknologi generelt. Konsortiet har utviklet et konsept basert på:

- Et foil-basert design som løftes ut av vannet for å redusere motstand, samt at det drives av nullutslippsteknologi

Denne rapporten oppsummerer arbeidet som er gjennomført.

1.2 FORVENTNINGER FRA OPPDRAGSGIVER

1.2.1 FASE 1 FORVENTNINGER

Oppdragsgiver anså fase 1 som en "skrivefase" og det var derfor primært knyttet forventninger til utdyping og utbedring av den informasjonen som er gjengitt i tilbudet. Denne delen ble besvart i Fase 1 rapporten fra Konsortiet.

1.2.2 FASE 2 FORVENTNINGER

Oppdragsgivers forventninger i Fase 2 var knyttet til praktisk informasjon om utvalgte fartøy er i stand til, i tråd med fylkets ambisjon (og andre fylker ambisjoner), å realisere lav/null-utslipp passasjertransport. Realiseringen av slik transport vil være målrettet i forhold til neste anbudskunngjøring for passasjertransport på de utvalgte rutene. Anbudsprosessen til fylket er frakoblet fra selve Fase 2 arbeidet, og fase 2 fungerer som innspill til den senere anbudsprosessen hos fylket.

Fylkeskommunen ønsker i rapport fra fase 2:

- Detaljert gjennomgang av CAPEX/OPEX (prisen for energibærer (hydrogen og elektrisitet) må ikke inkluderes)
- Forventet energiforbruk (for driften av fartøyet)
- Infrastrukturkrav på land (kai, energibærere, etc.) sammenlignet med eksisterende infrastruktur
- Tekniske tegninger for fartøyene, herunder:
 - Teknisk beskrivelse av fartøy(s) med hovedmål, strukturelle aspekter, maskiner og fremdriftsmaskineri, så vel som last/passasjerkapasitet (dvs. den generelle tekniske spesifikasjonen). Beskrivelsen forventes å bli supplert med hovedarrangement (GA) og andre tekniske tegninger og underlag.
- "Proof of concept" testresultater knyttet til særegne egenskaper. Resultater fra verifikasjon av egenskapene for det foreslåtte fartøyskonseptets (dette kan omfatte modellering/simulering resultater eller resultater fra relevante fysiske modellen testing).
- Alle forbehold, begrensninger og restriksjoner må beskrives i detalj.
- Beskrivelse av forventede realiseringsplaner. i.e. planer for konstruksjon, installasjon, testing og igangkjøring med forventet tidsplan for de enkelte fasene.

Fylkeskommunen er avhengig av at rapporten inneholder en detaljert beskrivelse av hvorvidt det er teknisk og praktisk gjennomførbart å kjøre med nullutslipp i det enkelte samband. Et riktig «nei» verdsettes høyere enn et falskt «ja» da fylkeskommunen vil utnytte dette direkte i sine forberedelser til kommende anbud.

Denne rapporten beskriver hvordan disse Fase 2 forventningene er oppfylt.

1.3 BESKRIVELSE AV DE TRE UTVALGTE PASSASJERRUTENE

1.3.1 INNLEDNING

Trøndelag fylkeskommune har lagt frem tre utvalgte ruter som skal benyttes som eksempel for utvikling av nye hurtigbåtene for alle konsortiene som deltar i denne pre-kommersiell anskaffelsesprosessen.

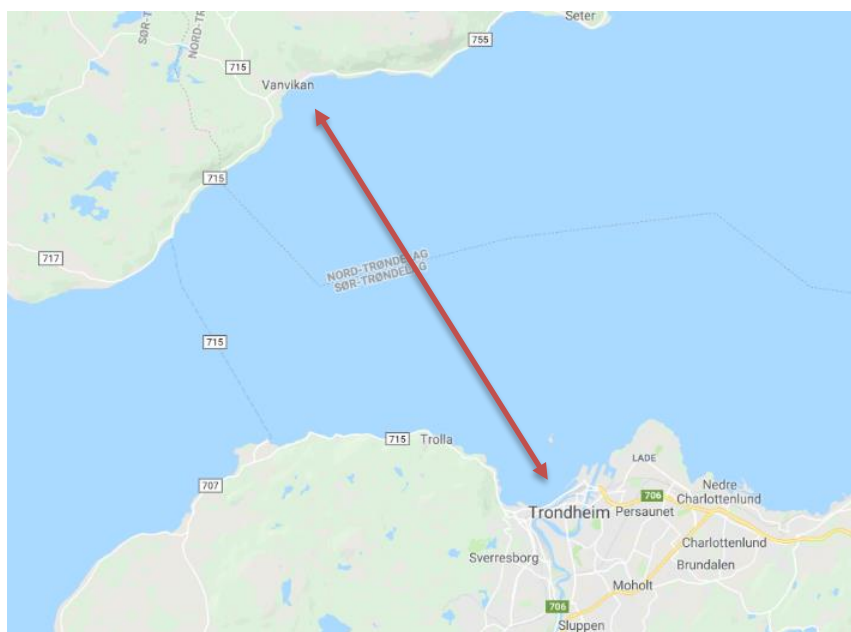
Det er krav fra oppdragsgiver at rutene bør betjenes med samme tidstabell som i dag, i tillegg til å bruke samme kaianlegg. Selv om et hurtigbåt-design og nullutslippsteknologi gjerne anses som generisk for maritim bruk, så er det visse rutespesifikke utfordringer som utviklingen må ta hensyn til:

- Seilingshastighet og variasjoner i seilingsfart på ruten
- Seilingsdistansen mellom havner som er tilgjengelige for lading/bunkring
- Den inaktive tid i havn, i løpet av dagen og på natten, som er tilgjengelige for lading/bunkring
- Utformingen av det hybride energi/maskineri systemet ombord og balansen mellom batterier og brenselceller
- Bunkrings- og ladelogistikk, bunkrings- og ladeteknologi, energilagringsløsninger (batteri og hydrogen) og implikasjoner på design og spesielle vurderinger rundt størrelse og type batteri og hydrogentanker, samt implikasjoner på kaianlegg for lading, bunkring og endret dypgående for foil-båter.
- Tilgjengelighet og/eller valg mellom flytende og trykksatt hydrogen

Denne rapporten vurderer hvordan nullutslippsteknologi kan brukes for de tre utvalgte rutene.

1.3.2 RUTE 1: TRONDHEIM-VANVIKAN (810)

Denne ruten (810) mellom Trondheim og Vanvikan har en avstand på ca. 8,3 nm, har 19 minutters overfartstid og opereres av en hurtigbåt med 125 pax kapasitet og opp til 25 knops seilings/rutefart; MS Trondheimsfjord II. Ruten er illustrert i Figur 1-1.



Figur 1-1: Rute 1 - Trondheim-Vanvikan: geografisk oversikt med 2 holdeplasser

Dagens nøkkeldata for denne ruten er:

- Fartøyet har et samlet forbruk på 250 liter diesel per time (avlest).
- Diesel har en tetthet på 0,84 kg/liter, hvor 250 liter/t tilsvarer 210 kg/t.
- En dieselmotor (for hurtigbåter) har et spesifikt forbruk på 0,210 kg/kWt.
- Effektuttaket for fartøyet blir da 1000 kW
- For 19 min overfartstid blir effektbehovet ca. 335 kWt på denne ruten.
- Per passasjerkilometer er dette ca. 0,16 kWt per pax-km (om båten er full og seiler med 25 knop).

Denne ruten har noen inaktive tidsperioder i løpet av dagen og ca. 6 timer inaktiv tid i løpet av natten, som kan benyttes for lading og hydrogenbunkring. I helgene er det mer ledig tid som kan benyttes. I selve ruteoperasjonen i rushtid morgen/ettermiddag er det ca. 10 min tilgjengelig til lading på hvert stopp når overfartstiden er 19 min. Dagens gjeldende tidstabeller illustrert i Tabell 1-1.

ZeFF-konseptet krever mindre energi enn dagens hurtigbåt, men pr i dag er det fortsatt vanskelig å få til ren batteridrift uten:

- Swapping av batterier
- Lengre liggetid mellom avgangene

Tabell 1-1: Rute 1 - Trondheim-Vanvikan: nåværende tidstabell

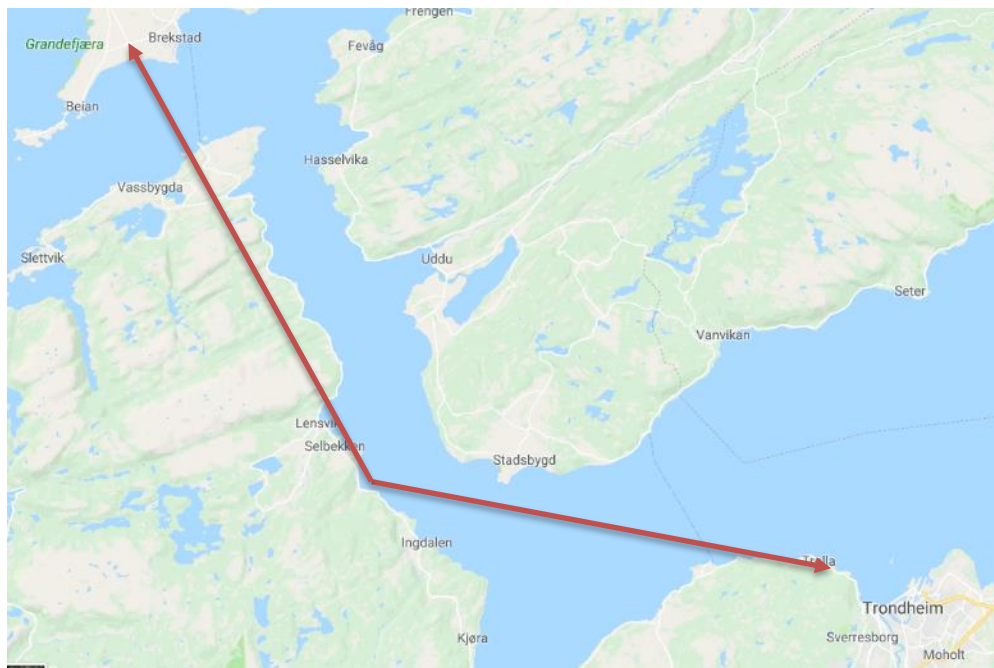
Fra / From Trondheim			Fra / From Vanvikan		
mandag - fredag Monday - Friday	lørdag Saturday	søndag Sunday	mandag - fredag Monday - Friday	lørdag Saturday	søndag Sunday
06:20	07:25	09:30	05:50	06:30	10:00
07:20	08:25	11:30	06:50	08:00	12:00
08:25	09:45	13:30	07:55	09:00	14:00
09:45	11:15	16:15	09:00	10:15	16:45
11:15	13:00	17:50	10:15	11:45	18:45
12:30	15:30	19:15	11:45	13:30	20:15
15:00	17:00	21:00	13:00	16:00	22:00
16:00	18:00	22:30	15:30	17:30	22:55
17:00			16:30		
18:00			17:30		
20:00			19:00		
21:45			21:00		
23:30			22:55		

1.3.3 RUTE 2: TRONDHEIM-BREKSTAD (805)

Den ruten (805) mellom Trondheim og Brekstad har en avstand på ca. 27 nm, har 50 minutters overfartstid og drives av en hurtigbåt med 125 pax kapasitet og 33 knops seilings/rutefart; MS Trondheimsfjord I. Ruten er illustrert i Figur 1-2.

Effektbehovet for denne ruten er:

- Fartøyet har et samlet forbruk på 370 liter diesel per time (avlest).
- Diesel har en tetthet på 0,84 kg/liter, hvor 370 liter/t tilsvarer 311 kg/t.
- En dieselmotor (for hurtigbåter) har et spesifikt forbruk på 0,210 kg/kWt.
- Effektuttaket for fartøyet blir da 1480 kW
- For 50 min overfartstid blir effektbehovet ca. 1233 kWt på denne ruten.
- Per passasjerkilometer er dette ca. 0,20 kWt per pax-km (om båten er full og seiler med 33 knop).



Figur 1-2: Rute 2 - Trondheim-Brekstad: geografisk oversikt med 2 holdeplasser

Denne ruten er delvis drevet av de hurtigbåtene (Terningen/Tyrhaug) som seiler mellom Trondheim og Kristiansund (rute 800), som resulterer i at hurtigbåten på denne ruten, MS Trondheimsfjord I, har noen inaktive tidsperioder i løpet av dagen og ca 6 timer inaktiv tid i løpet av natten, som kan benyttes for lading og hydrogenbunkring. I helgene er det mer ledig tid som kan benyttes.

Terningen/Tyrhaug tar 285 pax, seiler i 35 knop og bruker da 630 liter diesel per time. Effektbehovet for ruten med disse båtene er da:

- Fartøyet har et samlet forbruk på 630 liter diesel per time (avlest).
- Diesel har en tetthet på 0,84 kg/liter, hvor 630 liter/t tilsvarer 529 kg/t.
- En dieselmotor (for hurtigbåter) har et spesifikt forbruk på 0,210 kg/kWt.

- Effektuttaket for fartøyet blir da 2520 kW
- For 50 min overfartstid blir effektbehovet ca. 2100 kWt på denne ruten.
- Per passasjerkilometer er dette ca. 0,15 kWt per pax-km (om båten er full og seiler med 35 knop).

Rute 805, som kun seiler mellom Trondheim og Brekstad, ligger kun i 10 minutter før båten seiler tilbake. Dette er kort tid for å overføre nødvendig energi for en batteri-løsning. ZeFF-konseptet krever mindre energi enn dagens fartøy, men vi anser det som utfordrende å benytte batteri som energibærer i denne ruten, selv med swapping og/eller lengre liggetider mellom avgangene. Dagens tidstabeller er illustrert i Tabell 1-2.

Tabell 1-2: Rute 2 - Trondheim-Brekstad: nåværende tidstabell

800

805

Trondheim - Brekstad - Kristiansund

Gyldig fra: 14.08.2017

mandag-torsdag

fredag

lørdag

søndag

Rutenummer	805	800	800	805	800	805	800	805	800	805	800	805	800	805	800	800	805	800	800	805	800	800	805				
Dagkoder																											
Trondheim	06.20		08.10	10.20	12.15	14.45	16.30	18.45	21.00	06.20		08.10	10.00	12.15	14.45	16.30	17.05	21.00	09.40	11.45	14.40	21.30	12.10	16.15	20.30	23.30	
Lensvik						15.20	17.05	19.20	21.35					15.20	17.05		21.35			15.15			16.50			00.15	
Hysnes	07.05		08.55							07.05		08.55					17.50										
Brekstad	D07.20		D08.10	11.10	D13.10	D15.45	D17.35	19.45	22.00	D07.20		D08.10	10.50	D13.10	D15.45	D17.35	18.05	22.00		10.30	12.35	15.40	22.20	13.10	17.20	21.30	00.30
Sandstad			B08.50		B13.50		B18.15					B08.50		B13.50		B18.15					B16.20		B13.50	B18.05			
Kjersvikbugen			10.20		14.20		18.45					10.20		14.20		18.45					16.50		14.20	18.35			
Edøy		07.00	11.00		15.00		19.25			07.00	11.00	15.00		19.25				09.00			17.30		15.00	19.15			
Ringholmen			C11.20		C15.20		C19.45					C11.20		C15.20		C19.45					C17.55		C15.20	C19.45			
Kristiansund		07.45	11.40		15.40		20.00			07.45	11.40		15.40		20.00			09.45		18.20		15.40	20.00				

B = Korrespondanse 420

C = Signalanløp til Ringholmen. Ring 011 07 000 innen en time før avgang

D = Korrespondanse 451

800

805

Kristiansund - Brekstad - Trondheim

Gyldig fra: 14.08.2017

mandag-torsdag

fredag

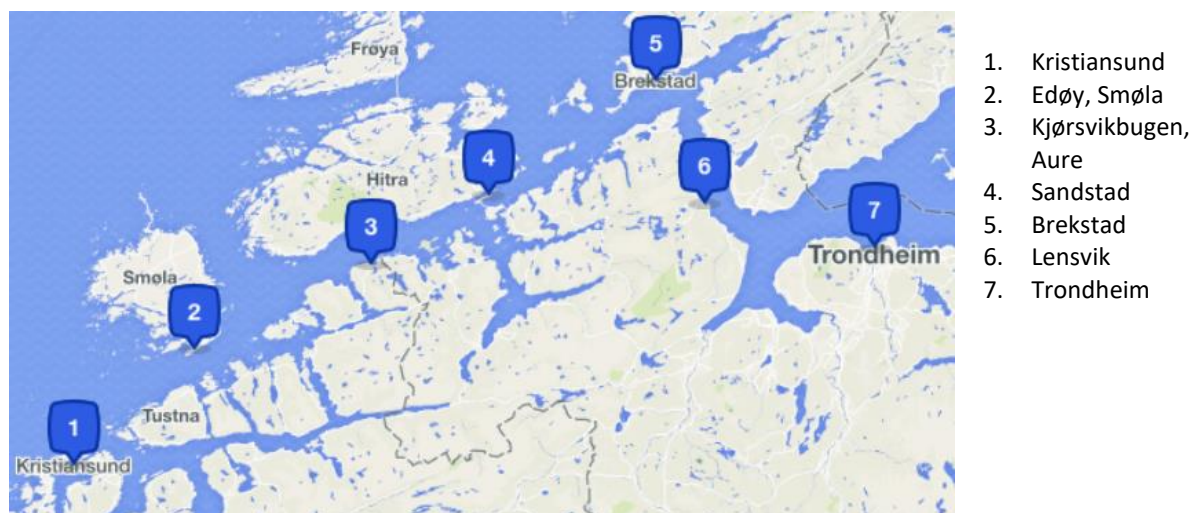
lørdag

søndag

Rutenummer	800	805	800	805	800	805	800	805	800	800	805	800	805	800	805	800	800	805	800	800	805	800	800	805
Dagkoder																								
Kristiansund		08.00		12.00		16.30		20.30			08.00		12.00		16.30	20.30			14.30		12.00	16.15	20.30	
Ringholmen		C08.20		C12.20		C16.50				C08.20		C12.20		C16.50			C14.45		C12.20	C16.35				
Edøy		08.40		12.40		17.10		21.10			08.40		12.40		17.10	21.10			15.10		12.40	16.55	21.10	
Kjersvikbugen		09.20		13.20		17.50					09.20		13.20		17.50				15.50		13.20	17.35		
Sandstad			B08.50		B13.50		B18.20					B08.50		B13.50		B18.20			B16.20		B13.50	B18.05		
Brekstad	D08.15	D07.30	D10.35	11.20	D14.30	D15.55	19.00	20.00		D08.15	D07.30	D10.35	13.20	D14.30	D15.55	18.15	19.00	08.30	10.40	12.40	17.00	10.30	14.30	D18.50
Hysnes		07.40		14.40		18.05	19.10				07.40		14.40		18.05	19.10			10.50			10.40		
Lensvik	06.40	07.55			14.55					06.40	07.55			14.55				08.55					19.10	
Trondheim	07.15	08.35	11.25	12.10	15.35	16.55	20.00	20.50		07.15	08.35	11.25	14.10	15.35	16.55	19.05	20.00	09.30	11.40	13.30	17.50	11.30	15.30	19.50

1.3.4 RUTE 3: TRONDHEIM-KRISTIANSUND (800)

Den ruten (800) mellom Trondheim og Kristiansund har en avstand på ca. 95 nm, tar ca. 3,5 timer og drives av to hurtigbåter i dag; MS Terningen og MS Tyrhaug. Ruten er illustrert i Figur 1-3 med dagens driftsprofiler illustrert i Tabell 1-3.



Figur 1-3: Rute 3 - Trondheim-Kristiansund: geografisk oversikt med 7 holdeplassene

Effektbehovet for denne ruten er:

- Fartøyene hver for seg har et samlet forbruk på ca. 1700 liter diesel per overfart. Det legges til dette punkt at fartøyet forbruker 630 liter diesel per time i 35 knops fart, mens denne lange ruten har 5 stopp underveis med perioder med saktere fart og kai ligge.
- Diesel har en tetthet på 0,84 kg/liter, hvor 1700 liter tilsvarer 1428 kg
- En dieselmotor (for hurtigbåter) har et spesifikt forbruk på 0,210 kg/kWt
- Effektuttaket for fartøyet blir da 6800 kWt per overfart (på 3,5 timer)
- Per passasjerkilometer er dette ca. 0,14 kWt per pax-km (om båten er full og seiler med 35 knop).

Utfordringen er således å lade og/eller bunkre fartøyet med en slik energimengde (6800 kWt) under de korte oppholdene ved endestoppene i løpet av dagen inntil driften for hver av båtene til slutt stopper opp for natten i hhv. Trondheim/Brekstad og Kristiansund/Edøy. Det er lite praktisk å ha lengre stopp for å bunkre eller lade energi på stoppene underveis på ruten, som er korte (1-2 min).

Alternativet er å benytte det lange nattopphold i hhv. Brekstad og Edøy for de to hurtigbåtene for å laste inn ett-dagers energiforbruk (ca. 20.400 kWh) for hver av hurtigbåtene.

Det legges til at konsortiet jobber for en 40-50% reduksjon for det totale energiforbruket for ZEFF-designet, i forhold til «best-in-class» karbon-katamaraner, som vil være et tiltrengt (og muligens nødvendig) bidrag for å oppnå null-utslippsoperasjon for denne ruten. Denne rapporten gir en beskrivelse av hvordan denne utfordringen skal nås.

Tabell 1-3: Rute 3 - Trondheim-Kristiansund: gjeldende driftsprofiler for de to hurtigbåtene på ruten

	Fast Ferry 1	Fast Ferry 2
Nattligge	Brekstad	Edøy
Avreise	Brekstad kl. 06,15	Edøy kl. 07,00
Ankomst	Trondheim kl. 07,15	Kristiansund kl. 07,45
Havneopphold	55 min	15 min
Avreise	Trondheim kl. 08,10	Kristiansund kl. 08,00
Ankomst	Kristiansund kl. 11,40	Trondheim kl. 11,25
Havneopphold	20 min	50 min
Avreise	Kristiansund kl. 12,00	Trondheim kl. 12,15
Ankomst	Trondheim kl. 15,35	Kristiansund kl. 15,40
Havneopphold	55 min	50 min
Avreise	Trondheim kl. 16,30	Kristiansund kl. 16,30
Ankomst	Kristiansund kl. 20,00	Trondheim kl. 20,00
Havneopphold	30 min	
Avreise	Kristiansund kl. 20,30	Trondheim kl. 21,00
Ankomst	Edøy kl. 21,10	Brekstad kl. 22,00
Nattligge	Edøy	Brekstad

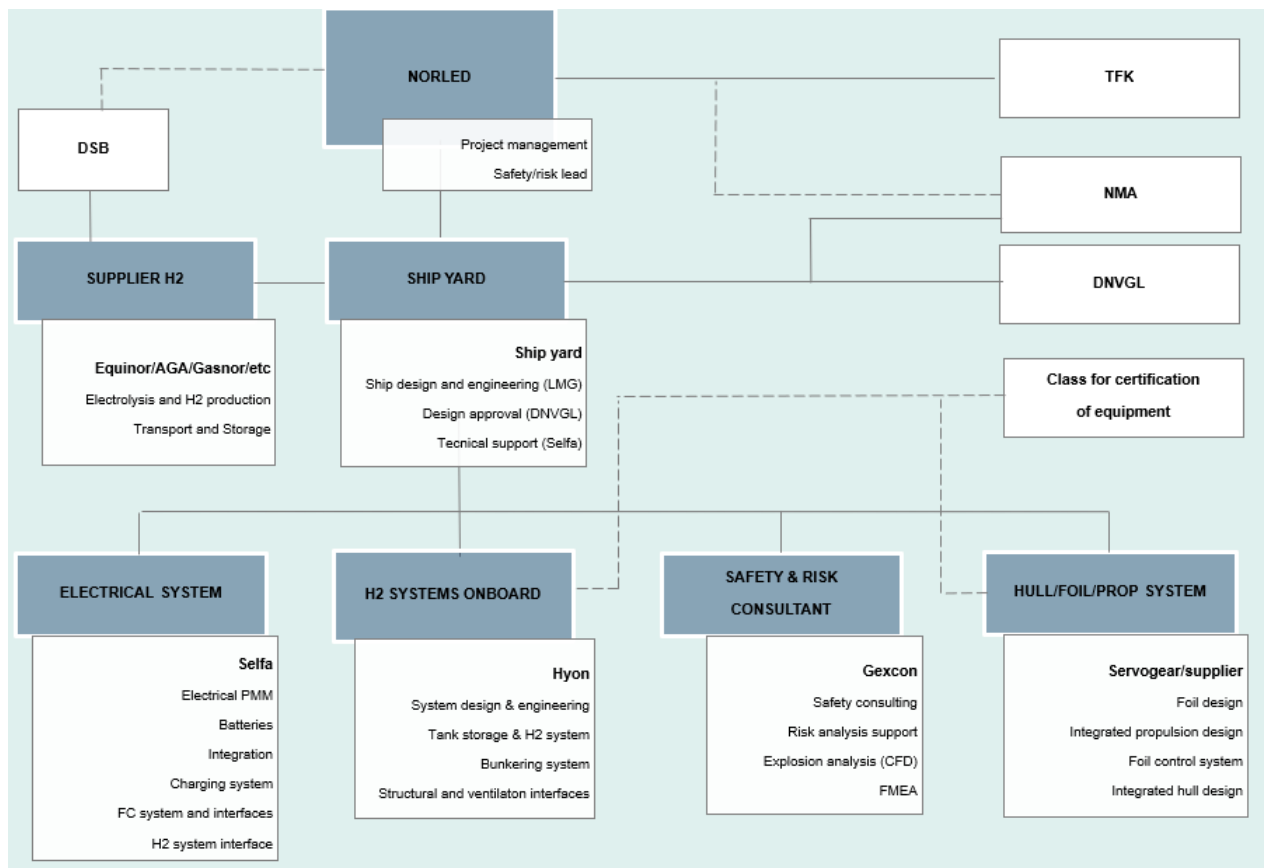
1.4 BESKRIVELSE AV KONSORTIET

Konsortiet består av bransjeaktører med utfyllende og praktisk erfaring i drift av hurtigbåter, passasjertransport, utvikling og design av fremdriftssystemer, fartøysdesign og materialteknologi, hydrogenteknologiløsninger, inkludert hydrogenproduksjon, båtbygging og lang erfaring med utvikling av lav- og null utslippsløsninger for maritim sektor. Konsortiets partnere er beskrevet i Tabell 1-4.

Tabell 1-4: Beskrivelse av konsortiets partnere

Selskap	Forretningsområde
Selfa Arctic	Selfa Arctic er en båt produsent og teknologileverandør med fokus på null og lav utslipps teknologi. Selskapet leverte i 2015 en 11-meters fiskebåt med en 200-kWh batteripakke som muliggjorde en null-utslipp fiske drift. Selskapet har en uttalt miljøstrategi og arbeider med å innføre teknologi som reduserer klimagassutslipp maritim sektor.
LMG Marin	LMG Marin er et av Europas ledende skipsingeniør miljøer. Selskapet har lang erfaring med designprosessen fra skisse til sjøprøver, og har en rekke verktøy tilgjengelig for beregning av stabilitet, vekt og motstand. Hurtigbåterfaring omfatter blant annet utbygging og levering av CARBONCAT serien som inkluderer fartøyene Kistefjell, Fløyfjell og Sollifjell operert i Troms fylke.
Servogear	Servogear er en verdens ledende produsent og leverandør av vribare propellere og girkasse. Servogear har utviklet sin egen teknologi, spesielt til et bredt utvalg av høyhastighets båtleveranser i Norge og i utlandet.
Norled	Norled AS er et norsk rederi. Selskapet har 78 fartøy som er i rutetrafikk med operasjon av bilferger og hurtigbåter på store deler av norskekysten. Norled har et administrasjons kontor i Bergen og Stavanger, og har regionale kontorer i Ålesund og Oslo.
HYON	HYON eies av Nel ASA, Hexagon AS og PowerCell Sweden AB. HYON retter spesielt særlig mot maritim næring, der HYON utvikler og tilbyr maritime produkter og løsninger for hydrogen som drivstoff ombord på skip gjennom hele verdikjeden, fra produksjon via distribusjon, lagring, bunkring og til bruk ombord; fra bunkerflens via trykktanker til brenselcelle-maskinrom.

Det er et behov for å ha kontakt med øvrige leverandører og institusjoner for å ha tilgang til et bredt spekter av ekspertise og kompetanse for å oppnå prosjektets målsetninger, og andre aktører vil bli kontaktet og benyttet etter behov. Kompetanse fra Frankrike og Sverige vil også bli benyttet i tillegg til norske aktører. Figur 1-4 viser relasjon til øvrige selskaper og myndighetsinstanser som vil være tilknyttet og/eller involvert i prosjektet.



Figur 1-4: Oversikt prosjektaktører direkte og indirekte involvert

1.5 KONSORTIETS AMBISJON

Konsortiets ambisjon er å utvikle, bygge og operere en eller flere hurtigbåter som:

- Opererer utslippsfritt på en eller flere av de aktuelle rutene
- Er et trygt og pålitelig fartøy å operere
- Tilfredsstiller regler og forskrifter så langt som mulig og hvor regelverket er mangelfullt/ikke eksisterer vil konsortiet benytte risikobasert design (IMO MSC1. Circ. 1455)
- Gir en betydelig reduksjon i energiforbruket per passasjer-mil
- Tilbyr en fordelaktig økonomisk løsning for sluttkunden

Denne ambisjonen er ansett å være i tråd med Trøndelag fylkeskommunes ambisjoner.

1.6 FREMGANGSMÅTE FOR PROSJEKET

Konsortiet har lang erfaring med design og drift av hurtigbåter, deriblant har konsortiets partnere allerede utviklet et nullutslipps referansedesign (karbon-katamaran) basert på «state-of-the-art» løsninger for skrog- og fremdriftsteknologi, med integrert nullutslippsteknologi ombord i dette designet. Norled har videre bygget den første diesel-batteri hybride hurtigbåten som opererer i Haugesund.

På dette grunnlaget er følgende fremgangsmåte lagt til grunn i dette prosjektet:

- Utvikle et kompakt, aerodynamisk og høy-effektiv hydrofoil-design og vise at energieffektiviteten til dette designet er bedre enn dagens hurtigbåter. Dette er «ZEFF» konseptet.
- Utvikle en «state-of-the-art» løsning for et maritimt null-utslipp energisystem, som kan benyttes om bord på ZEFF. Dette energisystemet vil være basert på bruk av eksisterende/tilgjengelig batteri og PEM brenselcelleteknologi.
- Utvikle en skreddersydd energiforsyningslogistikk, inkludert i en effektiv, ny-utviklet flytende passasjerterminal.
- Gjennomføre en risikoanalyse (risikobasert design) for å vise at batteri/hydrogen-drevne hurtigbåter har like god eller bedre sikkerhet i forhold til eksisterende, diesel-drevne båter.
- Konsortiet vil på dette grunnlag gi en anbefaling knyttet til drift på de tre rutene.

1.7 TEKNISKE OG OPERATIVE UTFORDRINGER

1.7.1 OVERSIKT UTFORDRINGER

For å møte ambisjonene i konsortiet finnes det en rekke tekniske og operative utfordringer å løse for ZEFF-konseptet. Disse er:

- Redusere fartøyets vekt i forhold til dagens fartøy/øvrige hurtigbåter, i form av et kompakt, geometrisk enkelt og lett skrogdesign.
- Reduser hydrodynamisk motstand: bruk av hydrofoilteknologi (løfte skrog fullt ut av vannet) kombinert med nevnte vektoptimalisering.
- Øke fremdriftseffektivitet: elektriske «pods» integrert i foilen med uhindret vannføring og ingen overflate gjennomtrengende skroganhang.
- Utvikle et reguleringssystem for foil-systemet for å løfte båten ut av vannet og for å kunne manøvrere båten
- Redusere luftmotstand: kompakt en-dekksløsning hvor hydrogentanker er integrert i skrog.
- Det må utvikles en tilpasset passasjerterminal i form av en flytekai for å ta imot fartøyet med foiler som stikker dypere enn vanlige skrog. Fortøyning, bunkrings- og lade-arrangement integreres i denne løsningen.
- Det er nødvendig å utvikle en optimalisert PEM FC-batteri-elektrisk fremdriftsløsning for hurtigbåter.
- Effektiv design av hydrogentank- og batteriarrangement og vektoptimalisering basert på energibehovet for den aktuelle ruten. Vurderinger rundt det å laste all energi for en dags forbruk, eller å laste 2-3 ganger per dag, må vurderes.
- Effektiv batterilading og hydrogenbunkringsoperasjoner i havn og ved nattligge. Betraktninger rundt bytte av hele hydrogentanken vurderes opp mot tradisjonell bunkring med slange, samt vurderinger rundt batteri-bytte.

- Vurdere valget mellom flytende og komprimert hydrogen som drivstoff.
- Utvikle effektive og sikre energiforsyningskjeder og bunkringsløsninger.
- Risikobasert design, ved bruk av IMO MSC. 1 Circ. 1455, metode for vurderinger rundt alternative design. Regler og forskrifter er ikke etablert for PEM FC-baserte energisystemer som har hydrogentanker ombord.

1.7.2 VURDERING AV TEKNOLOGIUTVIKLINGSRISIKO

Teknologirområde	Design og materialvalg
Målsetting og metode	Ved utforming og riktig bruk av materialer redusere fartøyets vekt per passasjer med 25%.
Status	Betydelig arbeid gjort for dette område for nye hurtigbåter. Et godt design resulterer i vektbesparelser. Fokus på å velge riktig materiale i de tidlige designfasene.
Ansvar	Norled, LMG
Risiko	Medium. Forskrifter, anbudskrav og rederikrav vil påvirke og definere potensialet på dette området

Teknologirområde	Foil teknologi
Målsetting og metode	Reduser vannmotstand og energibehov med effektivt skrogdesign og foilteknologi med 20%
Status	Lite brukt de siste årene på hurtigbåter, mye utviklingsarbeid er gjort innen seilbåtdesign og «water taxi»
Ansvar	Selfa Arctic, LMG, Servogear
Risiko	Høy. Krever omfattende utvikling og validering

Teknologirområde	Reguleringssystem for foil-løft og manøvrering
Målsetting og metode	Det skal utvikles et pålitelig og sikkert reguleringssystem som skal styre foil-løft og manøvrering av båten
Status	Lite brukt de siste årene på hurtigbåter, mye utviklingsarbeid er gjort innen seilbåtdesign og «water taxi»
Ansvar	Servogear, LMG
Risiko	Høy. Krever omfattende utvikling og validering

Teknologirområde	Fremdriftssystem
Målsetting og metode	Øke effektiviteten i fremdriftssystem ift. gjeldende løsninger med 10%
Status	Mye av utviklingen hos gjort på leverandørensiden i det siste. Nye muligheter ved å kunne plassere el-motoren integrert i undervanns-poden
Ansvar	Servogear
Risiko	Medium. Krever omfattende utvikling og testing

Teknologirområde	Aerodynamikk
Målsetting og metode	Reduser energibehovet i høy hastighet med et aerodynamisk fartøysdesign med 2%
Status	Krav til aerodynamisk design vil øke med fart og studier må utføres for å vurdere designeffekt.
Ansvar	LMG
Risiko	Lav, men må gjøres med et tidlig designfokus og ta hensyn til hydrogentankene

Teknologiområde	Nullutslippsteknologi
Målsetting og metode	Operere med null utslipp ved bruk av batteri og hydrogen
Status	Ikke testet i stor skala på hurtigbåter. Bruken av hydrogen ombord krever omfattende arbeid med regelverk og teknologiutvikling knyttet til ulike komponenter og deler av et fremdriftssystem.
Ansvar	Norled, Hyon
Risiko	Medium. Vektoptimalisering og arrangementsdesign er nøkkelford for å utvikle løsninger som kan operere effektivt og med stor pålitelighet på de aktuelle rutene

Teknologiområde	Hydrogen bunkringsteknologi
Målsetting og metode	Utvikle effektive og sikre hydrogenbunkringsløsninger
Status	Ikke testet og ikke-eksisterende i skipsindustrien. H2 bilfergeprosjektet (Statens Vegvesen) arbeider med dette og erfaringer kan læres derfra.
Ansvar	Norled, LMG, Hyon
Risiko	Medium. Erfaring fra LNG-sektoren kan brukes og pågående fergeanbud.

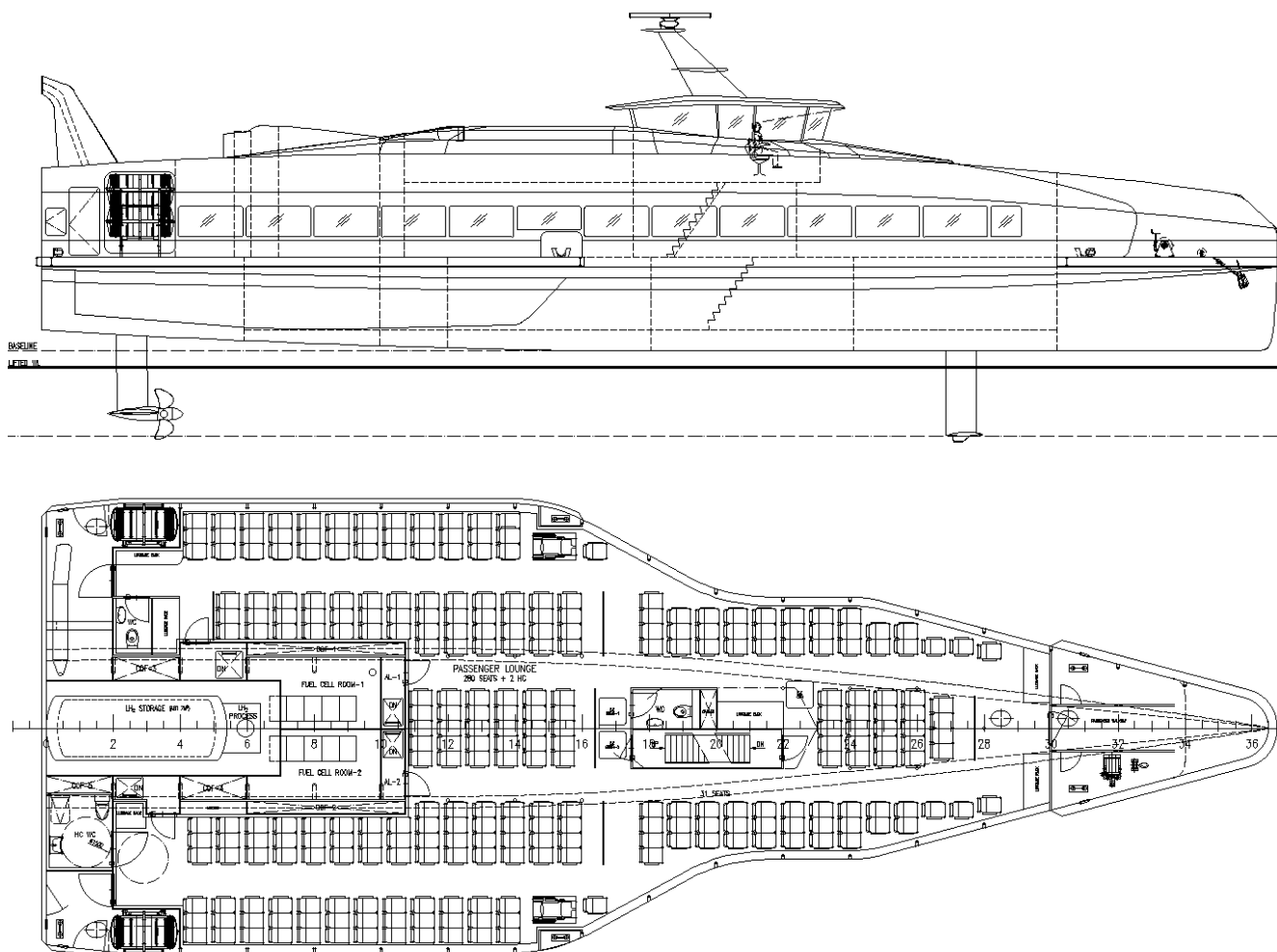
Teknologiområde	Flytekai som passasjerterminal
Målsetting og metode	Utvikle en effektiv og sikker passasjerterminal med integrerte løsninger for fortøyning, bunkring og lading
Status	Det er utviklet noe tilsvarende i Flåm for «Future of the Fjord» og LMG har lang erfaring med å designe flytende konstruksjoner for slike formål (flytende terminaler for gass)
Ansvar	Norled, LMG
Risiko	Lav. Erfaring fra LNG-sektoren kan brukes og pågående fergeanbud.

Teknologiområde	Risiko og sikkerhetsvurdering
Målsetting og metode	Å utvikle sikre hurtigbåter
Status	Regler og forskrifter er ikke utviklet på dette området, og dermed må en risiko-basert design tilnærming gjennomføres (IMO MSC.1 Circ. 1455) Konsekvenssimuleringsverktøy og frekvensdata er lite utviklet.
Ansvar	Norled
Risiko	Medium. utfordringen er å påvise at nullutslippsløsninger er like trygge som dieseldrevne båter.

2. BESKRIVELSE AV ZEFF KONSEPTET

2.1 ARRANGEMENT

Foreslått arrangement for en 275 pax og hydrogendrevet versjon av ZEFF konsept er vist i Figur 2-1.



Figur 2-1: General Arrangement for ZEFF konseptet (LH₂ løsning vist)

Dette er et kompakt arrangement hvor en har fokus på å integrere de nødvendige funksjoner på en relativt sett liten plattform og på den måten oppnå en lettvekts løsning. Fartøyet er utformet med en «strykejern» form sett ovenfra som henger sammen med en målsetning om å benytte et foilkonsept hvor ca. 2/3 av vekten bæres av det aktre foil-systemet.

Alle passasjerfasiliteter er arrangert på et dekk. Over dette dekket har en kun et lite halvdekk for bro. Under er det maskinteknisk utrustning akter og voider lengre forut i fartøyet.

Passasjerfasiliteter for 275 passasjerer består av salong med adkomst gjennom bauglem eller akter på hver side. Det er videre arrangert toalettfasiliteter og bagasje stueplass akter. En øy sentrert i salongen har plass til en liten kiosk. Evakuering med MES er arrangert på hver side akter, direkte fra salong.

MOB båt er arrangert i recess akter med teleskopisk davit. Arrangement med sjøsetting av MOB over hekk er tradisjonelt utfordrende pga. nærhet til propellere, men i dette arrangementet er propellene svært dype og montert betydelig fremfor hekk.

Maskinteknisk løsning er arrangert akter. På hoveddekksnivå sentrert akter er det arrangert en åpen recess hvor hydrogentank er plassert. Dette kan være komprimert eller flytende løsning, fastmontert eller «swap» løsning. Løsning med åpent dekk for hydrogentank anses fordelaktig for lekkasjescenarioer da hydrogen stiger og uttynnes hurtig i åpen atmosfære. Videre arrangeres løsning for fordamping/eventuelt trykkregulering av hydrogen også på åpent dekk forut for tank, men her tillages et oppad skrående tak for å sikre en viss værbeskyttelse av utstyret samtidig som en unngår dannelse av gasslommer ved lekkasje.

Brenselceller er arrangert i to separerte rom for å oppnå tilstrekkelig beskyttelse av utstyret og for redundans. Brenselcellerommene er plassert forut for hydrogentanken, som går over to dekksnivå. Rommet er beskyttet mot passasjerfasiliteter med kofferdam, og adkomst er gjennom luftsluse. Rommet er EX sone, arrangert med ventilasjon, brannisolasjon, fast brannslukkeanlegg, gassdeteksjon, eksplosjonsavlastning etc. som påkreves av slike områder. Utforming med gradvis stigning av alle himlinger uten mulighet for dannelse av gasslommer før ventilasjonsutløp i topp.

Gassmast og ventilasjonsåpninger som medfører EX soner er arrangert i «spoiler» som vist på arrangement over tank.

I andre rom under hoveddekk akter arrangeres elektrisk anlegg med batteri samt øvrig maskinteknisk utrustning.

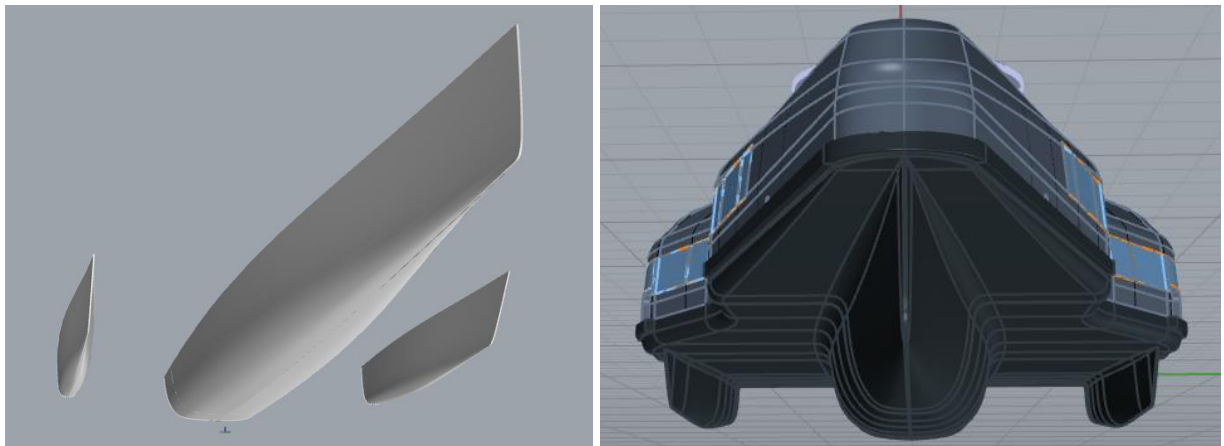
2.2 SKIPS- OG SKROGDESIGN

Skipskonseptet er et stabilisert enkeltskrog med bruk av side-skrog som stabiliserer båten i neddykket tilstand (deplacement modus). Side-skrogene har mindre dypgang enn hovedskroget og kommer relativt raskt ut av vannet i akselerasjonsfasen for å redusere våt overflate og motstand generelt. Dynamisk stabilitet når båten er løftet ut av vannet, sikres av egenskapene til foil-systemet.

Skrog og overbygg er en kompakt enhet med enkel geometri og store flater. Dette er en gunstig konstruksjon å bygge med karbonsandwich hvor en i stor grad kan benytte panelproduksjon og unngå formstøping. Karbonsandwichpaneler har høy egenstivhet og kan bygges i store uavstivede flater. Bunnkonstruksjon vil være utsatt for slammingslaster (spesielt under akselerering og retardasjon) men slik belastning gir lavere respons enn i konstruksjonen dersom større paneler i skroget er oppbygget av. Denne effekten vil bli utnyttet for å oppnå lav skrogvekt.

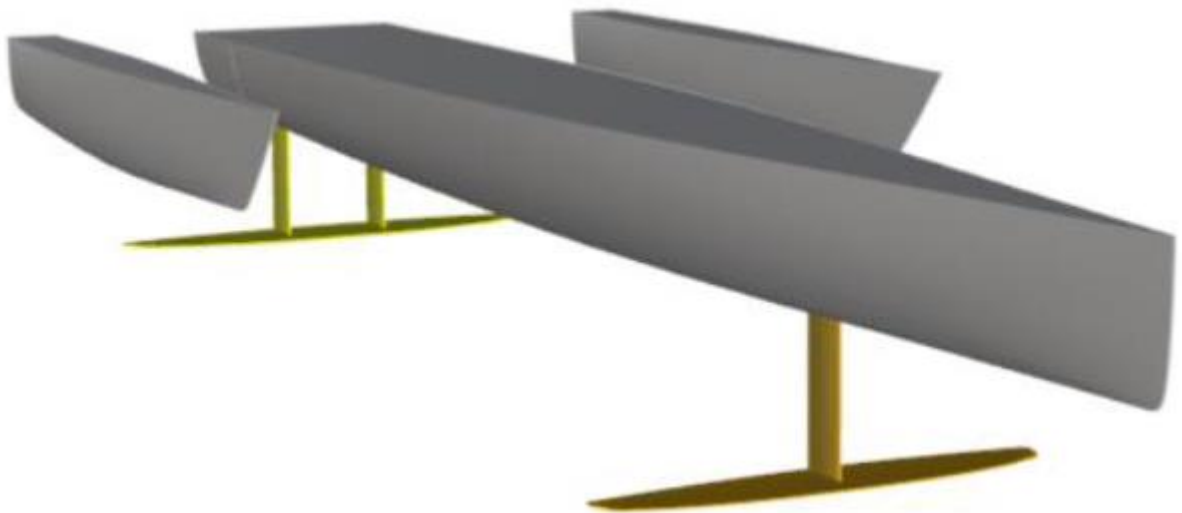
Innvendig avstivning vil i skroget først og fremst bestå av sandwich skott. For salong vil det bygges opp rammer som også støttes opp av søyler.

Karbonsandwichskroget bygges med basis i vakuumbestøpning, hvor det anvendes sydde matter av egnet karbonfiber som mettes i vinylester og kjerner av PVC skum.



Figur 2-2: Skrogdesign for ZEFF konseptet

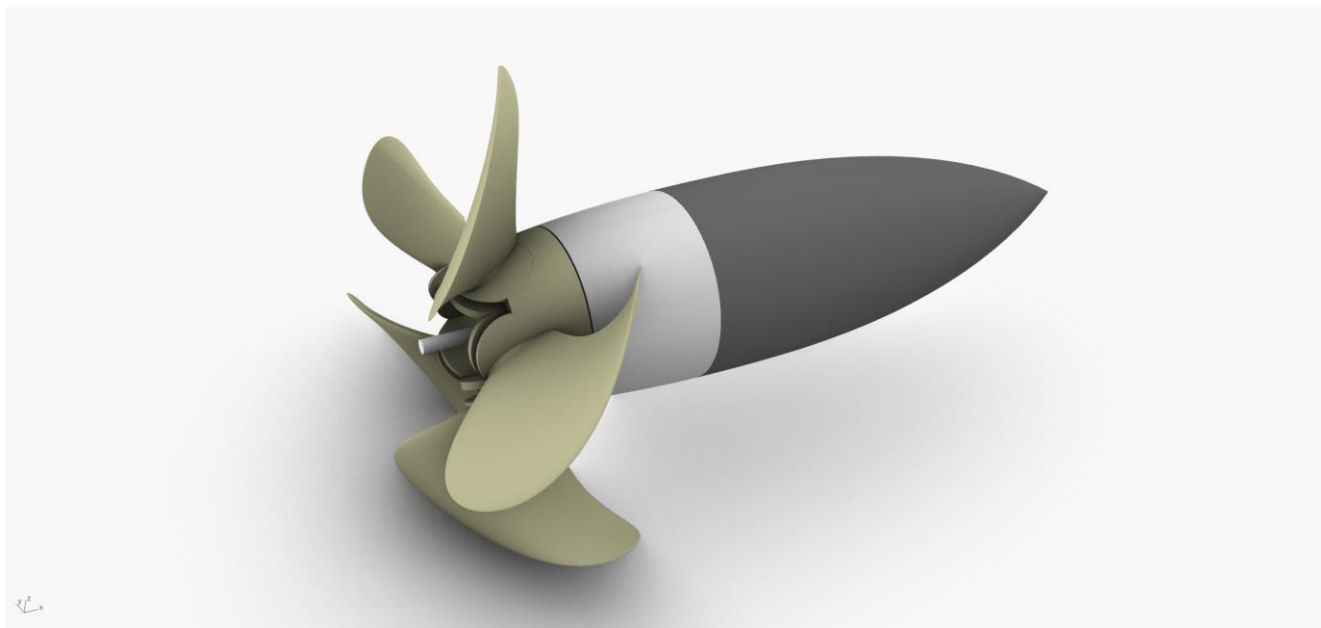
2.2.1 FOILDESIGN MED INTEGRERT PROPULSJON



Figur 2-3: Foil-systemet for ZEFF konseptet

Foil-systemet vi ser for oss er vist i figur 2-3 og består av en stor foil akter som strekker over det meste av fartøyets bredde, som er støttet opp mot skroget med to stykk struts, som har propulsjonssystem integrert og som er designet for å bære hoved andel av fartøyets vekt (fartøys langskips tyngdepunkt er relativt langt akter). I tillegg ser vi for oss en T-foil forut som kan ha mye mindre løftflate da denne kun bærer en liten andel av fartøys vekt.

Figur 2-4 viser konseptet ServoPOD integrert propeller i foil-systemet, som utvikles av Servogear.

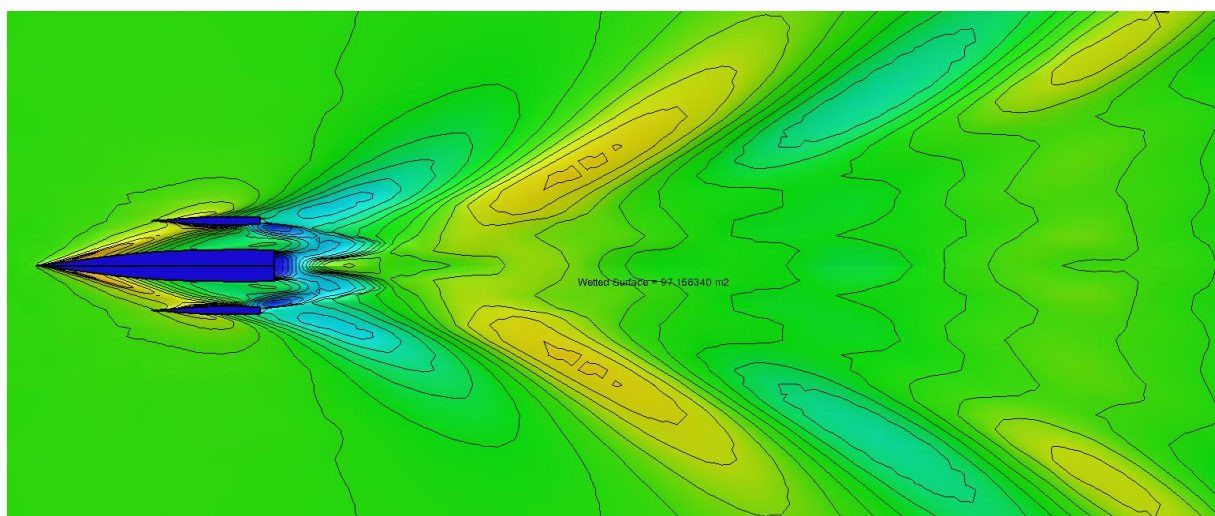


Figur 2-4: ServoPOD Propeller-design som integreres i foil-systemet

2.3 HYDRYNAMISK- OG AERODYNAMISK ANALYSER FOR OPTIMERING

LMG har utført CFD analyser av skroget, som er verifisert av modell/slepetank-tester ved SSPA. Skrog og foil-design vil optimaliseres i den videre utviklingsprosessen, hvor vi i skrivende stund har et godt verifisert effektbehovet for fartøyet i ulike hastigheter.

Utviklingsarbeidet er i hovedsak basert på 275 passasjer versjonen av ZEFF, hvor vi har skalert løsningene for en 125 passasjer versjon.

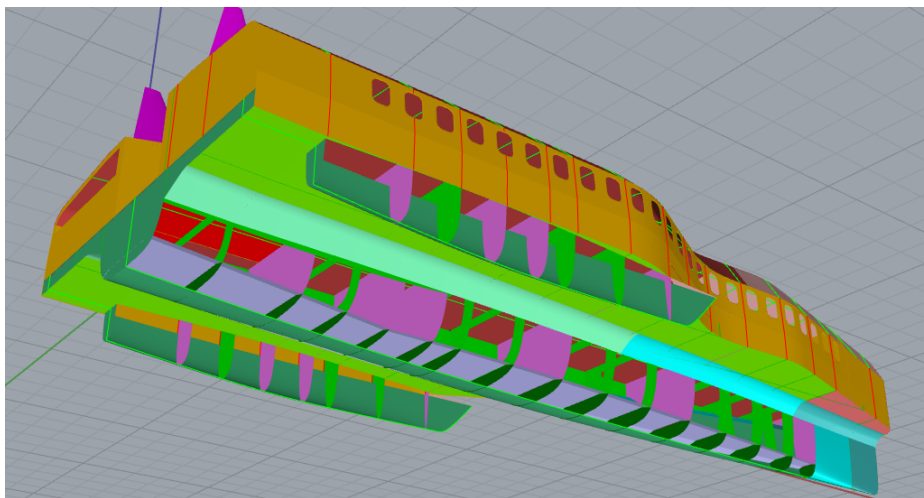


Figur 2-5: CFD analyse av skrog og foil-system

Hoved- og side-skrogens plassering er optimalisert i forhold til hverandre gjennom CFD analyse-arbeidet. Flere ulike foil-systemer, geometrier og plasseringer er studert i CFD software, hvor modell-tester his SSPA er utført på det mest lovende designet i stille vann og i ulike bølgerhøyder. Resultatene fra modell/slepetank-testene viser god korrelasjon med CFD analysene.

2.4 VEKTBESPARELSER GJENNOM MATERIALVALG OG OPTIMALISERING

Skrog: Lettvekts karbonsandwich konstruksjon er valgt for å gi en lav vekt for båten, samtidig som at konstruksjonen skal være bygge vennlig. Vi har utviklet en strukturelement-modell av båten som gir oss et meget godt anslag på strukturvekten. Design er basert på DNVGL regelverk for hurtiggående båter og er optimalisert basert på en FEM-analyse.



Figur 2-6: Strukturelement modell

Fremdrift og kraftgenerering: For fremdrift og kraftgenerering basert på nullutslipp erkjenner vi at løsninger som tilbys i markedet per i dag medfører betydelig høyere vekt enn et konvensjonelt dieselmekanisk anlegg. Vi har dog satt oss som mål i prosjektet å oppnå tilsvarende vekt for et nullutslippsanlegg som det dieselmekaniske.

Øvrig utrustning: Som del av prosjektarbeidet ønsker en også å se på potensial til å redusere vekt av øvrig utrustning. Her vil en ta for seg de største vekt-bidragene en tradisjonelt har i en hurtigbåt og jobbe med reduksjonspotensial, typisk systemer som:

- MES evakueringsløsning
- MOB funksjon
- Dekksbelegg
- Isolasjon
- Seter
- Vinduer

Arrangement: En viktig mulighet for vektreduksjoner er evnen til å lage et kompakt design. Dess mer kompakt dess lavere vekt vil vi klare å oppnå. Her er eksempelvis arealkrav til salong en drivende faktor. Vi observerer at andre transportmidler som busser, trikker, tog og fly har langt høyere «pakketetthet»

av passasjerer enn det som kreves på en hurtigbåt. Her er det kundens krav samt krav til universell utforming som er utslagsgivende.

2.5 KAIGRENSESNITT

Et fartøyskonsept ala ZeFF vil kreve et tilpasset grensesnitt mot kai. Da foilene vil stikke relativt dypt når fartøy er av løft kan en med dagens kaianlegg stå i fare for grunnberøring ved lavvann. Eksisterende kaier vil også ha utfordringer hva gjelder arealkrav til nullutslipps bunkringsanlegg. Vi ser det derfor som hensiktsmessig å innføre tilpassede løsninger basert på flytekaier for hver stopp. Flytekai-løsninger er en gunstig løsning uansett hurtigbåtkonsept da en eliminerer utfordringer med ombordstigning ved varierende tidevann. Foreslåtte løsninger er videre beskrevet i kapittel 4.

2.6 ENERGISYSTEMET OMBORD

Kapasiteter og ytelser for energisystemet om bord er basert på rutestudier beregning som er presentert i kapittel 5 basert på eksisterende rutetabeller for Trondheim – Kristiansund for ZEFF 275 pax, hvor det er installert 2200 kW med brenselceller og 50 kWh batteri.

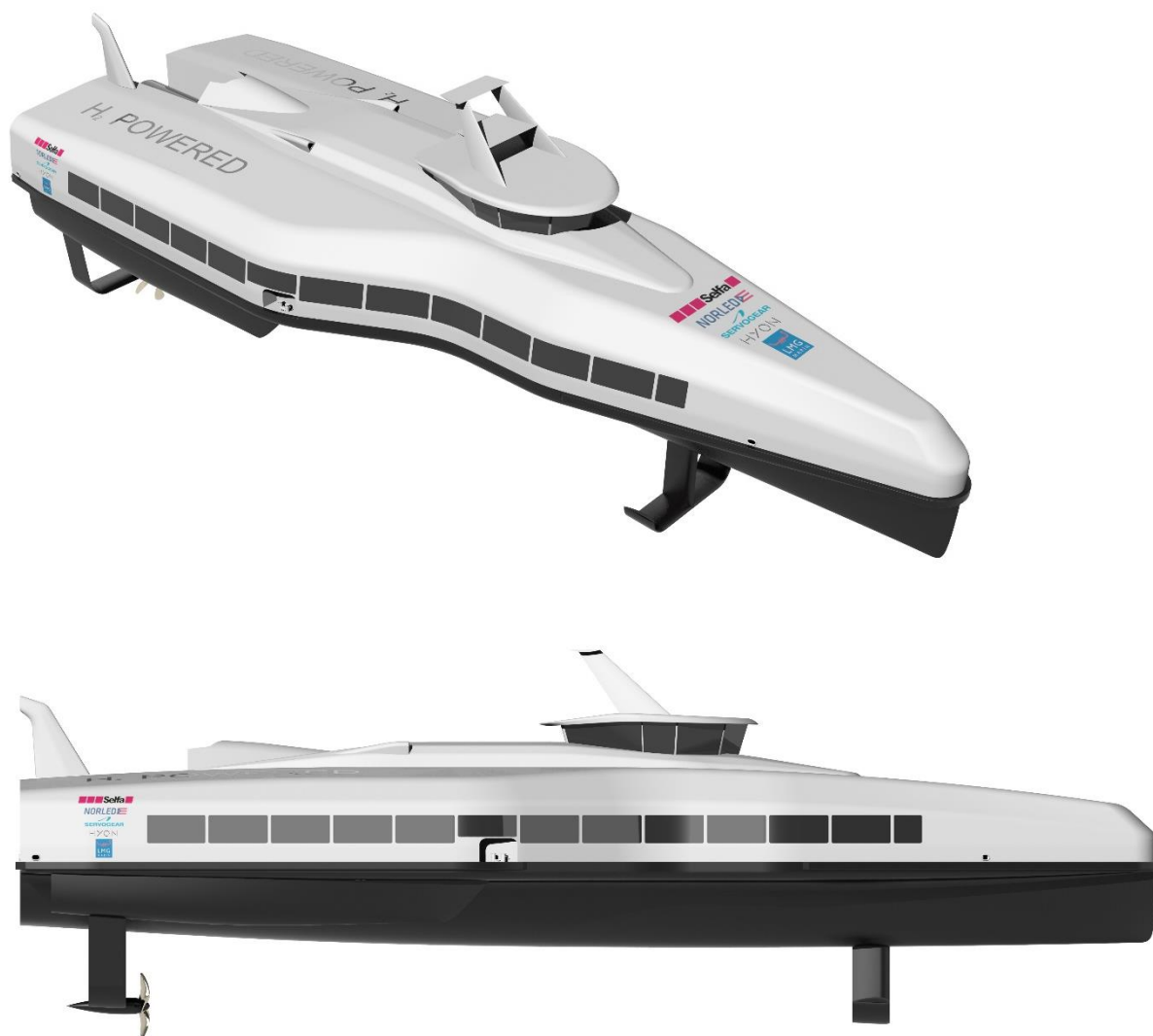
2.7 OPERASJONSBEGRENSNINGER FOR FOIL-BÅTER

ZEFF må minimum klare å operere etter samme operasjonsbegrensninger som dagens katamaraner.

En foilbåt med et ride-kontroll-system er mer behagelig under gange i røft vær enn katamaraner når den går på foiler opp til en fastsatt bølgehøyde. Denne operasjonsgrensen er for tidlig å konkludere med pt., men designkravet er at ZEFF skal kunne operere i samme eller høyere sjøtilstand som dagens katamaraner.

2.8 VISUALISERING AV ZEFF KONSEPTET

Figur 2-7 visualiserer ZeFF konseptet.



Figur 2-7: ZeFF konseptet

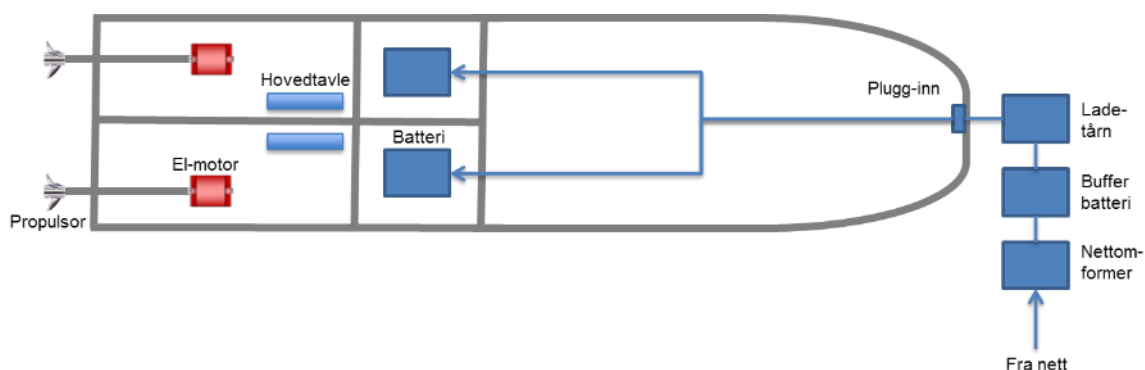
3. NULLUTSLIPPSTEKNOLOGI

3.1 BATTERILØSNING

Batteridrift krever et elektrisk fremdriftsanlegg ombord i fartøy bestående av følgende hovedkomponenter:

- Batterier med landstrøm hurtigladeanlegg
- (Eventuelt system for hurtigbytte av batterier)
- Omformere fra likestrøm til vekselstrøm (i fartøy eller på land)
- Hovedtavle moduler for kraftfordeling til forbrukere
- Kraftkabler
- Fremdriftsmotorer med turtallsregulering ut på propell
- Hjelpesystemer for kontroll/overvåking, kjøling, ventilering etc.

Løsningen med hurtiglading er prinsipielt vist i figur 3-1 (uten omformere og turtallsregulering vist).



Figur 3-1: Batterielektrisk fremdrift prinsippskisse (LMG)

Dette elektriske fremdriftsanlegget erstatter diesel hovedmotorer, generatorsett, hjelpesystemer (kjøling, brennstofftilførsel, eksos, fjernstyring etc.) og diesellager for den konvensjonelle dieselmekaniske løsningen. Utfordringen som en kommer tilbake til senere er at det ikke finnes samme grad av vektoptimaliserte løsninger for batterielektriske konsepter som tilfellet er for den tradisjonelle dieselmekaniske løsningen.

En ren batteribåt vil ta all sin energi fra el-nettet, og batteripakken om bord har til oppgave å lagre nok energi for operasjon til neste opplading. Batteriene om bord kan enten dimensjoneres for syklus per overfart eller for syklus per dag (eller kombinasjoner av disse). For dimensjoneringssyklus per overfart kan det oppnås en moderat batteristørrelse, men da er en også helt avhengig av å få nok tid ved hvert kaianløp til full opplading eller bytte av batteripakke.

Krav til landstrøm er betydelig for en batteribåt med hurtiglading, og langt utover normal landstrømkapasitet som er tilgjengelig per i dag på hurtigbåtterminaler. Kapasitet kan utbygges enten direkte fra nærliggende høyspenningsnett og/eller via bufferbatterier som står på land. For en bufferbatteriløsning vil en gjerne utnytte parallell opplading fra batteri og el-nett for å maksimere overføringskapasitet.

Det er viktig å merke seg at en batteribåt ikke er egnet til alle ruter. I tillegg til vekt- og volumhensyn ligger det en begrensning i hvor store batterier en kan forsvare rent økonomisk å investere i, og det finnes begrensninger i hvor stor ladestrøm en klarer å få til i praksis. En batteribåt bør derfor være optimalisert for lavest mulig energiforbruk som typisk kan oppnås med kombinasjon av redusert fart, lav skrogvekt og et minimum av energiforbruk til hjelpesystemer og hotell. Spesielt lav fart er virkningsfullt for å få ned energiforbruk, men dette er et middel som er på tross av fartøys intensjon (hurtig transport av passasjerer).

Batteribåt anses egnet for ruter hvor overfartslengde er begrenset eller moderat fart kan aksepteres (dvs. 25 knop eller lavere). Typisk bynære samband.

En har i dette studiet, og for dette alternativet valgt eksisterende komponenter og produkter som allerede anvendes, eller er i nær fremtid tenkt anvendt i andre maritime applikasjoner. Dette er produkter som er langt utviklet og allerede er nært markedsklare. Noe verifikasjon for denne spesifikke applikasjonen er nødvendig. Stikkordsmessig står en ovenfor følgende bevisbyrde:

- En av verdens første helelektriske plugg-inn hurtiggående passasjerferger.
- Store ladestrømmer nær passasjerområder.
- Installasjon i fartøy som ikke er bygget av stål (stål er i skipssammenheng referanse for brann- og eksplosjonssikkerhet)

Batteridrift vil bli benyttet i stort omfang for bilferger og flere utredninger for helelektriske hurtigbåter er pågående. Det finnes per i dag spesifikt maritimt regelverk for batterifartøy som kan legges til grunn.

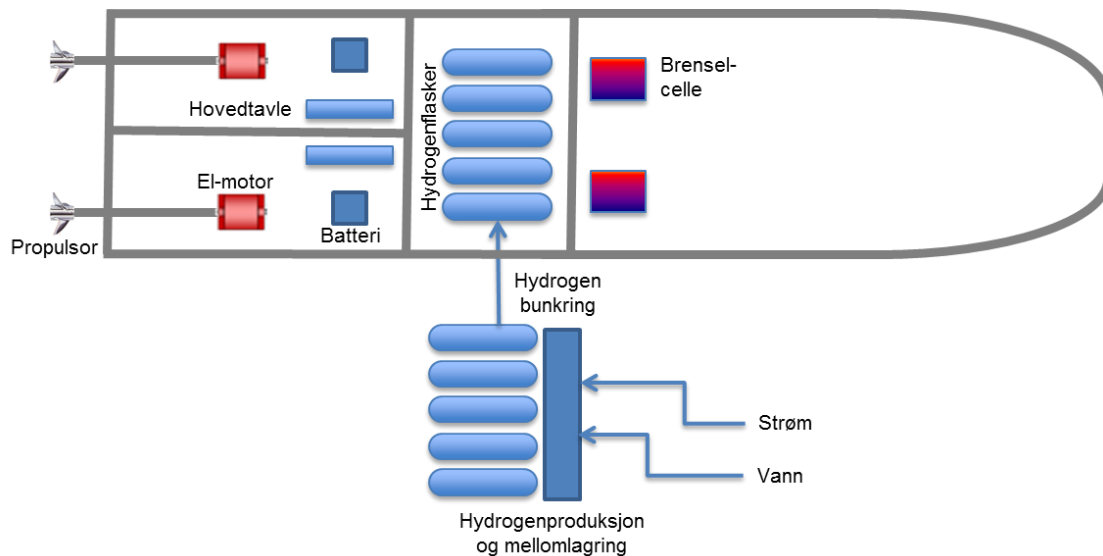
3.2 HYDROGENLØSNING

Konseptet for hydrogen er basert på hydrogen-drevne brenselceller med assistanse fra relativt små batterier. Normalt i transitt vil en operere i mode hvor brenselceller produserer all energi og batteri utfører «peak shaving» for å beskytte brenselcellen mot dynamisk lastvariasjon som følge av fluktuerende propulsor moment, og dermed ivareta relativt høy levetid på brenselcelle «stacker». I akselerasjonsfase vil batteri kunne levere kortvarig «boost» energi sammen med brenselcellene for å få fartøyet opp i hastighet så hurtig som mulig.

3.2.1.1 KONSEPT FOR KOMPRIMERT HYDROGEN

For komprimert løsning har en basert seg på lagring av hydrogen om bord i fartøy med kompositt trykkflasker på 250 bar. Mengde hydrogen lagret ombord begrenses til det absolutt nødvendige og typisk har en kapasitet for opptil en dag eller en tur. Videre baserer en seg på lokal hydrogenproduksjon ved elektrolyse av vann og hvor anlegget på land er dimensjonert for å produsere iht. fartøys behov.

En legger også opp til bufferlager av hydrogen på land og «tømming» over til lagertankene på båt ved hjelp av kaskade trykkutligning. Prinsipielt er løsningen vist i figur 3-2.



Figur 3-2: Hydrogen fremdrift prinsippskisse (LMG)

Eksisterende produkter er konstruert med tanke på bruk i andre applikasjoner enn hurtiggående fartøy. Det vil derfor være behov for en viss utvikling på systemet rundt, men ikke på celle-stack direkte. Per i dag har HYON og PowerCell følgende maritime godkjenninger:

- Brenselcelle-installasjon:
 - o Approval in Principle (DNV GL)
 - o Denne godkjenningen gjelder både brenselcelle og maskinrom uavhengig av kW kapasitet.
 - o Videre godkjenninger samt endelig godkjenning av hele fartøyet er del av prosjektgjennomføringen.
- Hydrogen trykktanker og tank system:
 - o ABS og USCG godkjenning er mottatt for helt lik applikasjon (hurtigbåt) men må godkjennes for hvert prosjekt da ingen type godkjenning er gitt ennå.

Stikkordsmessig står en ovenfor følgende:

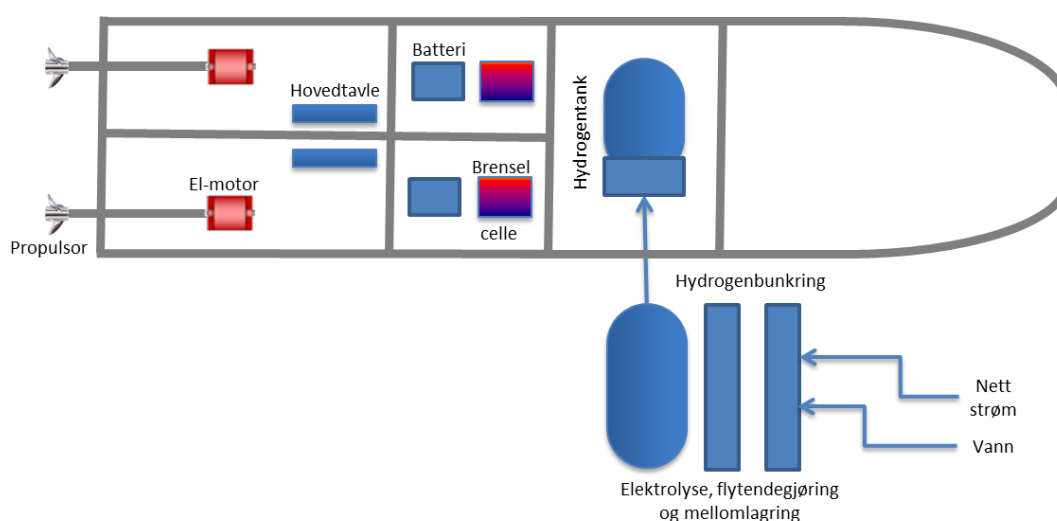
- En av verdens første maritime applikasjoner.
- Sannsynligvis Norges første applikasjon for hurtiggående fartøy (over 30 knop).
- Komplette maritimt regelverk ikke etablert ennå.
 - o DNV GL har klasseregler for brenselcelle-installasjon.
 - o ABS og USCG har allerede godkjent trykksatt hydrogenlager og tanksystem
 - o En «Alternative Design Approach», iht. IMO IGF Code, Part A, som henviser til IMO MSC.1/1455, er en god og strukturert metode for å rettferdiggjøre sikkerhet og få godkjent løsninger hvor spesifisert regelverk ikke er fullt utviklet.
- Installasjon i fartøy som ikke er bygget av stål (stål sammen med brannisolasjon er i skipssammenheng referanse for brann- og eksplosjonssikkerhet)
 - o En løsning for brenselcelle-installasjonen er å installere den i eget maskinrom utført i vektlett metall legering kledd med brannisolasjon for å kunne stå imot en teoretisk eksplosjon og brann, eller beskytte kompositt materialet med egnet brann-isolasjon samt dimensjonere kompositt strukturen i skipet tilstrekkelig. Eksplosjons-panel som dirigerer eksplosjonslast i en ønsket retning før integritet av kompositt strukturen er tapt vil også være relevant. Langvarig brann i et maskinrom med brenselceller blir forhindret ved å

beskytte kabler og unngå brennbare materialer. I tillegg vil hydrogen tilførsel bli stoppet ved teoretisk hydrogen-lekkasje/brann og røyk alarm. Den vesle mengden hydrogen som vil kunne være tilstede i brenselcelle rommet vil brenne opp i løpet av få sekunder. Videre kan man ha doble rør med inert gass i mellomsjiktet hele veien fra hydrogen lager til selve brenselcelle modulen.

- Relativt stor hydrogeninstallasjon sammenliknet med eksisterende bruk innen kollektivtransport.

3.2.1.2 KONSEPT FOR FLYTENDE HYDROGEN

Figur 3-3 viser prinsippene for et konsept for drift med flytende hydrogen.



Figur 3-3: Konsept med flytende hydrogen – prinsippskisse (LMG)

Konseptet bygger på å ha et lager for flytende hydrogen på åpent dekk basert på kjent tankteknologi brukt i transport og annen industri, som utvikles sammen med ledende teknologileverandører (Linde Engineering). Det vil bli anordnet oppsamlingstrau under alle installasjoner hvor det er fare for at flytende hydrogen kan lekke ut, hvor det er antatt at LH2 vil fordampe til luft uten at det dannes «dammer av hydrogen» i trau med fare for overfylling og påvirkning på andre områder på fartøyet. Dette vil gi en sikker plassering på fartøy og beskytte mot eventuelle utslipp av flytende hydrogen mot passasjerer. Videre vil det arbeides med dispersjonsanalyser for å vise at hydrogen stiger til værs uten å påvirke passasjerområdene. Tilsvarende vil eksplosjonsanalyser utføres for å gi innspill til design for å utvikle tilstrekkelige barrierer mellom hydrogensystemet og øvrige områder på fartøy.

Hydrogenprosessering og omforming til elektrisk energi gjennom PEM brenselcelleteknologi vil skje i nær lokasjon til tankanlegget på fartøyet. Med denne plasseringen sikres best mulig ventilerings og et begrenset område for gass-spredning ved en eventuell lekkasje av hydrogen.

Bunkringsløsningen kan baseres på en løsning som brukes av Linde Kryo til å overføre hydrogen mellom landbaserte tanker og trailere i Europa/USA i dag. Konsortiets erfaring med LNG bunkring kan også benyttes i utviklingen av en trygg og effektiv bunkringsoperasjon sammen med Linde Engineering. Flytende hydrogen overføres fra en fastmontert lagringstank på land, via rør til en bunkringsstasjon og derifra gjennom en fleksibel slange, som er vakuumisolert og som kan håndteres av personell uten fare for å bli utsatt for lave temperaturer eller trykk, til fartøys lagertank. Lagertanken på land vil også ha et

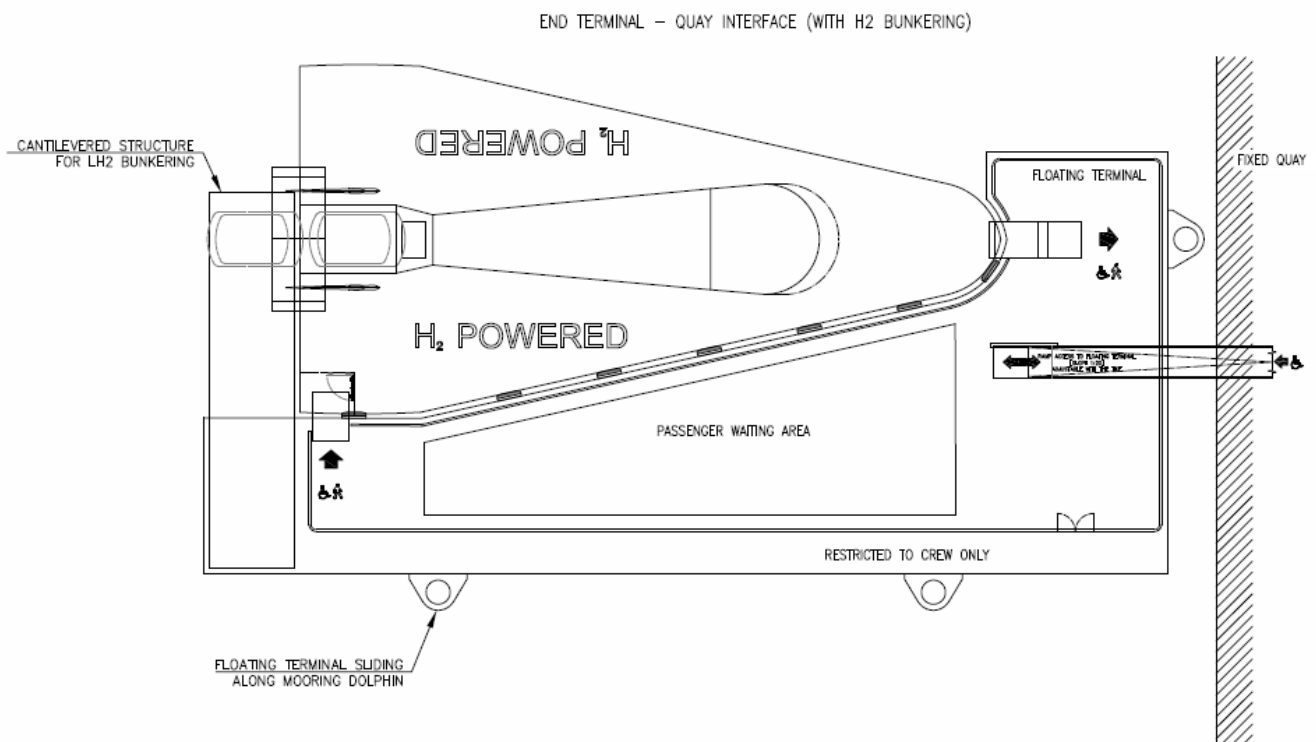
oppsamlingstrau for eventuelle hydrogenlekkasjer som skal gi beskyttelse mot publikum som kan oppholde seg i området og den vil ha en ventilasjonsmast til å håndtere normal boil-off og eventuelle nødsituasjoner hvor store mengder hydrogen må ventileres.

4. LADE- OG BUNKRINGSTEKNOLOGI

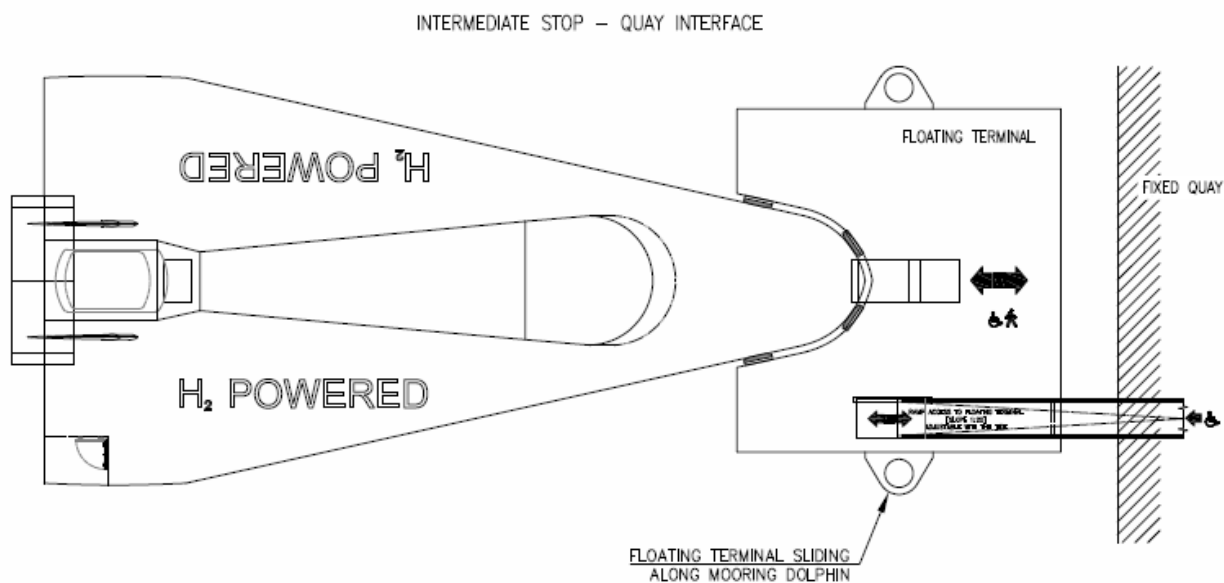
4.1 FLYTENDE TERMINAL FOR PASSASJERER, FORTØYNING, LADING OG BUNKRING

Konsortiet har utviklet en ny flytende terminal-løsning for operasjon av de nye hurtigbåtene. Terminalene er særlig beregnet på ZEFF-konseptet hvor en løsning for ende-terminaler er vist i Figur 4-1 og en mindre omfattende terminal-versjon for stoppene underveis på en rute (Trondheim-Kristiansund) er vist i Figur 4-2.

Terminalene er enkle konstruksjoner og vil effektivisere anløpene (mindre tidsbruk) som gjør at rutefart kan reduseres, eller at man kommer seg forttere frem, slik at mer-kostnadene ved slike terminaler vil betale seg i løpet av en viss periode. Terminalene kan benyttes ved eksisterende kaier.

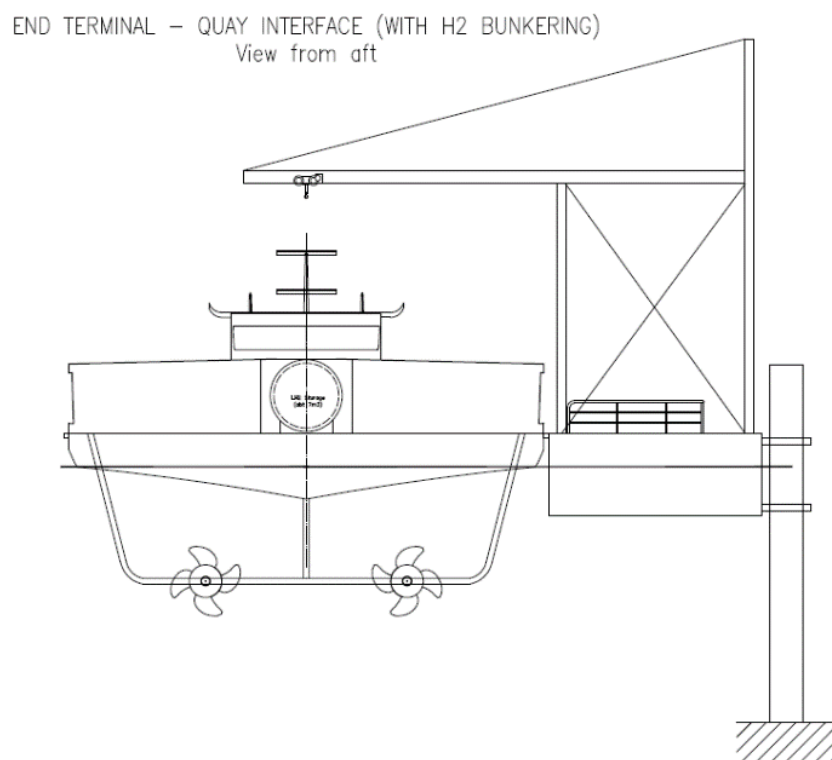


Figur 4-1: Endeterminalkonsept for hurtigbåter med mulighet for integrerte løsninger for lading og bunkring, samt passasjer tilkomst



Figur 4-2: Terminal konsept for hurtigbåt-stopp underveis på en rute med passasjer tilkomst

Endeterminalen har løsning for hydrogenbunkring som en integrert del av løsningen hvor hurtigbåten seiler under en over-hengende struktur hvor hydrogen-bunkring foretas fra, som vist i Figur 4-3. I en slik struktur kan også batteri-lading integreres.



Figur 4-3: Prinsipp med hydrogenbunkring og/eller lading i struktur over fartøyet

5. RUTESTUDIE

5.1 TRONDHEIM – VANVIKAN (RUTE 810)

Rute 810 er et relativt kort samband som i 2024 kan ligge godt til rette for bruk av batterier som energibærer. Pr i dag er det vanskelig å få til bruk av batterier uten at liggetider mellom avganger forlenges, eller at det brukes batteri-bytte. Vi har utviklet et 25 knops 125 pax ZEFF fartøy for denne ruten som har et energibehov utifra elektrisk tavle på ca. 245 kWh for hver overfart.

Dette gir en batteri-pakke installert om bord på ca. 360 kWh, som kan full-lades på 30 min hvor C-raten til batteriene er 1,5 og utnyttelsen av batteriene er 70% DoD. Batterikjemi, kjøleteknologi, vekt og tålegrenser for lading og utlading er i stor utvikling.

For dette batterifartøyet er budskapet vårt at en bør se for seg en viss justering av rutetabell for å komme frem til en hensiktsmessig løsning for å sikre tilstrekkelig ladetid, eller bytte av batteripakke, i sammenheng med endelig design av batteri-pakken om bord.

Om batteri-drift er utfordrende på denne ruten kan en hybrid batteri-brenselcelle drift vurderes som vil utligne risikoen for utlading av batteri-pakken om bord i rush-tiden når båten skal seile kontinuerlig.

5.2 TRONDHEIM – BREKSTAD (RUTE 805)

For rute 805 har vi utviklet en 35-knops 125 passasjer ZEFF båt som er basert på hydrogendrift med kun en liten batteriinstallasjon ombord. Denne bruker 1370 kWh basert på hydrogen-drift per overfart, hvor det er antatt 50% effektivitet for brenselcelleanlegget og det er hydrogenforbruk på ca. 41 kg per overfart.

Denne ruten har noen inaktive tidsperioder i løpet av dagen og ca. 6 timer inaktiv tid i løpet av natten, som kan benyttes for hydrogenbunkring. En tilrettelagt bunkringsstasjon på Brekstad, samme som for rute 800, vil være en god økonomisk og operativ løsning.

En løsning for hydrogen for denne ruten vil være en god og robust løsning som er gjennomførbar teknisk og operativt. En slik løsning vil ha ingen innvirkning på dagens rutetabell, hvor ZEFF teknologien også legger til rette for høyere hastigheter (40 knop) med en beskjeden økning i energiforbruket.

Hydrogen kan hentes med lastebil eller kontainer-baserte løsninger fra kommende produksjonssteder som planlegges i Glomfjord eller Tjeldbergodden.

Konsortiet mener det et utfordrende med en batteri-drevet båt på denne ruten med dagens batteri-teknologi. Det trengs ca. 617 kWh strøm fra batteriene per overfart. Dagens batteri-teknologi som har lavest vekt gir oss 10 kWh/75 kg som resulterer i en installert batteri-pakke på minimum 7 tonn.

Lading av en slik batteri-pakke vil kreve ca. 40 min ladetid basert på 1 MW lade-effekt (1C rate), hvor batteri-bytte kan være et alternativ om dette er praktisk mulig å installere og operere innenfor rutetabellen.

5.3 TRONDHEIM – KRISTIANSUND (RUTE 800)

For rute 800 har vi utviklet en 35-knops 275 passasjer ZEFF båt som er basert på hydrogendrift med kun en liten batteriinstallasjon ombord. Data gitt i tabell 5-1.

Den beste operative løsningen er å fylle hydrogen på nattestid for begge båtene på hhv. Brekstad og Edøy. Her kan en effektiv og sikker hydrogenfyllestasjon etableres. Den effektive mengden som trengs bunkres per natt er drøye 1 tonn med hydrogen, hvor da lagringskapasiteten ombord må ta hensyn til regelverk og lagringstankens egenskaper til å beholde trykk og temperatur.

En løsning for hydrogen for denne ruten vil være en god og robust løsning som er gjennomførbar teknisk og operativt. En slik løsning vil ha ingen innvirkning på dagens rutetabell, hvor ZEFF teknologien også legger til rette for høyere hastigheter (40 knop) med en beskjeden økning i energiforbruket.

Hydrogen kan hentes med lastebil eller kontainer-baserte løsninger fra kommende produksjonssteder som planlegges i Glomfjord eller Tjeldbergodden.

Det er en utfordring med en batteri-drevet båt på denne lange ruten med slike store energibehov og dagens batteri-teknologi, hvor det trengs ca. 5 MWh for å seile strekningen Trondheim – Kristiansund. En ladeløsning på de ulike stoppene underveis vil gå utover rutetabellen med forholdsvis lange stopp underveis for lading. Tilsvarende vil en løsning med batteri-bytte på hvert stopp også medføre lengre stopp enn dagens rutetabell tar høyde for.

Tabell 5-1: Data for rute 800

ZEFF ROUTE 1	units	data collection interval
Fuel cell type		MS- 100
End of life value		5
H2 consumption for 1 full rotation	kg	311
H2 consumption for 1 day (mon-th)	kg	1,073
H2 consumption for 1 day (fr)	kg	1,054
H2 consumption for 1 day (sat)	kg	401
H2 consumption for 1 day (sun)	kg	659
Identified bunkering port 1		Trondheim
Identified bunkering port 2		Edøy
Max H2 consumption between 2 bunkering ports	kg	259.03
Max energy consumption between 2 bunkering ports	kWh	8636.11

6. KOSTNADER

6.1 ANSKAFFELSE (CAPEX)

Vi ser det som en fordel for begge parter at anskaffelseskostnader for ZeFF konseptet ikke presenteres før en har et bedre grunnlag å basere det på. For et slikt arbeid kreves det et videre tett samarbeid med verft og nøkkel-leverandører for å kunne gi gode tall for et CAPEX-budsjett.

Investeringskostnadene vil bli sammenlignet med dagens diesel-drevne katamaraner som Norled opererer i dag.

6.2 DRIFT (OPEX)

Det legges til grunn at alle driftskostnader (mannskap, osv.) blir som før, mens det arbeides med å redusere drivstoff-forbruket.

Omregnede energipriser på en forenklet måte er gitt i Tabell 6-1, hvor det påpekes at tap i energisystemet vil variere med ulike løsninger, hvor tallene i tabellen gir en indikasjon på forholdene mellom de ulike energiformene som er vurdert.

Prisen på hydrogen er usikker da det knapt er etablerte leverandører som tilbyr hydrogen i de mengder som slike samband (som vi ser på) krever. Konsortiet arbeider med et par initiativer hvor man har estimater på hydrogen-pris på +/-20%.

Tabell 6-1: Energipriser for ulike drivstoff-alternativer per enhet og kWt levert ut fra el-tavle

	Diesel	Bio-diesel	Batteri m/strøm fra nett	Trykksatt hydrogen	Flytende hydrogen
Per enhet (NOK)	6	13	0,8	40	50
Omregningsfaktor	3,3	3,3	1	16,5	16,5
Pris pr kWt (NOK)	1,81	3,94	0,8	2,42	3,03

Arbeidet viser helt klart at et nullutslipps ZeFF konsept er interessant å arbeid videre med, men det er for tidlig å gi tall på driftskostnadene for et slik fartøy. Dette er også på bakgrunn av den usikkerheten som vi ser angående kostnadene for hydrogen, både trykksatt og flytende.

Utviklingsarbeidet må ha mer tid til å konkretisere de tekniske løsningene for konseptet og det kreves et tett samarbeid med leverandører for å kunne gi gode tall for et slikt OPEX-budsjett.

Driftskostnadene vil bli sammenlignet med dagens diesel-drevne katamaraner som Norled opererer i dag.

7. APPENDIX 1 – SIKKERHETSVURDERINGER

7.1 INNLEDNING

Konsortiet arbeider med sikkerhetsvurderinger av fartøyet og er i gang med en prosess med Sjøfartsdirektoratet for å gjennomføre en IMO Circ. 1455 prosess for å vise at ekvivalent/alternativ design har et like høyt sikkerhetsnivå som et diesel-drevet fartøy. Denne prosessen skal lede frem til en foreløpig godkjennelse av fartøysdesign.

Prosjektet vil gjennomføre HAZID'er sammen med Sjøfart for fartøy og dets hydrogensystemer med et eget fokus på bruk av batterier og hydrogen ombord.

Det er i parallell til dette prosjekter under utarbeidelse vurderinger av hvordan hydrogen oppfører seg ved utslipp i ulike former av fysisk tilstand, trykk og temperatur. Dette vil gi innsikt til designutviklingen av fartøyet for å sikre en trygg operasjon av hydrogensystemet om bord og eventuelle hendelser.

DNVGL utarbeider regelverk for «Fuel Cell Space» som er gyldig fra 01.01.2018, mens regelverksarbeidet ikke fokuserer på «Storage space».

Områdeklassifisering er en metode for å analysere og klassifisere miljøet der eksplosiv gass atmosfærer kan forekomme. Hovedformålet er å legge til rette for riktig valg og installasjon av apparater som skal brukes trygt i dette miljøet, tar hensyn til egenskapene til brennbare materialer som vil være til stede. Farlige områder klassifiseres i soner basert på en vurdering av hyppigheten av forekomsten og varigheten av en eksplosiv gass atmosfære, som følger:

- Sone 0: et område der en eksplosiv gass atmosfære er tilstede kontinuerlig eller i lange perioder;
- Sone 1: et område hvor en eksplosiv gass atmosfære trolig vil skje ved normal drift;
- Sone 2: et område der en eksplosiv gass atmosfære sannsynligvis ikke vil oppstå i normal drift, og hvis den inntreffer, vil bare finnes en kort tid.

Disse områdene omtales ofte som ex-soner og dette uttrykket er benyttet mye i dette dokumentet.

Sonedefinisjon/områdeklassifisering, ifølge standarden IEC 60079-10-1:2015, som er standard for maritimt skal i utgangspunktet følges. Dersom det avdekkes elementer i risikovurderingen eller andre områder underveis i prosessen, vil denne standarden, ifølge Sjøfartsdirektoratet, muligens ikke være tilstrekkelig. Risikoanalysene skal danne grunnlag for en slik vurdering.

Dette arbeidet vil forholde seg primært til risikoanalyseprosessen med Sjøfart, men dokumenter utvikles også med tanke på dokumentasjon ovenfor DSB hvor HAZID foretas for bunkringsoperasjonene, vurderinger av sikkerhetssoner og dimensjonerende hendelser er del av dokumentasjonen som utvikles. Sikkerhetsfilosofi bunkring av hydrogen vil bli utviklet på basis av tilsvarende og godkjent filosofi som Norled har for fylling av LNG og basert på DSB retningslinjer.

I henhold til brann- og eksplosjonsvernloven fra DSB er alle bedrifter som håndterer farlige stoffer, pliktig til å sikre at håndtering utføres på en måte som sikrer offentlig og miljømessig sikkerhet. Sikkerhetsnivået må etableres gjennom tekniske og organisatoriske tiltak i virksomheten, muligens i kombinasjon med fysiske barrierer. DSB har laget to tematiske guider og en tematisk rapport som er spesielt relevant for etablering av hydrogenstasjoner:

- Tematisk rapport om sikkerhet rundt anlegg som håndterer farlige stoffer; Kriterier for akseptabel risiko
- Tematisk veiledning om lagring av farlige stoffer
- Tematisk veiledning om avhending av farlige stoffer

Ifølge disse retningslinjene er det krav til vurdering og dokumentasjon av risiko. Dermed må en risikovurderingsstudie for denne hydrogen bunkringsstasjonen utføres.

7.2 OVERSIKT REGLER OG FORSKRIFTER

7.2.1 BATTERI

DNVGL har utviklet regelverk for batteri-drevne skip som benyttes til bl.a. fergebygging i Norge for tiden.

7.2.2 HYDROGEN OG BRENSELCELLER

Regelverket et mangelfullt innen bruk av brenselceller og hydrogen til havs. En oversikt for disse manglene i regler og forskrifter fra IMO og DNVGL er oppsummert i tabell 7-1.

Tabell 7-1: Status på regler og forskrifter fra IMO og DNVGL for hydrogen og brenselceller

	IMO	DNVGL
Brenselcelle installasjoner	1. Det finnes ingen forskrifter 2. Utvikling pågår. 3. IGF-kode del A krever alternativ design metode som skal følges (dvs. IMO MSC.1 Circ. 1455)	4. Regler eksisterer, men ikke med lovpålagte krav 5. Siste versjon lansert i juli 2019, som er regulatoriske krav med detaljert forskrifter.
Hydrogen bunkring og lagring	6. Det finnes ingen regulering 7. IGF-kode del A krever alternativ design metode som skal følges (dvs. IMO MSC.1 Circ. 1455)	8. Ingen eksisterende regler 9. Følger IMO

En annet aspekt som er nevnt i denne forbindelse er mangelen på harmonisering i prosedyrer for bruk av hydrogen og brenselceller ombord på skip generelt. For eksempel er det ingen standarder for hydrogenbunkring eller bunkringsteknologi, og ingen lagertanker for komprimerte eller flytende hydrogen er klassifisert for maritim bruk.

I de påfølgende paragrafene gis en kort oversikt over utviklings- og verifikasjonsbehov for regler og forskrifter for hydrogenverdikjeden i den maritime sektoren:

Hydrogenbunkring

Det er et behov for regler og prosedyrer som dekker både flytende og komprimert hydrogenbunkring. Prosedyrer for risikostudier og teknologikvalifisering vil være nødvendige for de første prosjektene. Alle de tre områdene; lovmessig, harmonisering og kunnskap må utvikles. Det finnes dokumentasjon og erfaring fra onshore hydrogensystemer, inkludert sikkerhetsstudier av store lagrings og bunkringsfasiliteter. For flytende hydrogenbunkring er den maritime industriens LNG-erfaring svært relevant, selv om hydrogenegenskapene er svært ulik fra LNG og må forstås.

Hydrogenlagring ombord

For både flytende og komprimert lagringsteknologi er kvalifisering, godkjenning og sertifisering nødvendig og kreves. Tankarrangement og tilslutninger (ventiler, etc.) er under utvikling og må oppfylle kravene fra klasse og flaggstat. Det må defineres hvilke lekkasje-scenarier, operasjoner og «fail safe» scenarier som skal danne retningslinjer for studier som skal utføres, slik som CFD analyser av spredning, antennelse og eksplosjonshendelser. Slike analyser vil gi innspill til design av strukturelle arrangement og ventilasjonssystemer og vil utgjøre en viktig del av risikoanalyse og systemdesign utvikling.

Hydrogendistribusjon ombord

Fordelingen fra lagertanker til Brenselcelle rommet er et område med liten erfaring og aktsomhet må vises når en skal utforme P&ID for ventiler og rør for å oppnå et trygt design. Sikkerhetsviktige lekkasje- og «fail safe» scenarier må defineres så man får utformet alle nødvendige prosess- og sikkerhets systemer.

Brenselcelle-system

Brenselcelle/brenselcellerom-hendelser som oppfyller kravene til klasse og flaggstat må utvikles. Det må defineres hvilke lekkasje- og «fail safe» scenarier som skal danne retningslinjer for studier som skal utføres, slik som CFD analyser av spredning, antennelse og eksplosjonshendelser. Slike analyser vil gi innspill til design av strukturelle arrangement og ventilasjon system og vil utgjøre en viktig del av risikoanalyse og systemdesign utvikling. I tillegg skal man se på drift/ikke drift av brenselcelle-systemet i sammenheng med bunkrings-operasjoner, samt implementere inert gass-arrangement og prosedyrer som ivaretar sikkerhet og rensing/levetid av brenselcellene.