

H2 - NH3

SKOGSØY 42

ELEKTRIFISERING AV KYSTFISKEFLÅTEN VED BRUK AV BATTERIER OG BRENSELCELLER

Prosjektets hovedmål

Å utrede en godkjennbar systemløsning for et kystfiskefartøy med hybrid framdrift basert på batterier og brenselceller, både for hydrogen og ammoniakk som drivstoff. Løsningen skal i første omgang utvikles for et kystfiskefartøy med lengde mellom 10,9 og 14,9 meter og sjøvær på inntil 12 timer.

Partnere/bidragstere utenfor SINTEF

- Deltakere i prosjektet:

- Jan Einar Ervik, Ervik Kystfiske
- Tore Prestjord, GOT Norway
- Frode Skaar, Westcon
- Tomas Tronstad, HYON
- Geirmund Vislie, Gexcon

- Referansegruppe:

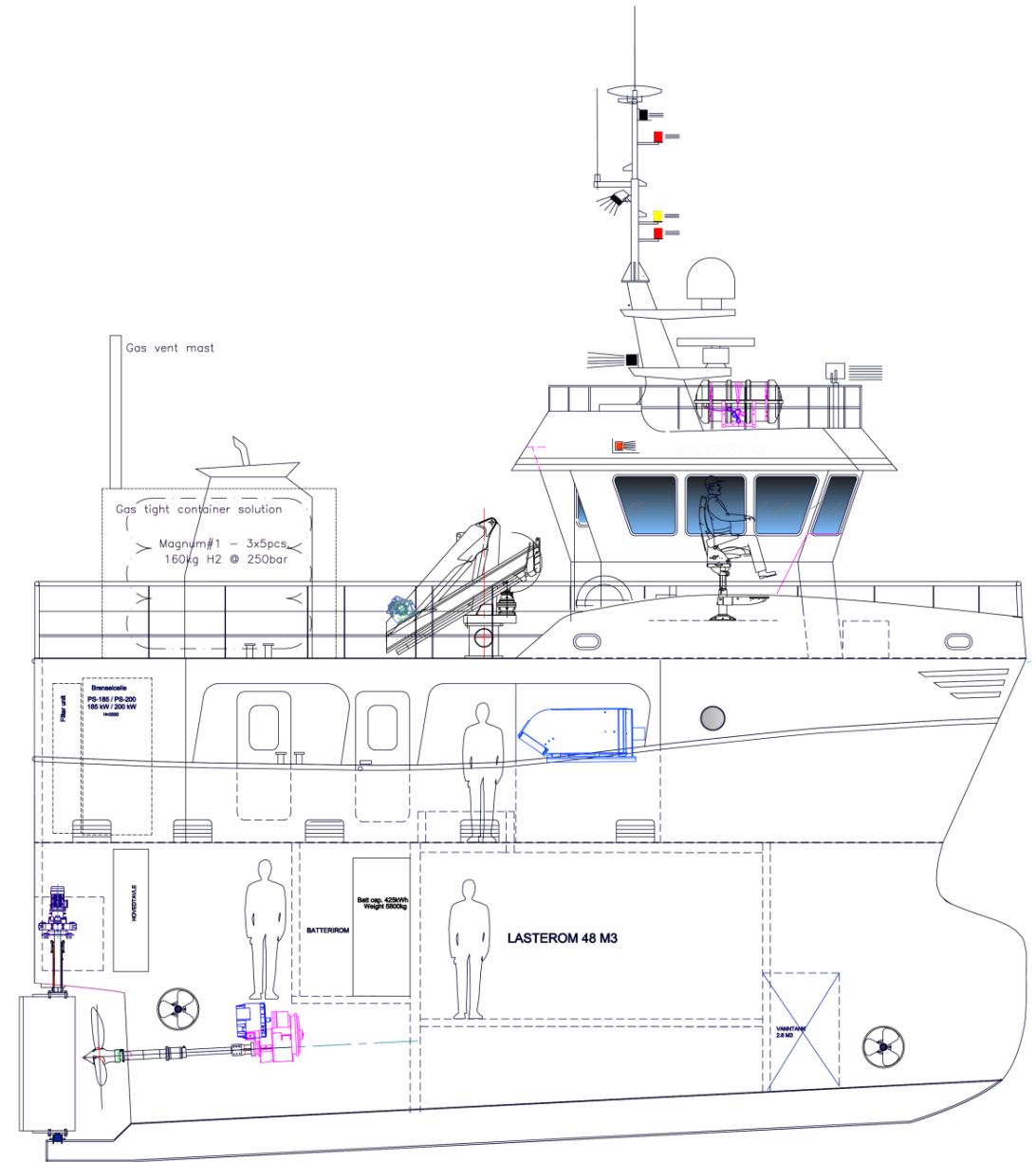
- Rob Stevens (til mai 2021), VP Ammonia Energy, Yara
- Kjell Richardsen, Næringsutvikler, Berlevågkommune
- Hilde Skjerven Bersvendsen, Seniorrådgiver, Troms & Finnmark Fylkeskommune
- Stein Arne Rånes, Seniorrådgiver, Troms & Finnmark Fylkeskommune
- Bernhard Kvaal, Senior prosjektleder, TrønderEnergi
- Magnus Runnerstrøm, Prosjektleder for hydrogen, TrønderEnergi
- Joakim Martinsen, Fagsjef, Norges Fiskarlaget
- Ivar Ingvaldsen, Sjøfartsdirektoratet



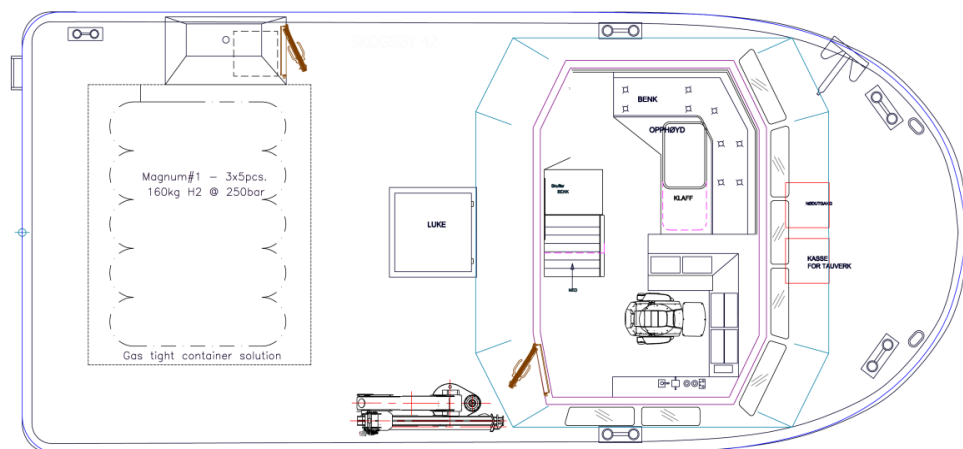
ARBEIDSPAKKE 2 GENERALARRANGEMENT

Generalarrangement

- Brenselcelle i eget rom på hoveddekk
- H₂/NH₃ tanker i gastett container på shelterdekk (*)
 - Ren H₂-drift gir ca 130 nm rekkevidde
 - Ren NH₃-drift gir ca 200 nm rekkevidde
- Batterier i bunnen av båten
- Mulighet for dieselgenerator i maskinrommet

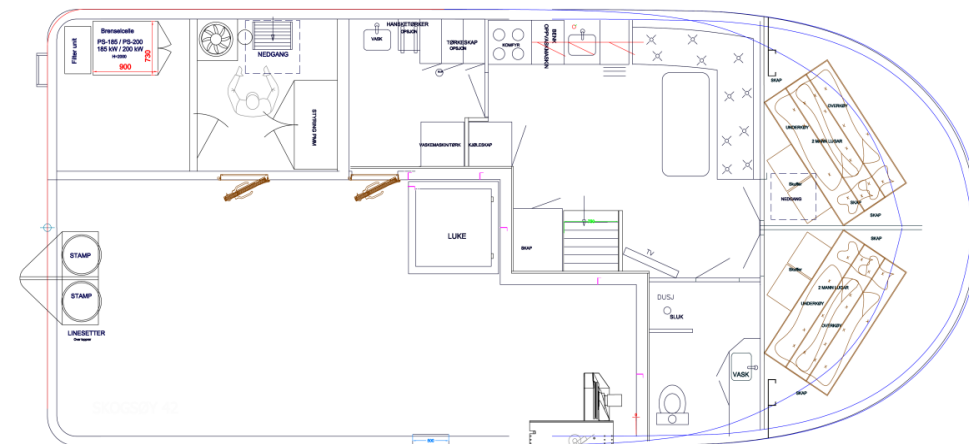


Generalarrangement



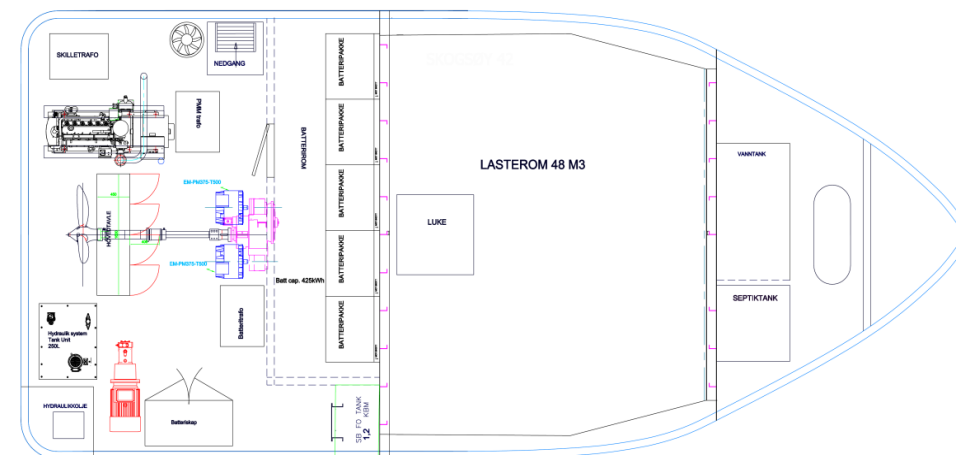
GLOBAL OCEAN
TECHNOLOGY
GROUP

FHF - ELEKTRIFISERING KYSTFISKEFLÅTEN
13m - H2 - LINEBÅT - GA - SHELTERDEKK



GLOBAL OCEAN
TECHNOLOGY
GROUP

FHF - ELEKTRIFISERING KYSTFISKEFLÅTEN
13m - H2 - LINEBÅT - GA - HOVEDDEKK



GLOBAL OCEAN
TECHNOLOGY
GROUP

FHF - ELEKTRIFISERING KYSTFISKEFLÅTEN
13m - H2 - LINEBÅT - GA - MASKIN/LASTEROM

Konfigurasjoner

	I	II	III
Batteri	425 kWh	425 kWh	425 kWh
Hydrogen	2400 kWh	2400 kWh	
Ammoniakk			4000 kWh
Diesel		4500 kWh	4500 kWh
Total energi	2825 kWh	7325 kWh	8925 kWh
Merkostnad på investering (prototyp)	3,71 MNOK	4,42 MNOK	9,64 MNOK
Merkostnad på investering (storskala)	0,74 MNOK	1,45 MNOK	1,11 MNOK

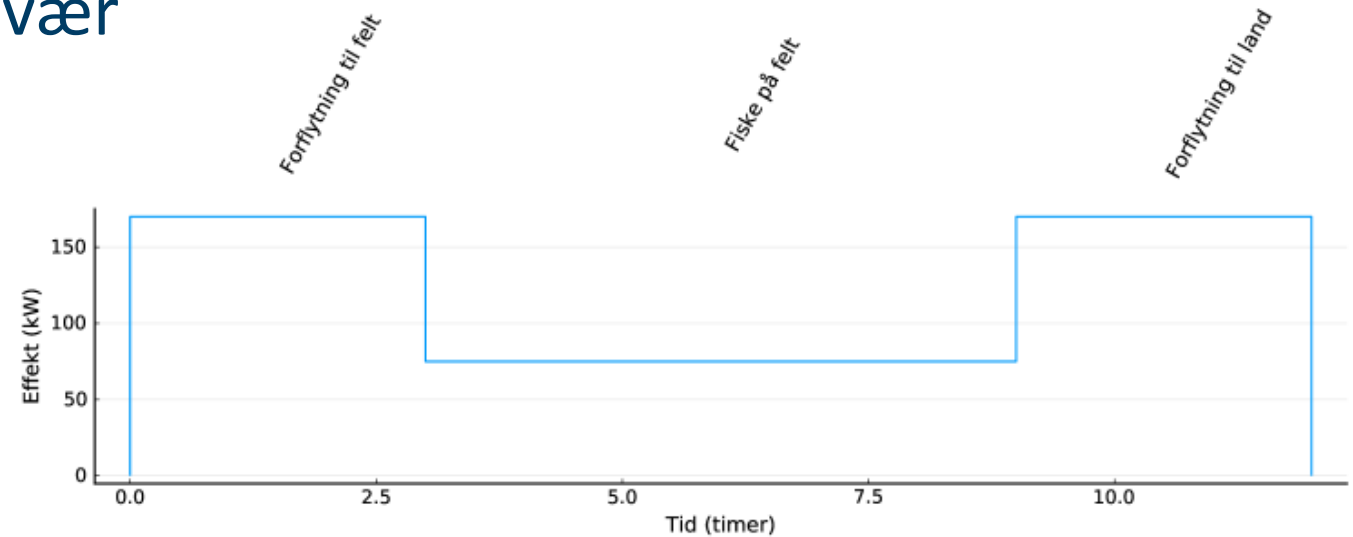


Illustrasjon: GOT Skogsøy AS

Driftsprofil

Enkel driftsprofil 12 timer sjøvær

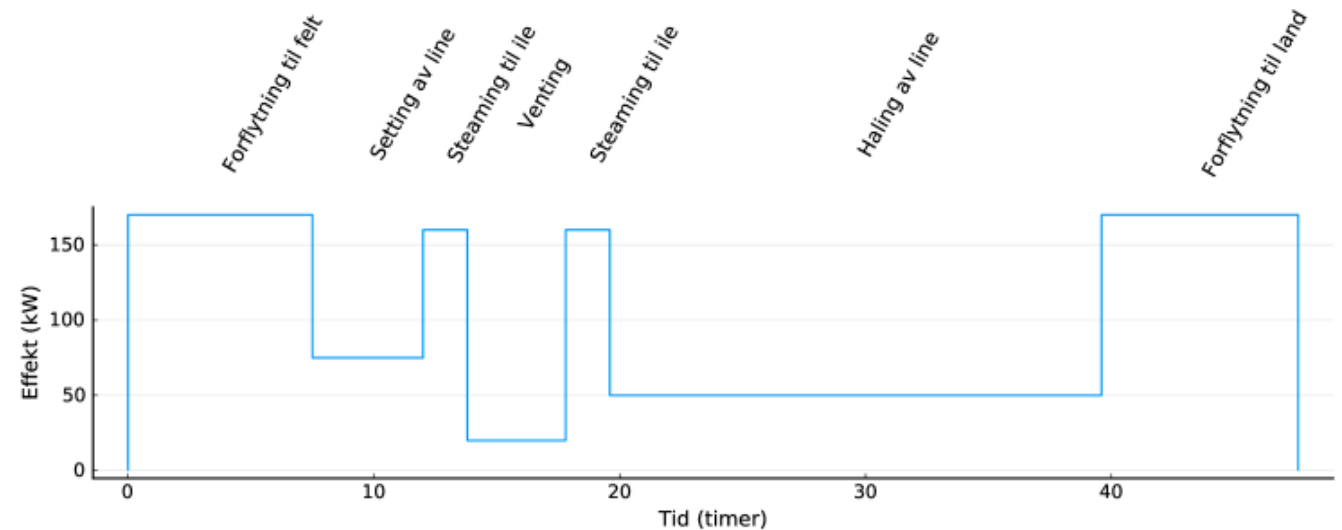
- 6 timer steaming (170 kW)
- 6 timer fiske (75 kW)
- Totalt energibehov 1470 kWh



Alternativ driftsprofil

Realistisk sjøvær 47 timer

- 60 nm
- 60 stamper
- 20 min haletid / stamp
- 4 timer venting
- 25 nm steaming til ile
- Totalt energibehov: 4561 kWh



Alternative teknologier

- Aktuelle konsepter
 - H_2 -> PEMFC
 - NH_3 -> cracker -> H_2 -> PEMFC
 - NH_3 -> SOFC
- Teknologier og leverandører
- Oversikt over prosjekter, demo og pilot
 - Tidlige, pågående og kommende



Left: pictures of a fuel cell module (inside and casing) and the fuel cell cabinet. Right: System installed onboard the sun-deck of MS Mariella (Pa-X-ell project)



Pictures of the SOFC system built by Wärtsilä for the Methapu project, which was installed on board a commercial vessel from Wallenius Marine.

Konsekvenser for hoveddimensjoner

- For å sikre stabilitet plasseres batterirom lavt i båten
- Av sikkerhetshensyn plasseres H_2/NH_3 -lager på shelterdekk
- Lengde/bredde av fartøyet begrenser muligheten for lagring av hydrogen om bord. (all den tid H_2 må lagres på dekk)
- Lengde/bredde av fartøyet påvirker ammoniakk i liten grad
- Valgt GA påvirker ikke kapasiteten på lasterom (48 m^3)
- I motsetning til tradisjonelt linefiskedesign på 13 m, er fartøyet i dette prosjektet skissert med et fullt shelterdekk. Et fullt shelterdekk er nødvendig for å plassere tankarrangement

ARBEIDSPAKKE 3

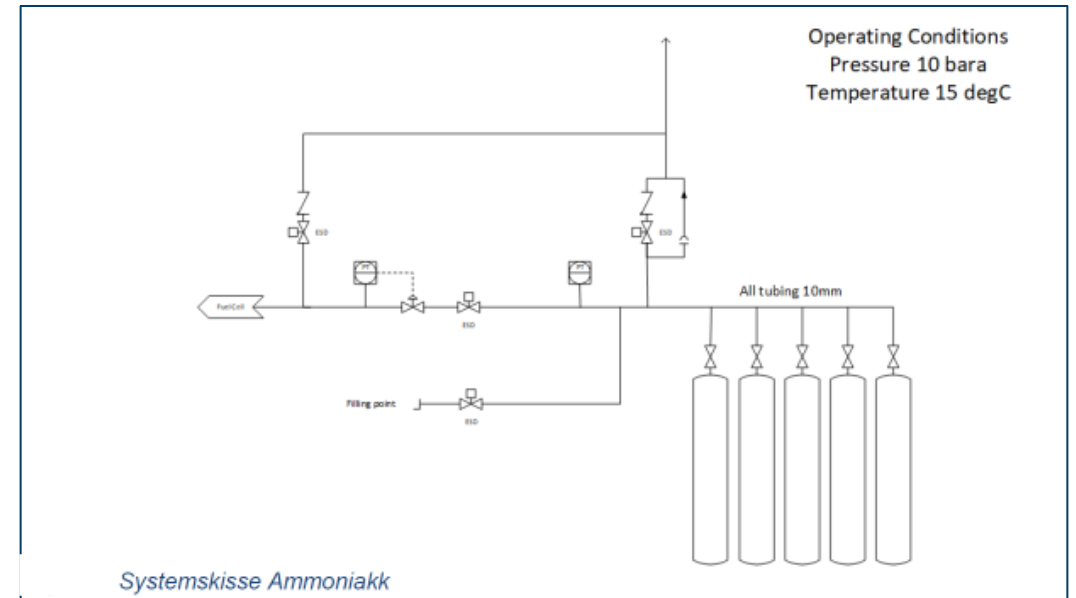
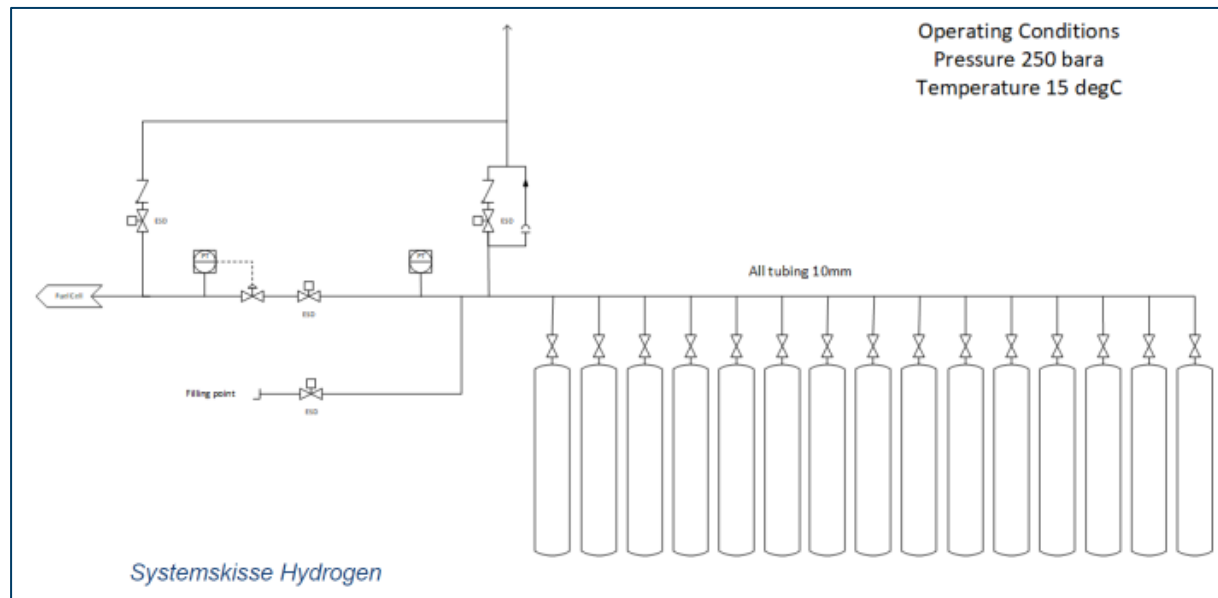
SIKKERHET

AP3 Risikoberegninger - hydrogen og ammoniakk

- Sikkerhet relatert til bunkring og lagring av hydrogen og ammoniakk
 - Tatt hensyn til IMOs krav til å følge "Alternativ design prosess" og IGF-koden
- Risikoberegninger for kaianlegg
 - Relevant regelverk
 - Storulykkesforskriften
 - Forskrift om håndtering av farlig stoff
 - Utgangspunkt for beregningene
 - Størrelse og utforming av anlegg for bunkring er ikke kjent
 - => Beregningene basert på at fartøyet er til stede ved kai 100%
 - Fiskefartøyet og dets konstruksjon
 - Skissert prosess-anlegget av anlegget på fartøyet
 - Hydrogen: lekkasjer og eksplosjon, Ammoniakk: lekkasjer og gift-spredning
 - Ventilering og tank-ruptur anses som lite sannsynlig/skadelig
- Analysene er konservative => dvs risiko er noe overestimert

Prosessdesign for fartøyet

- Forenklet skisse av prosess-anlegg med komponenter, som underlag for beregninger



Bunkring og lagring av H₂ og ammoniakk

- Lagring av hydrogen og ammoniakk må sikres god ventilasjon i tilfelle lekkasjer. Foreløpig er det kun shelterdekket hvor det er mulig å plassere et større volum hydrogen innenfor de krav til sikkerhetsavstander som stilles av IGF-koden (bla avstand til ytterkant av fartøy).
- Tanker og brenselceller plasseres inni en gastett container med en tilhørende gassventilasjonsmast.
- Oppdatert regelverk, basert på ny erfaring og økt kompetanse, vil trolig senere tillate lagring av hydrogen/ammoniakk (og tilhørende brenselceller) under dekk.
- Bunkring må foregå i henhold til beregnede hensynssoner. Hensynssonene beregnet i prosjektet (påfølgende slide) har kun tatt hensyn til mengde drivstoff lagret på fartøy. Hensynssonene som inkluderer bunkring vil bli større, og mest avhengig av mengde drivstoff som lagres ved kai (bunkringssted)

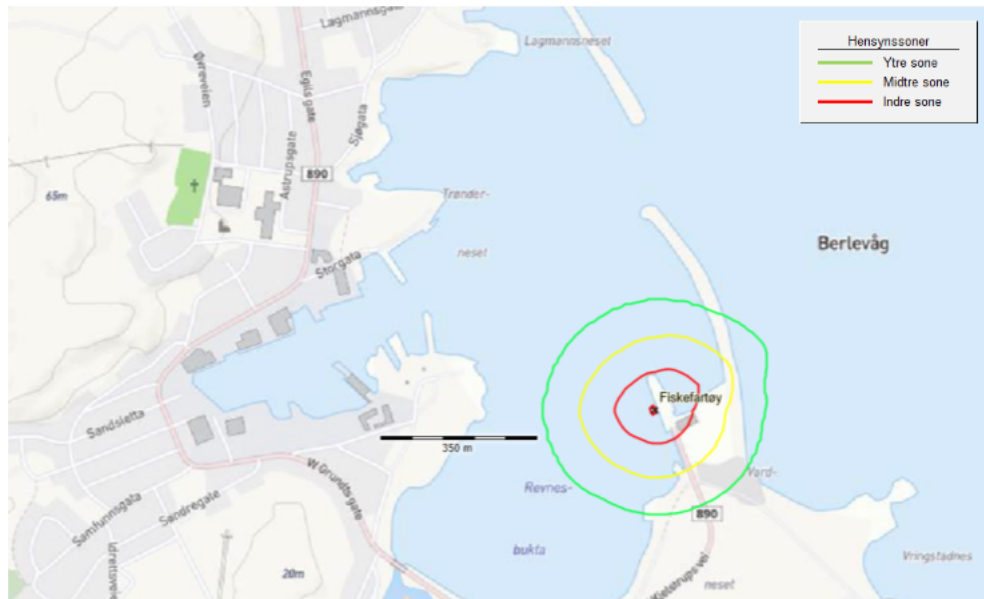
Utstrekning av hensynssoner



Sone	Beskrivelse	Total dødelighet pr år
Indre sone	Dette er i utgangspunktet virksomhetens eget område. I tillegg kan for eksempel LNF - område inngå i indre sone. Kun kortvarig forbipassering for tredjeperson (turveier etc.).	1.0×10^{-5}
Midtre sone	Offentlig vei, jernbane, kai og lignende. Faste arbeidsplasser innen industri- og kontorvirksomhet kan også ligge her. I denne sonen skal det ikke være overnatting eller boliger. Spredt boligbebyggelse kan aksepteres i enkelte tilfeller.	1.0×10^{-6}
Ytre sone	Områder regulert for boligformål og annen bruk av den allmenne befolkningen kan inngå i ytre sone, herunder butikker og mindre overnattingssteder.	1.0×10^{-7}

Berlevåg

Ammoniakk

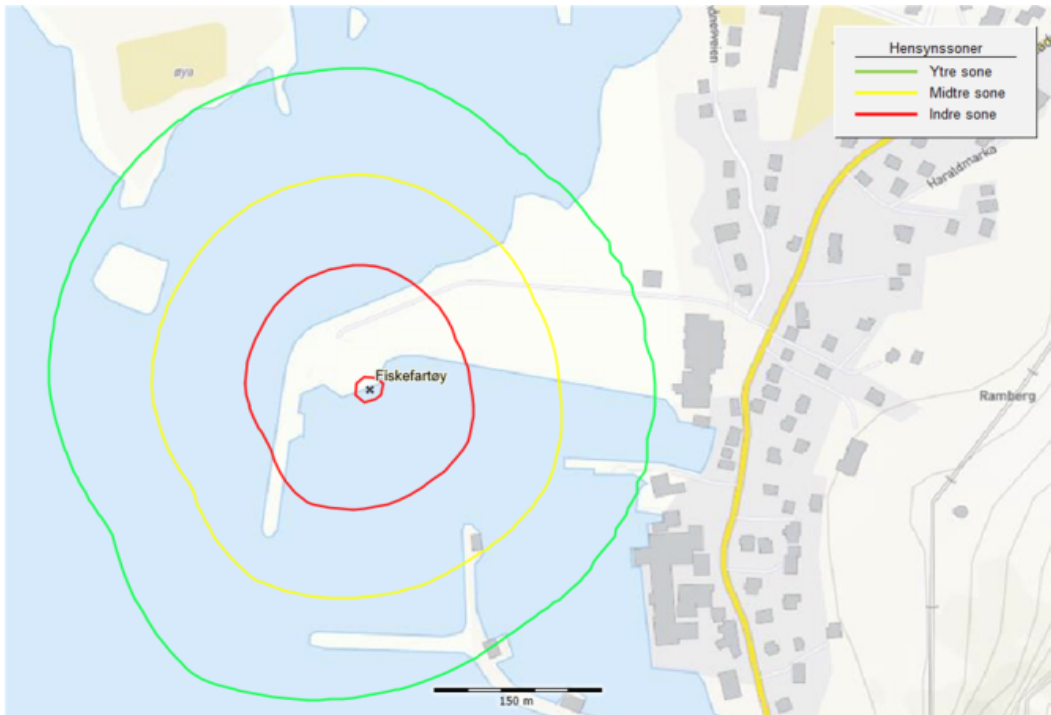


Hydrogen

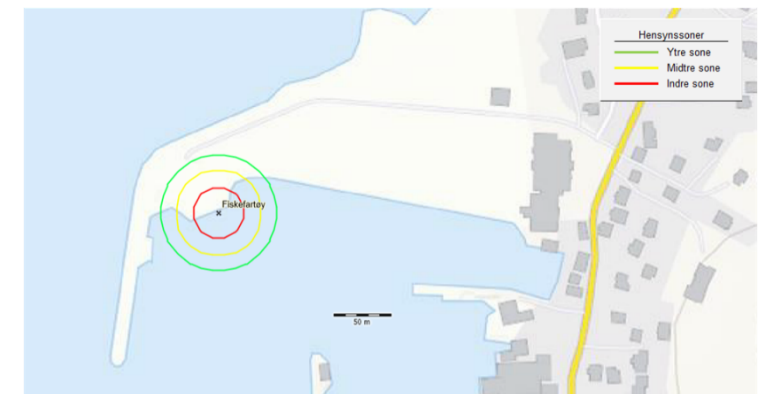


Ramberg

Ammoniakk



Hydrogen

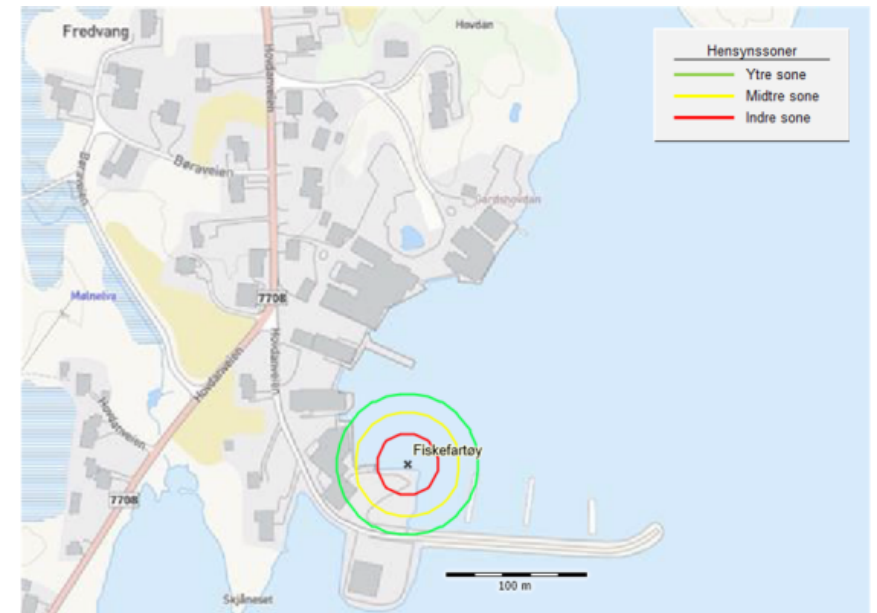


Fredvang

Ammoniakk

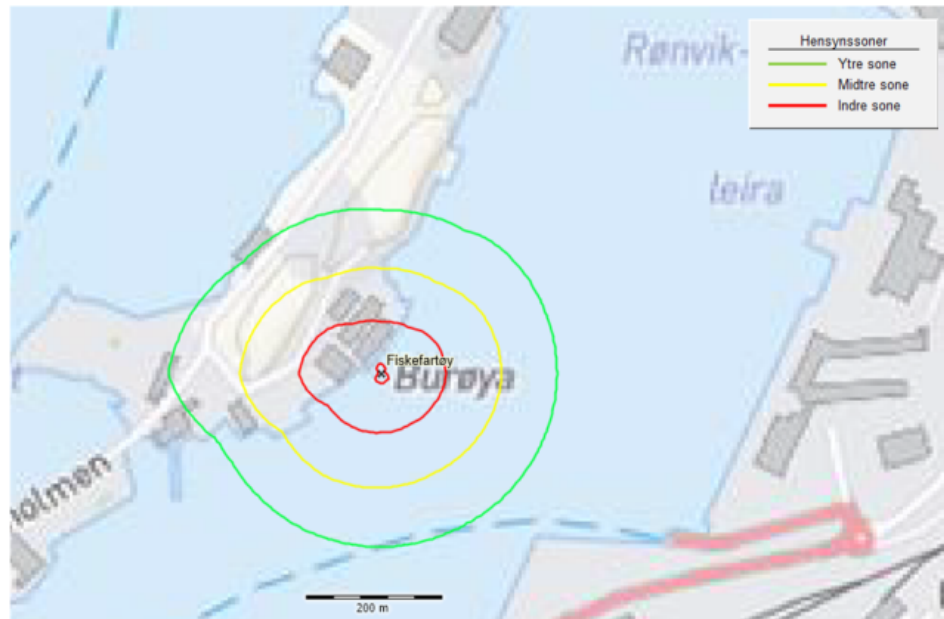


Hydrogen



Bodø

Ammoniakk



Hydrogen



Oppsummering sikkerhet

- Gitt de forutsetningene som er lagt til grunn, viser analysene av sikkerhetssonene at det er lite konflikter med aktiviteter og bebyggelse i og rundt de aktuelle havnene.
- Den største utfordringen ligger i bruk av ammoniakk ved Fredvang havn.
- Generelt viser analysene at bruk av ammoniakk fører til betydelig større sikkerhetssoner enn hydrogen.
- Videre arbeid bør inkludere mer detaljert og sted-spesifikke analyser av bunkringsanlegg, fyllprosesser og prosedyrer.

ARBEIDSPAKKE 4 TEKNO-ØKONOMISKE BEREGNINGER

Resultater fra tekno-økonomiske beregninger

Vi analyserte tre energiløsninger:

1. Tradisjonell kystfiskebåt med dieseldrift
2. Alternativ drift med hydrogen som energibærer, PEM brenselcelle og batteri samt dieselgenerator for økt rekkevidde
3. Alternativ drift med ammoniakk som energibærer, SO brenselcelle (benytter ammoniakk direkte) og batteri samt dieselgenerator for økt rekkevidde

Disse løsningene ble analysert basert på to ulike driftsprofiler:

- a) 12 timers fiske (med nullutslipp-løsninger) og
 - b) 46,5 timers fiske (med delvis behov for diesel på de alternative løsningene)
- Ulike prisscenarioer på hydrogen og ammoniakk ble etablert
 - Vi undersøkte også break-even mtp dieselkostnad og CO₂-avgift for at de ulike løsningene

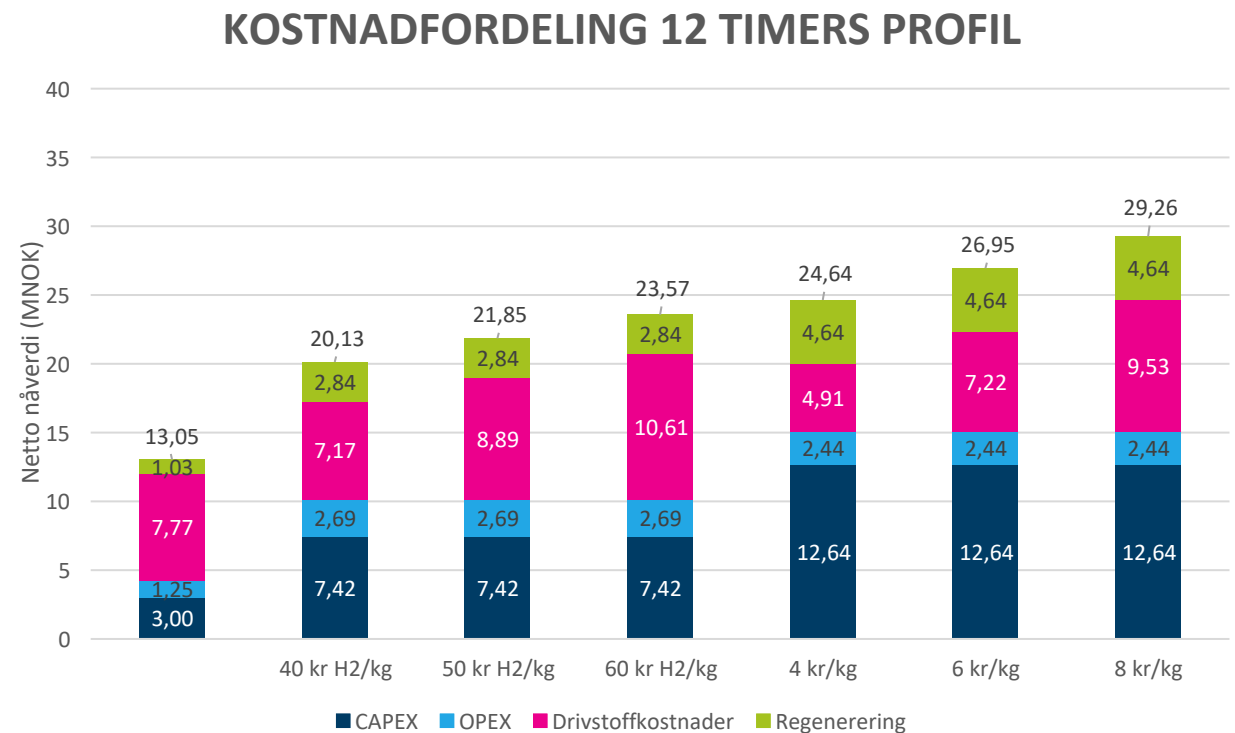
Kostnadsfordeling – 12 timers profil

Referansepris diesel 7,90 kr/l

- Drivstoff stor andel av totale kostnader

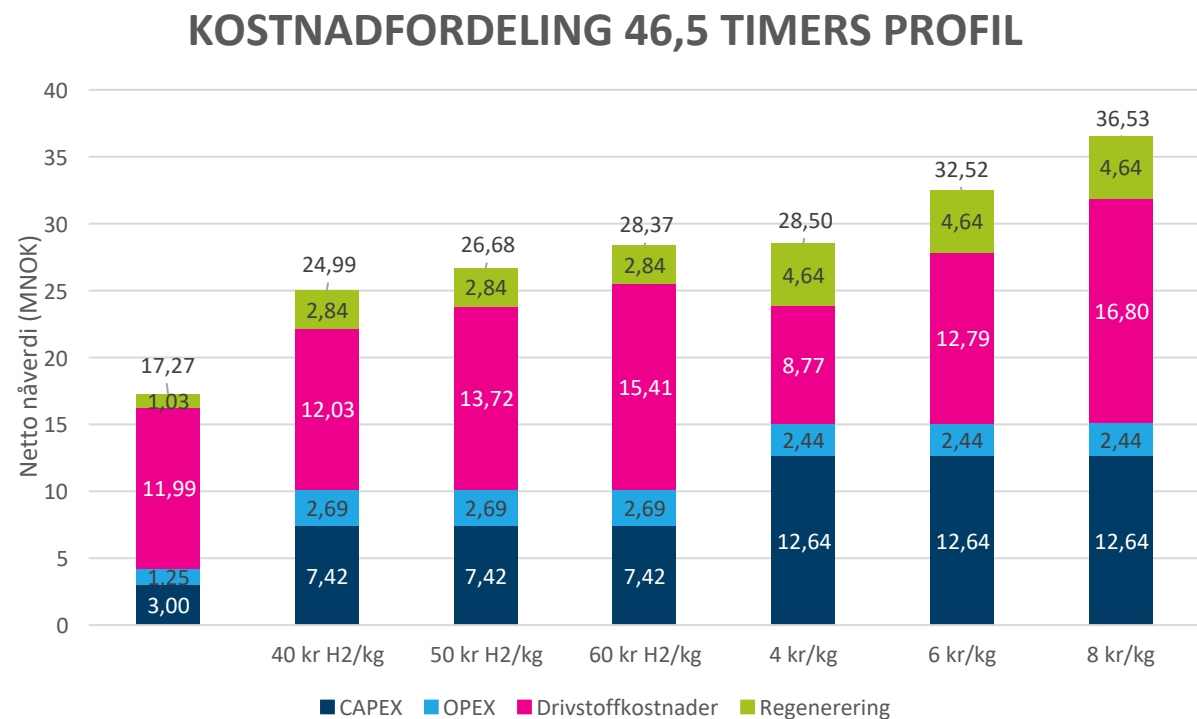
Hydrogen og ammoniakk

- Investering + regenerering
(oppgradering av H₂/NH₃-system)



Kostnadsfordeling – 46,5 timers profil

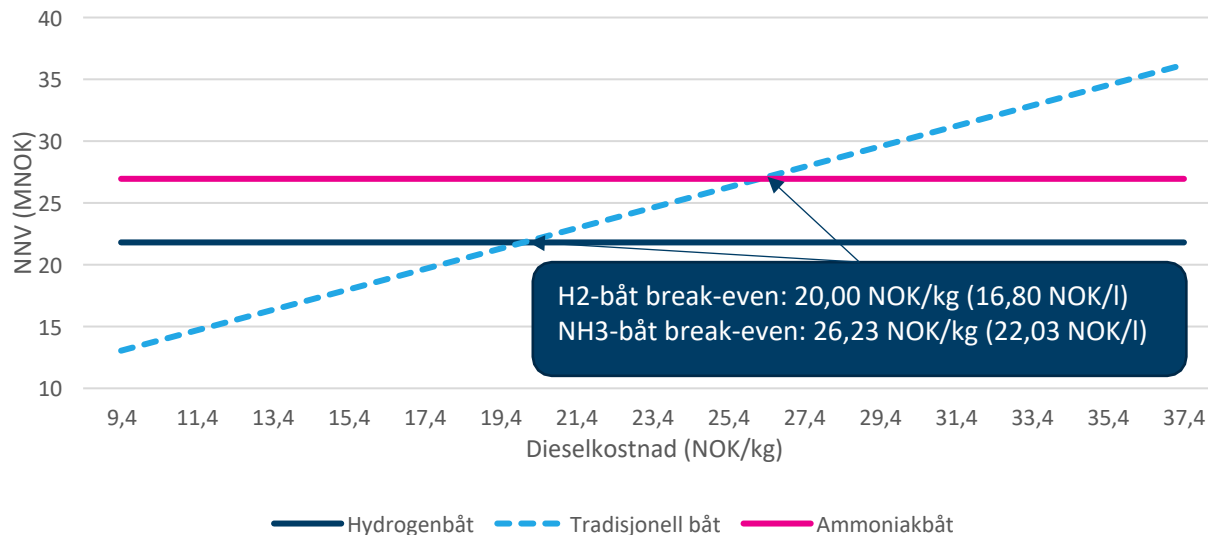
- Referansepris diesel 7,90 kr/l
- Drivstoffkostnadene utgjør en økt andel av de totale kostnadene
- Hybridløsningene inkluderer også dieselkostnader



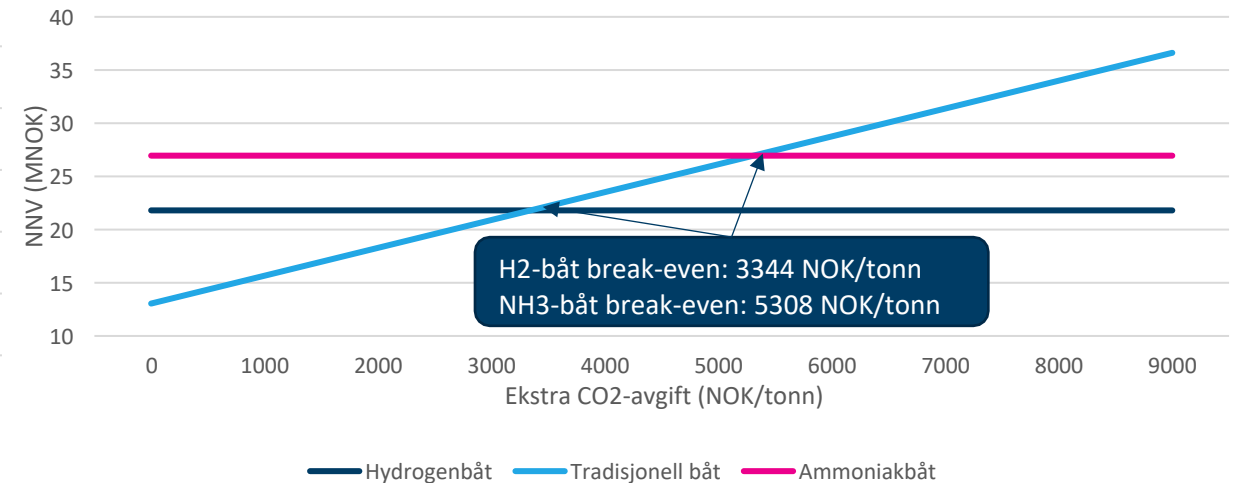
Tekno-økonomisk analyse – 12 timers profil

Netto nåverdi (totale kostnader over 20 år, 4% diskontering) for de tre løsningene hydrogen, ammoniakk og tradisjonell kystfiskebåt, gitt dieselkostnad og CO2-avgift. (for prototype)

(a) NNV sammenligning med økende diesel utgift (NOK/kg), 12 timers profil, 50 NOK/kg H2 og 6 NOK/kg ammoniakk



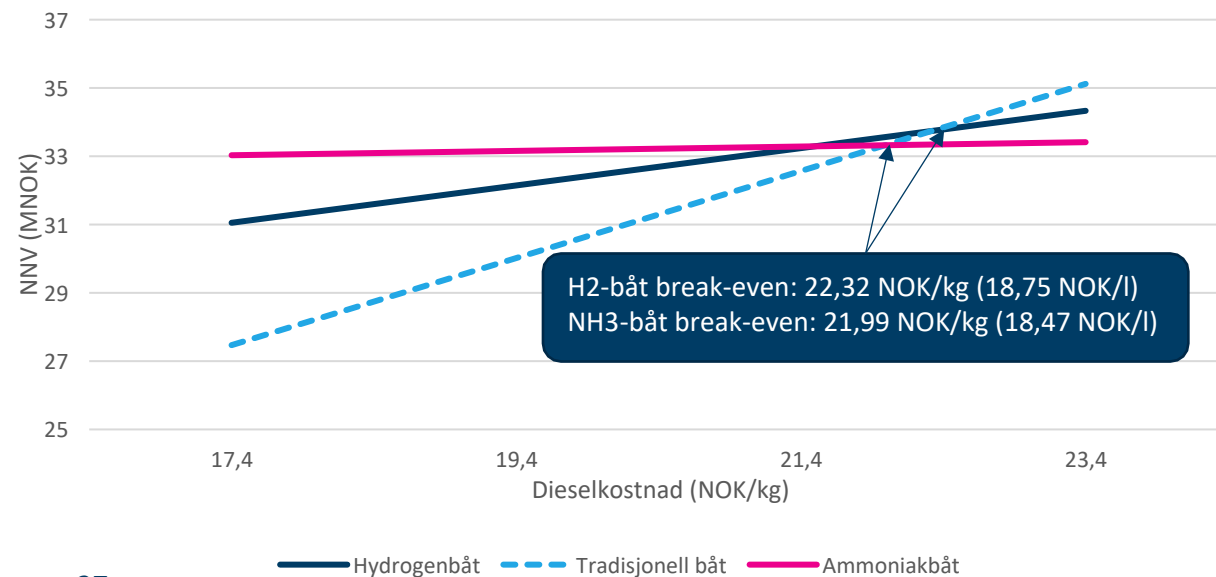
(a) NNV sammenligning med økende CO2-utgift (NOK/kg), 12 timers profil, 50 NOK/kg H2 og 6 NOK/kg ammoniakk



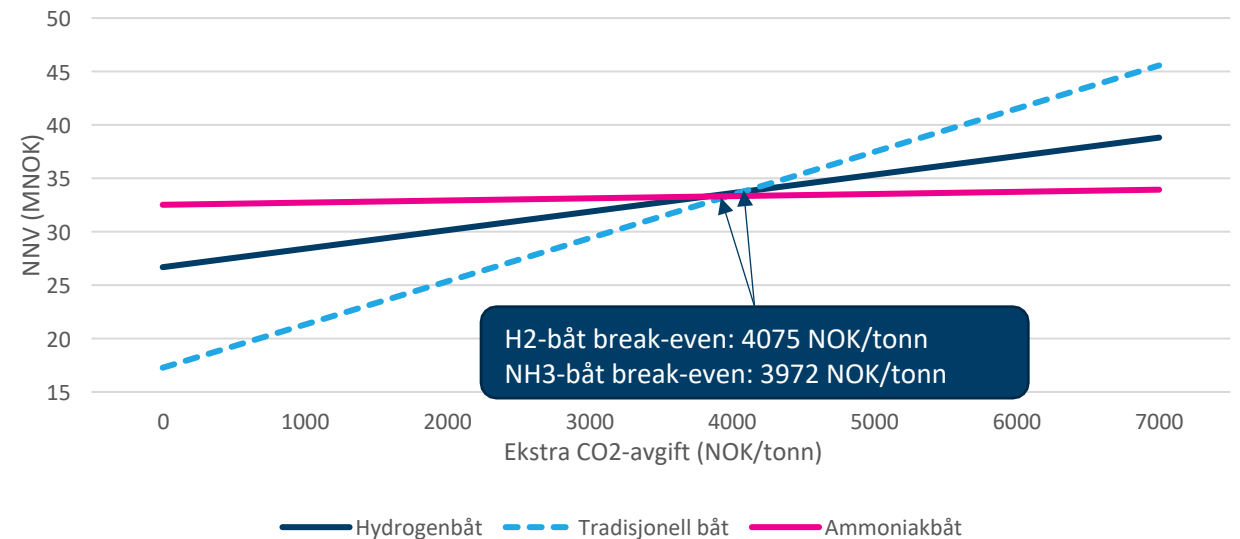
Tekno-økonomisk analyse – 46,5 timers profil

Netto nåverdi (totale kostnader over 20 år, 4% diskontering) for de tre løsningene hydrogen, ammoniakk og tradisjonell kystfiskebåt, gitt dieselkostnad og CO2-avgift. (for prototype)

(b) NNV sammenligning med økende diesel kostnader (NOK/kg), 46,5 timers profil, 50 NOK/kg H2 og 6 NOK/kg ammoniakk

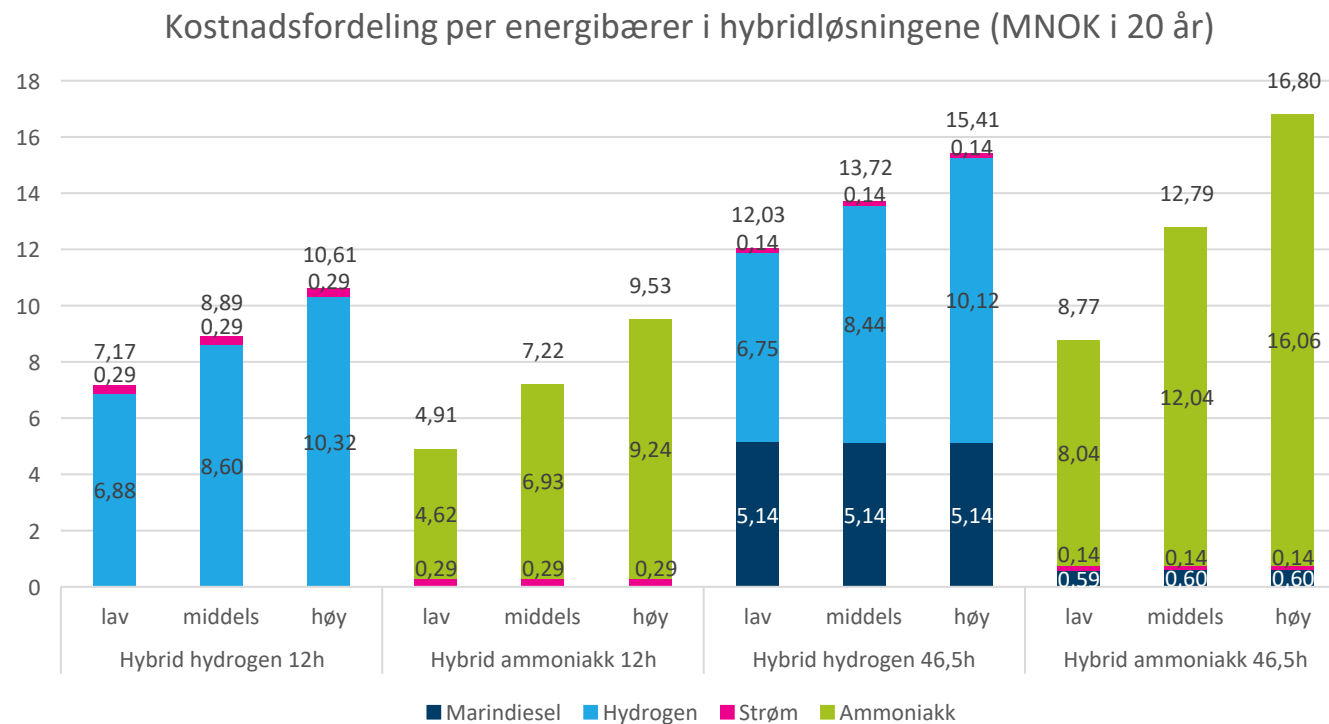


(b) NNV sammenligning med økende CO2-utgift (NOK/kg), 46,5 timers profil, 50 NOK/kg H2 og 6 NOK/kg ammoniakk



Tekno-økonomisk analyse – kostnad per drivstoff

- På en 46,5 timers profil forbruker man diesel i de hybride løsningene.
- Derfor påvirker en økning i dieselpris eller CO2-avgift de totale kostnadene for hybridløsningene

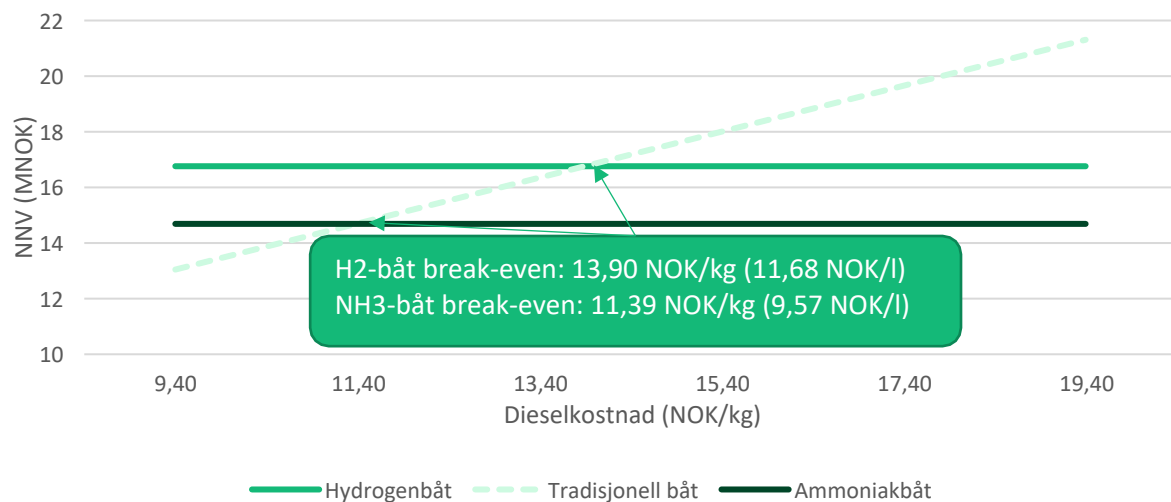




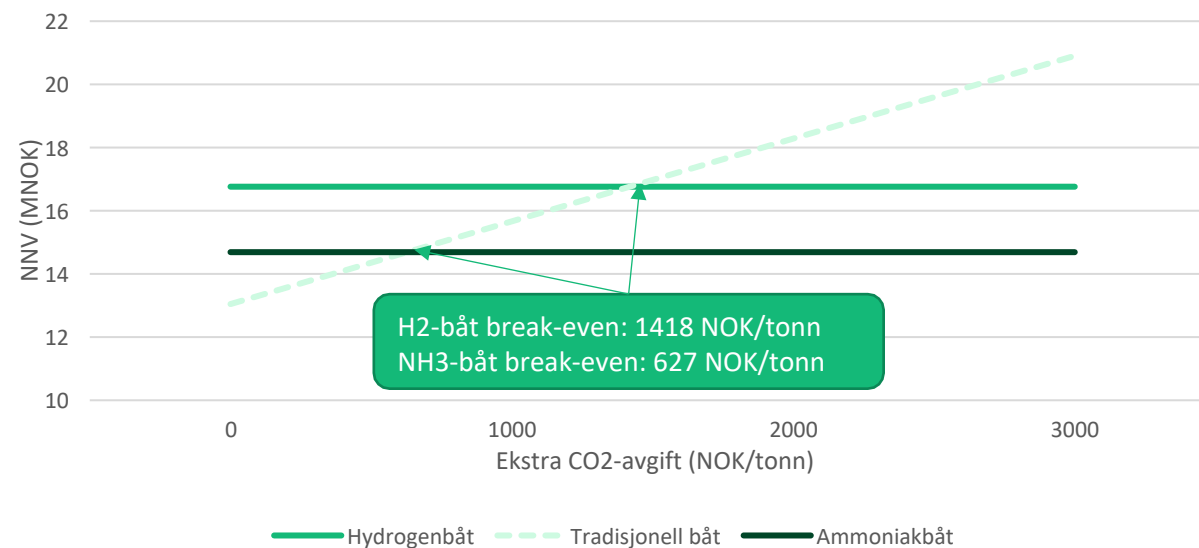
SINTEF

Ved serieproduksjon - 12 timers profil

(a) NNV sammenligning med økende diesel utgift (NOK/kg), 12 timers profil, 50 NOK/kg H2 og 6 NOK/kg ammoniakk, m/storskalafordeler



(a) NNV sammenligning med økende CO2-utgift (NOK/kg), 12 timers profil, 50 NOK/kg H2 og 6 NOK/kg ammoniakk, m/storskalafordeler

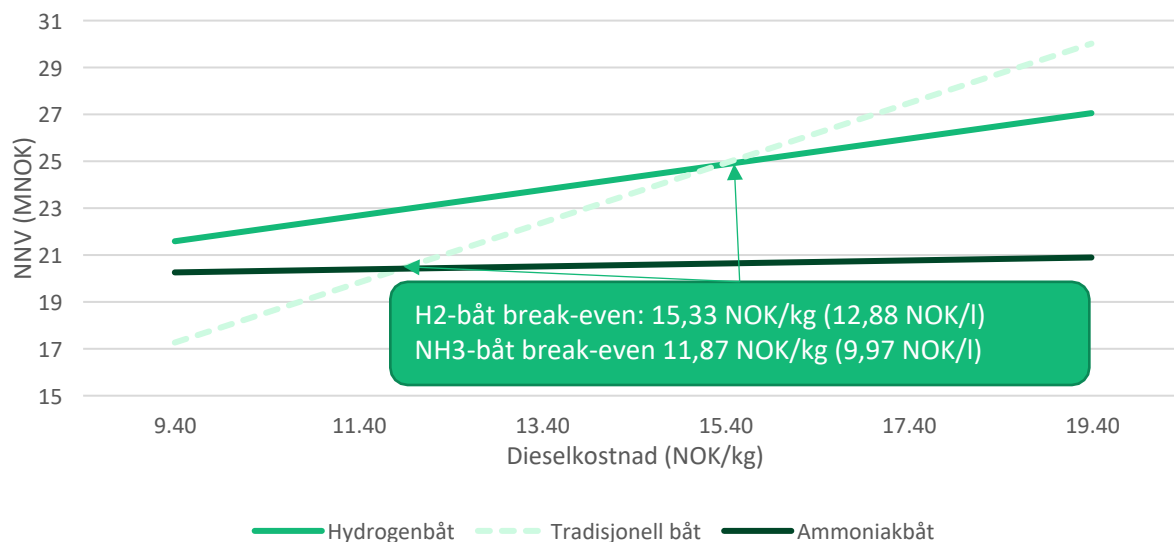




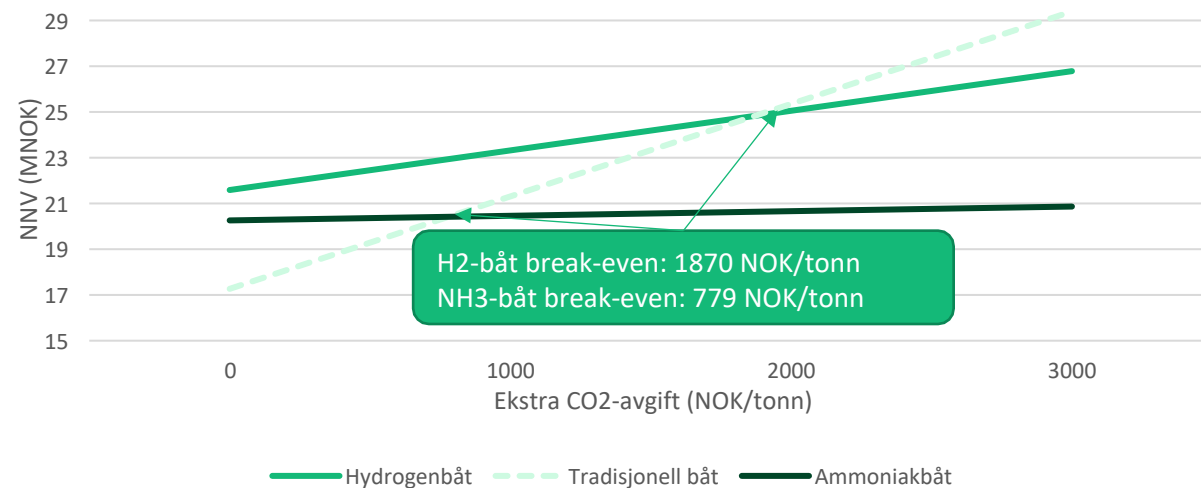
SINTEF

Ved serieproduksjon - 46,5 timers profil

(b) NNV sammenligning med økende diesel kostnader (NOK/kg), 46,5 timers profil, 50 NOK/kg H2 og 6 NOK/kg ammoniakk, m/storskalafordeler



(b) NNV sammenligning med økende CO2-utgift (NOK/kg), 46,5 timers profil, 50 NOK/kg H2 og 6 NOK/kg ammoniakk, m/storskalafordeler

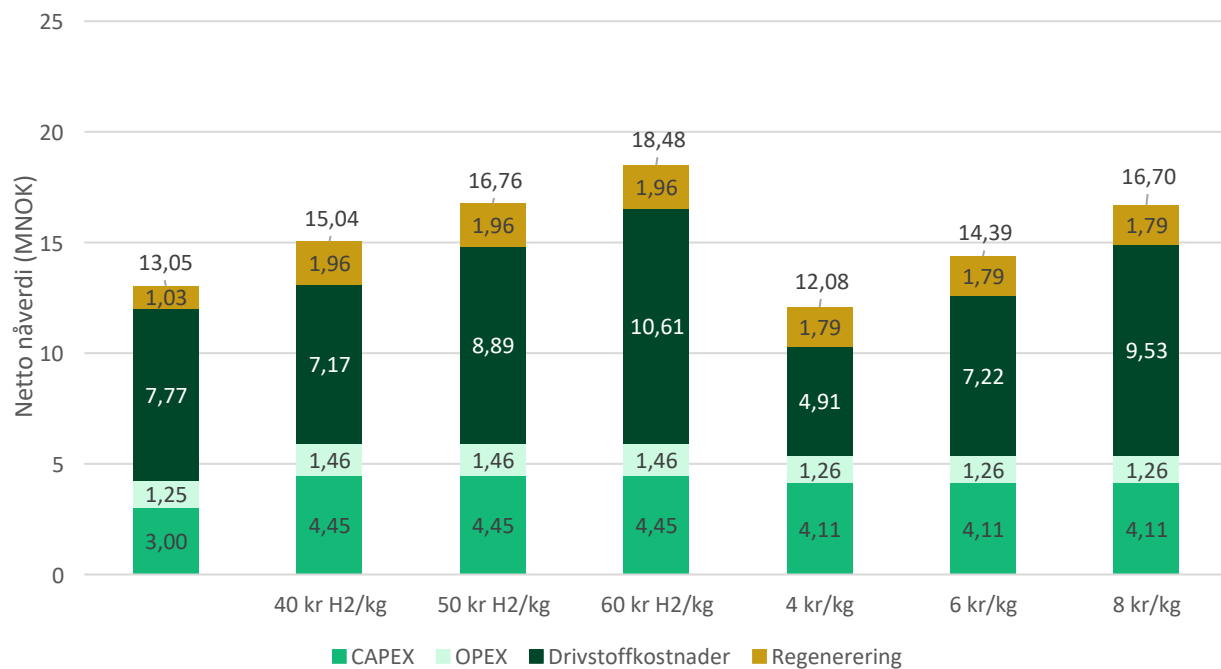




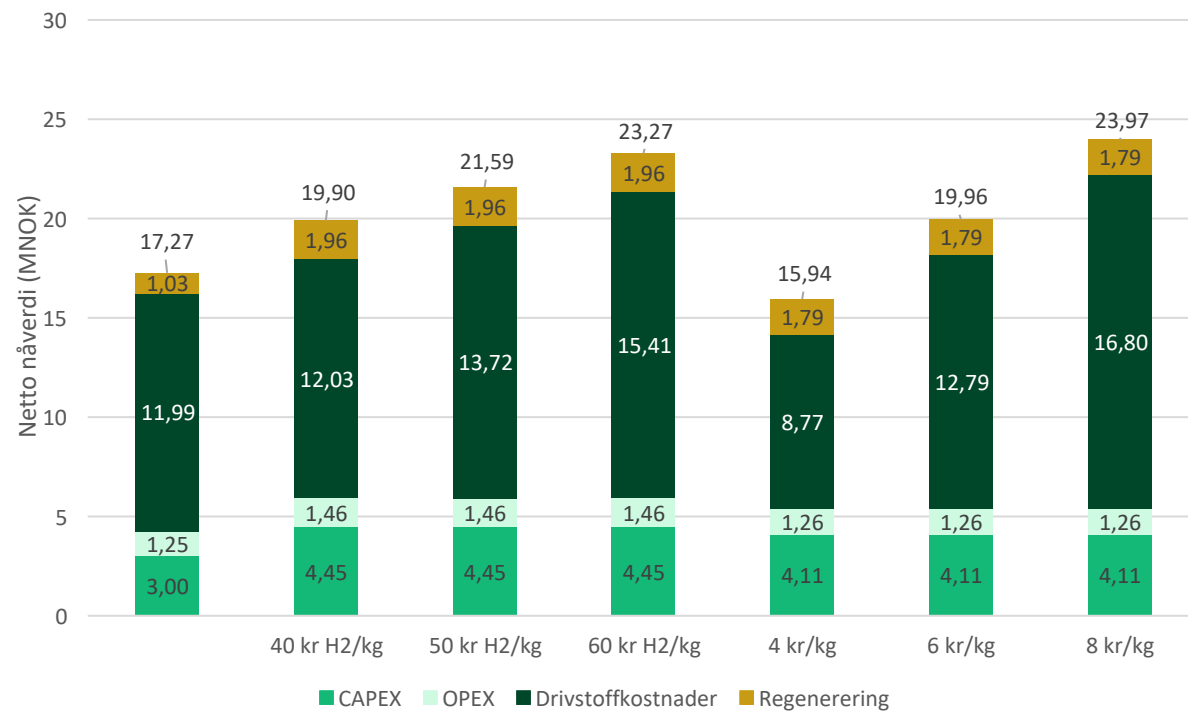
SINTEF

Ved serieproduksjon, kostnadsfordeling

(A) KOSTNADFORDELING 12 TIMERS PROFIL



(B) KOSTNADFORDELING 46,5 TIMERS PROFIL



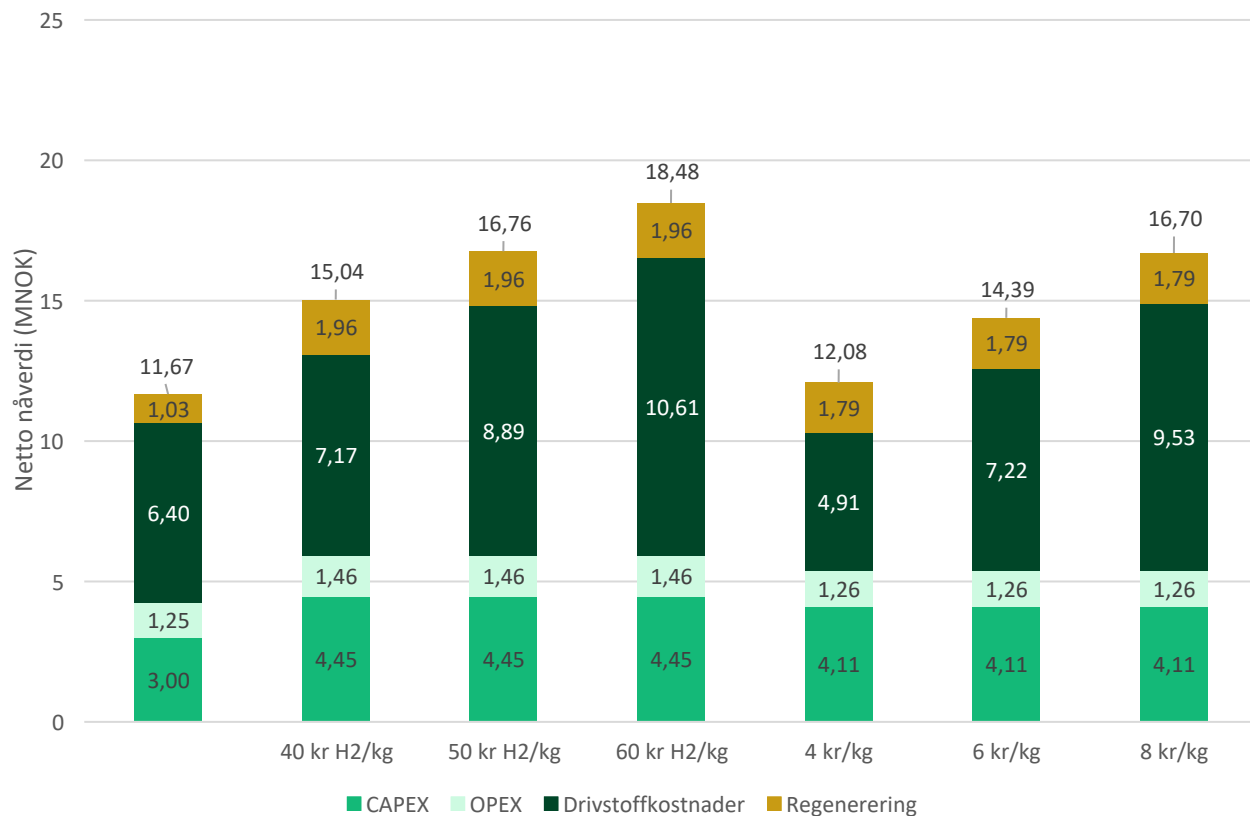
Referansepris diesel 7,9 kr/l



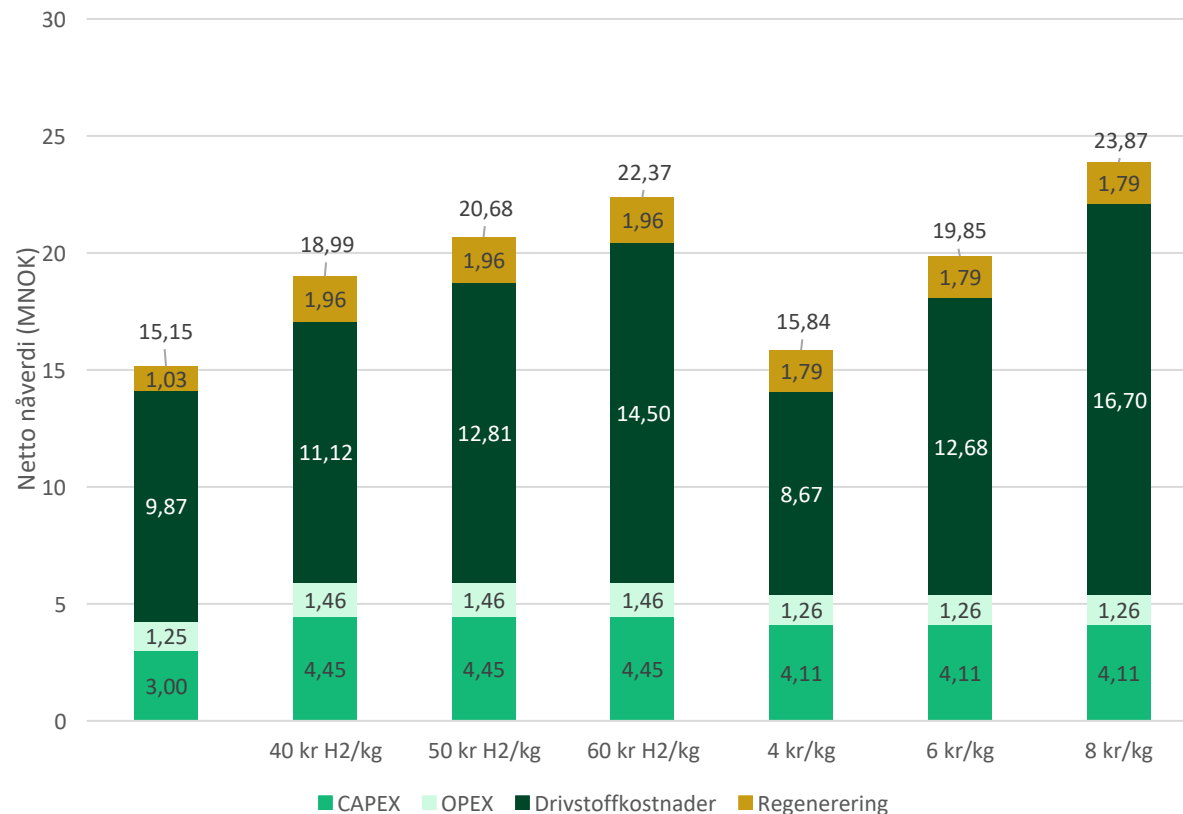
SINTEF

Ved serieproduksjon, kostnadsfordeling

KOSTNADFORDDELING 12 TIMERS PROFIL



KOSTNADFORDDELING 46,5 TIMERS PROFIL



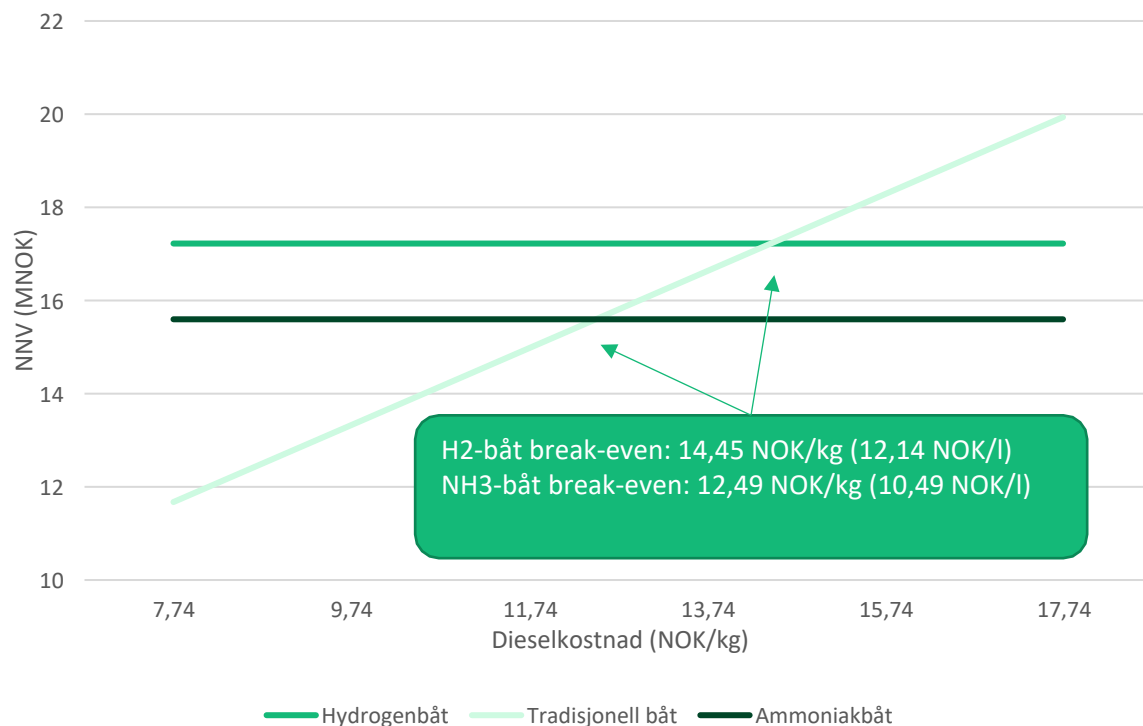
Referansepris diesel 6,5 kr/l



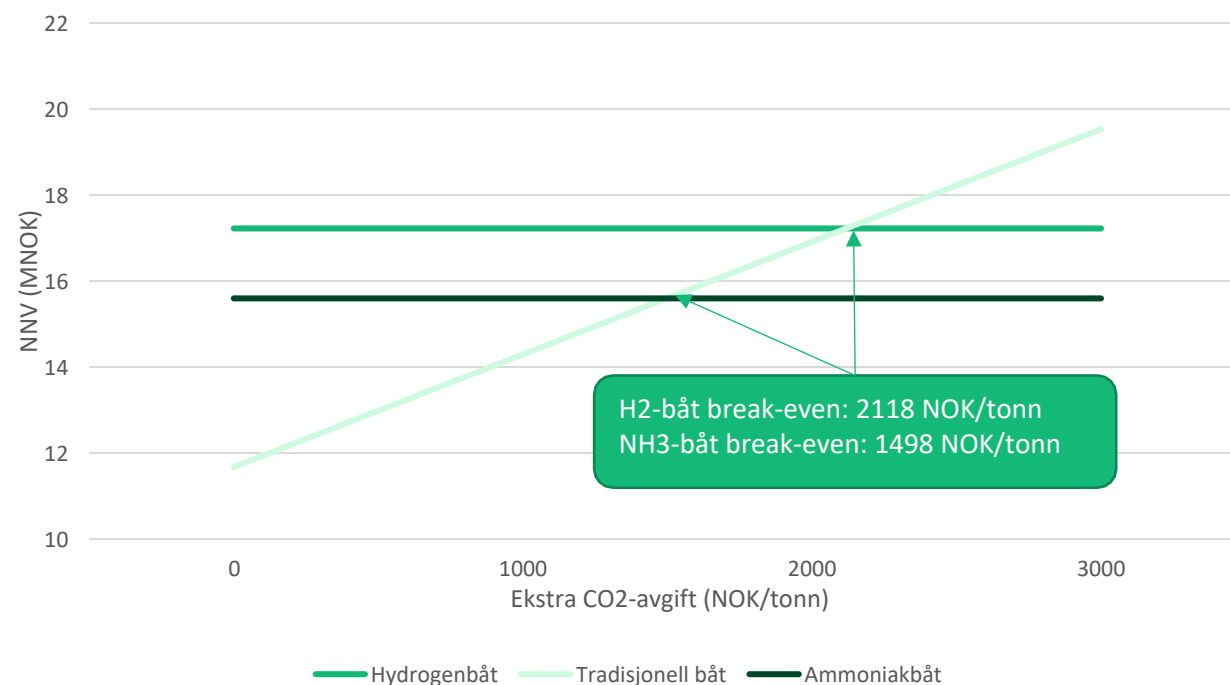
SINTEF

Ved serieproduksjon, 12t profil

(a) NNV sammenligning med økende diesel utgift (NOK/kg), 12 timers profil, 50 NOK/kg H₂ og 6 NOK/kg ammoniakk, m/storskalafordeler



(b) NNV sammenligning med økende CO₂-utgift (NOK/kg), 12 timers profil, 50 NOK/kg H₂ og 6 NOK/kg ammoniakk, m/storskalafordeler



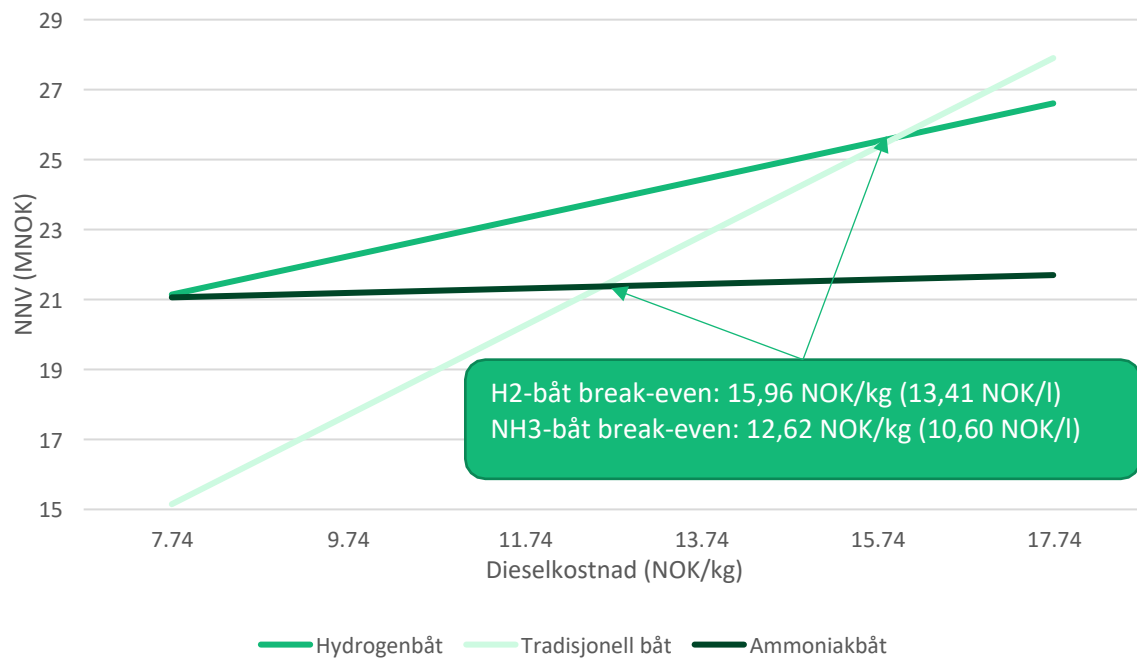
Referansepris diesel 6,5 kr/l



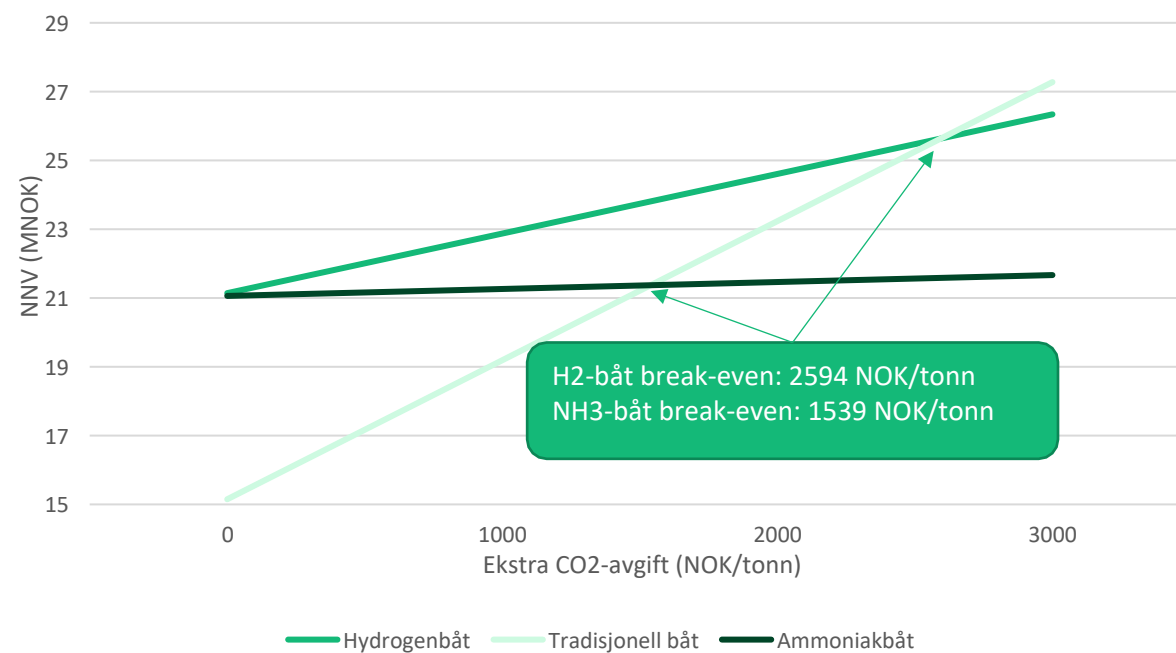
SINTEF

Ved serieproduksjon, 46,5t profil

(b) NNV sammenligning med økende diesel kostnader (NOK/kg), 46,5 timers profil, 50 NOK/kg H2 og 6 NOK/kg ammoniakk, m/storskalafordele



(b) NNV sammenligning med økende CO2-utgift (NOK/kg), 46,5 timers profil, 50 NOK/kg H2 og 6 NOK/kg ammoniakk, m/storskalafordele



Referansepris diesel 6,5 kr/l



SINTEF

AP 4 – Oppsummering

Prototype kystfiskefartøy:

- Diskonterte merkostnader for et kystfiskefartøy med hydrogen- basert løsning (hybridisering med PEM brenselceller, batteri og diesel), vil ligge mellom 45% og 81%, avhengig av drivstoffpris og profil.
- Merkostnadene for en ammoniakk-basert hybridløsning ligger mellom 65% og 124%.
- En økning i marin dieselpriis til 20 kr/kg (16,8 kr/l), eventuelt en økning i CO₂-avgiften til 3344 kr/tonn, kunne utligne kostnadsforskjellen mellom den hydrogen-baserte løsningen og det konvensjonelle kystfiskefartøyet (dvs. ved 12 timers profil og 50 kr/kg H₂).

Serieproduksjon av teknologi og infrastruktur:

- Det antas det at diskonterte merkostnader for hydrogen-basert løsning vil ligge mellom 15% og 32%, i forhold til konvensjonelt kystfiskefartøy.
- Det antas at merkostnadene for ammoniakk- løsning ligger mellom -6% og 34%, avhengig av drivstoffpris og driftsprofil.
- Bruk av hydrogen eller ammoniakk som drivstoff kan bidra til betydelig reduksjon i CO₂- utslippene. Ved bruk av hydrogen er reduksjonen 57%, mens ammoniakk tillater en 95% utslippsreduksjon.
- Man kan forvente en utslippsreduksjon på henholdsvis 18%, 9% og 14% med hydrogen- og 29%, 15% og 24% med ammoniakkløsningen for henholdsvis Berlevåg, Bodø og Flakstad havn.

Drivstoffkostnad:

- Bruken av hydrogen, ammoniakk eller marint diesel, gir en relativt lik driftskostnad.

ARBEIDSPAKKE 5 LANDINFRASTRUKTUR

Infrastruktur - havnenes viktigste kjennetegn

- Berlevåg: lite fiskevær, mye energi (spesiell situasjon)
 - Vindpark, hydrogen fra i år, snart ammoniakkproduksjon?
- Ramberg og Fredvang i Flakstad: to typiske nordnorske små havner
 - Lite plass, begrensninger pga. UNESCO og turisme
- Bodø: stor regional havn
 - Planer for hydrogendrift av Lofotenfergen fra 2025; nærliggende bysentrum



Landinfrastruktur – Strøm

- Velkjent teknologi for kraftledninger
- Kan være dyrt å utvide nettkapasitet
- Vil kreve DC-lading (à la CCS) for store batteripakker
 - F.eks *Karoline* 195 kWh, *Angelsen Senior* 270 kWh
- Nyere el-sjarker har "gitt opp" elektrisk fremdrift
 - *Sundbøen* har bare 50 kWh – AC lading er nok
- Hvis el-ferge innføres i området, blir det mye ledig kapasitet
- Bufferbatterier er en dyr nødløsning



Landinfrastruktur – Hydrogen

- Komprimert hydrogen mer aktuelt enn flytende
- Tilkjørt eller lokalprodusert
 - Tilkjørt for en/få båter
 - Start lokalproduksjon over en viss forbruksterskel
- Mulig å lagre under vann for å redusere risiko
 - Flakstad, Bodø har begrenset med plass
- Andre teknologier (metallhydrid, LOHC) ikke aktuelle i denne skalaen



H₂-tank/container 300 kg @ ~ 1,8 MNOK

Landinfrastruktur – Ammoniakk

- Flytende når komprimert ved 11 bar eller kjølt til $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Enklere enn LNG, vanlig kjemikalie
- Må fraktes til havn (kanskje ikke Berlevåg?)
- Gjerne kjølt lagring på land, trykksatt på båt
- Skarp lukt; giftig; ikke særlig eksplosiv
- Noe lettere enn luft, men forsvinner ikke like fort som hydrogen
- Korrosiv for kobber, messing, gummi



Landinfrastruktur – Pilotprosjekt (1 båt)

- **Design:** 425 kWh batteri, 160 kg hydrogen @ 250 bar / 2,5 m³ ammoniakk
- **Strøm:** CCS-kontakt ved 50 kW er nok (elbil-hurtilading)
 - Reserveløsning er å lade fra brenselcelle og senere etterfylle drivstoff
- **Hydrogen:** tilkjørt til Flakstad (Ramberg) og Bodø; Haeolus-anlegget produserer nok i Berlevåg
- **Ammoniakk:** innkjøp fra gasselskaper

Full landinfrastruktur – Hydrogen

- Berlevåg: krever 85 t H₂ i året for *alle* båter, 23 t for kun under 15 m
 - Haeolus kan produsere 350 t!
- Fredvang+Ramberg: hhv. 70 og 20 t H₂
 - Tilkjørt hydrogen så lenge store båter ikke bruker det; på lengre sikt elektrolyse
 - NB: Napp havn har like stort forbruk som Fredvang og Ramberg sammen
- Bodø: hhv. 422 og 63 t H₂
 - Lokalproduksjon v/ elektrolyse, men kanskje vente til det kommer hydrogenferge (2025)?

Full landinfrastruktur – Ammoniakk

- *1 typisk NH_3 -lastebil: 30 m^3*
- Berlevåg: krever $955 \text{ m}^3 \text{ NH}_3$ i året for *alle* båter, 293 m^3 for kun under 15 m
- Fredvang/Ramberg: hhv. 728 og $193 \text{ m}^3 \text{ NH}_3$
- Bodø: hhv. 4526 og $716 \text{ m}^3 \text{ NH}_3$

Konklusjoner I

- Skissene av generalarrangement for et 13 m kystfiskefartøy gir anslått mulig utslippsfritt drift i sjøvær på ca 130 nm for et hydrogenfartøy og opptil 200 nm for et fartøy med ammoniakk som drivstoff. Egnet brenselcellesystem for ammoniakk er ikke kommersielt tilgjengelig per i dag.
- Beregningene som er gjort viser at det er lite sikkerhets-konflikter ved bruk av hydrogen og ammoniakk med aktiviteter og bebyggelse i og rundt de aktuelle havnene. Generelt ser vi at bruk av ammoniakk fører til betydelig større sikkerhetssoner enn hydrogen.
- Totale kostnader for et kystfiskefartøy med hydrogen- basert hybridløsning (dvs. hydrogen, batteri og diesel) vil kunne ligge mellom 45% og 81%, avhengig av drivstoffpris og profil, med storskala mellom 15% og 32%, i forhold til konvensjonelt kystfiskefartøy. Dette som følge av både en høyere investeringskostnad knyttet til selve teknologien samt behovet for redundans. Tilsvarende vil en ammoniakk-basert hybridløsning være 65 - 124% mer kostbar (med storskala fra -6 til 34%) avhengig av drivstoffpris og driftsprofil.
- En økning i marin dieselpris til 20 kr/kg (16,8 kr/l), eventuelt en økning i CO₂-avgiften til 3344 kr/tonn, kunne utligne kostnadsforskjellen mellom hydrogen-basert hybridløsning og det konvensjonelle kystfiskefartøyet (12 timers profil og 50 kr/kg H₂).

Konklusjoner II

- Bruk av hydrogen og ammoniakk som drivstoff på et fiskefartøy på 13 m kan bidra til å redusere CO₂-utslippene betydelig. For hydrogen er reduksjonen ca 60% dersom arbeidsprofilen varer 46,5 timer, mens med ammoniakk oppnår man hele 95% reduksjon. For andre arbeidsprofiler kan denne reduksjonen variere.
- Antatt en 46,5 timers profil som grovt grunnlag for de kortere fiskefartøyene og drivstofforbruk for 2019 fra Garantikassen kan man forvente en utslippsreduksjon på henholdsvis 18, 9 og 14 prosent med hydrogen- og 29, 15 og 24 prosent med ammoniakkløsningen for havnene i henholdsvis Berlevåg, Bodø og Flakstad.
- Ved en større skala introduksjon av brenselcelleteknologi og tilhørende infrastruktur, og resulterende fall i kostnader, vil en hydrogen eller ammoniakk-basert løsning sannsynligvis kunne konkurrere kostnadmessig med et konvensjonelt kystfiskefartøy ved lav NH₃ kostnad (4 NOK/kg).
- Infrastrukturkrav for både hydrogen og ammoniakk er overkommelige med dagens teknologi.

Formidling

- Prosjektets nettside (FHF): <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901640/>
- SINTEF nettside: <https://www.sintef.no/prosjekter/elektrifisering-av-kystfiskeflaten-ved-bruk-av-batterier-og-brenselceller/>
- Presentasjon: Møte med Berlevåg Kommune, Berlevåg Havn og stortingsrepresentantene Marianne Haukland og Liv Karin Eskeland begge fra H. (20.08.2020)
- Publikasjoner/Nyhetssak:
 - TU: <https://www.tu.no/artikler/skulle-bygge-verdens-forste-hydrogenfiskebat-ble-for-dyrt/496583?key=uYGFEkdm>
 - FHF nettside: <https://www.fhf.no/nyheter/nyhetsarkiv/elektrifisering-av-kystfiskeflaten/>
 - Tekfisk: <https://www.fiskeribladet.no/tekfisk/skal-designe-verdens-forste-fiskebater-pa-hydrogen-og-ammoniakk/2-1-853358>



—— 70 år ——
1950-2020

Teknologi for et bedre samfunn