

---

---

---

DNV·GL

# Nullutslipp i 2026 for skip i verdensarvfjordene

Sjøfartsdirektoratet

**Rapportnr.:** 2019-1250, Rev. 0

**Dokumentnr.:** 11G34K4S-3

**Dato:** 2020-02-10

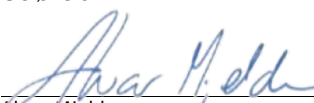


Prosjektnavn: DNV GL AS Maritime  
Rapporttittel: Nullutslipp i 2026 for skip i verdensarvfjordene Environment Advisory  
Oppdragsgiver: Sjøfartsdirektoratet, Veritasveien 1  
Kontaktperson: Vidar Andreas Thorsen 1363 Høvik  
Dato: 2020-02-10 Norway  
Prosjektnr.: 10165840 Tel:  
Org. enhet: Environment Advisory  
Rapportnr.: 2019-1250, Rev. 0  
Dokumentnr.: 11G34K4S-3

Levering av denne rapporten er underlagt bestemmelsene i relevant(e) kontrakt(er):

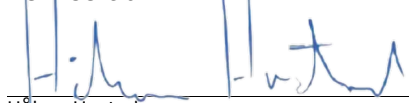
#### Oppdragsbeskrivelse:

Utført av:



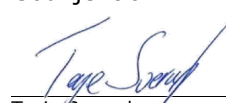
Aivar Mjelde  
Principal Consultant

Verifisert av:




Håkon Hustad  
Principal Consultant

Godkjent av:



Terje Sverud  
Head of Section



Øyvind Endresen  
Senior Principal Consultant

Nikolai Hydle Rivedal  
Consultant

Øyvind Sekkesæter  
Consultant

[Name]  
[title]

Beskyttet etter lov om opphavsrett til åndsverk m.v. (åndsverkloven) © DNV GL 2020. Alle rettigheter forbeholdes DNV GL. Med mindre annet er skriftlig avtalt, gjelder følgende: (i) Det er ikke tillatt å kopiere, gjengi eller videreformidle hele eller deler av dokumentet på noen måte, hverken digitalt, elektronisk eller på annet vis; (ii) Innholdet av dokumentet er fortrolig og skal holdes konfidensielt av kunden, (iii) Dokumentet er ikke ment som en garanti overfor tredjeparter, og disse kan ikke bygge en rett basert på dokumentets innhold; og (iv) DNV GL påtar seg ingen aktsomhetsplikt overfor tredjeparter. Det er ikke tillatt å referere fra dokumentet på en slik måte at det kan føre til feiltolkning. DNV GL og Horizon Graphic er varemerker som eies av DNV GL AS.

DNV GL distribusjon:

- ÅPEN. Fri distribusjon, intent og eksternt.  
 INTERN. Fri distribusjon internt i DNV GL.  
 KONFIDENSIELL. Distribusjon som angitt i distribusjonsliste. Distribution within DNV GL according to applicable contract.\*

- HEMMELIG. Kun autorisert tilgang.

\*Distribusjonsliste:

Nøkkelord:

Nullutslipp  
Verdensarvfjordene  
Utslipp til luft  
Utslipp til sjø

Rev.nr.	Dato	Årsak for utgivelser	Utført av	Verifisert av	Godkjent av
0	2020.02.10	Første utgave	A. Mjelde	H. Hustad	T. Sverud

## Innholdsfortegnelse

1	SAMMENDRAG.....	1
2	INTRODUKSJON .....	4
3	METODE OG DATA .....	6
3.1	AIS-basert modellering	6
3.2	Nullutslipp og teknologiske løsninger	8
3.3	Modellering av egnethet for teknologiske løsninger	9
4	ENERGIFORBRUK OG UTSLIPP I VERDENSARVFJORDENE.....	11
4.1	Energibehov ut ifra operasjonell situasjon	11
4.2	Energiforbruk og utslipp i Nærøyfjorden	13
4.3	Energiforbruk og utslipp i Geirangerfjorden	15
4.4	Trafikkutvikling 2013 - 2019	16
4.5	Videre utviklingstrekk og betydningen av allerede vedtatte NOx-krav i verdensarvfjordene	19
5	EFFEKT AV ALLEREDE BESLUTTET INNSKJERPING AV MILJØKRAV I VERDENSARVFJORDENE (FRA 1. MARS 2019) .....	21
5.1	Utslipp til luft	21
5.2	Utslipp til sjø	23
6	TEKNOLOGI FOR NULLUTSLIPP FRA SKIP.....	24
6.1	Elektrisk drift av skip	27
6.2	Hydrogen	31
6.3	Ammoniakk	36
6.4	Biodrivstoff	40
6.5	Karbonbasert elektrodrivstoff	43
6.6	Alternative løsninger for frakt av passasjerer inn i verdensarvfjordene	45
7	POTENSIALE FOR OPPTAK AV NULLUTSLIPPSLØSNINGER FOR HELE FLÅTEN I 2026.....	46
7.1	Dimensjonerende energibehov	47
7.2	Potensiale for fullelektrisk drift av skip	48
7.3	Potensiale for hydrogen eller ammoniakk som energibærer	50
7.4	Potensialet for karbonbasert elektrodrivstoff som energibærer	52
7.5	Potensialet for biodrivstoff som energibærer	52
8	POTENSIELLE VIRKNINGER OG PRINSIPIELLE PROBLEMSTILLINGER KNYTTET TIL TILTAKENE .....	54
9	REFERANSER .....	57

## 1 SAMMENDRAG

Denne studien er gjennomført på oppdrag fra Sjøfartsdirektoratet og utreder konsekvenser av å innføre krav om nullutslipp fra turistskip- og ferjer i verdensarvfjordene så snart det er teknisk gjennomførbart, og senest innen 2026. Det skal legges til grunn to alternative tolkninger av nullutslipp, henholdsvis A) Minimum 95% reduksjon i utslipp av CO<sub>2</sub> (øvrige komponenter reguleres ikke utover allerede innskjerpede krav) og B) Nullutslipp for alle utslippskomponenter.

For alternativene A og B undersøkes det teknisk løsningsrommet (overordnet) fra 2026 for skip i verdensarvfjordene med et trafikkomfang slik som i dag (2018). For de ulike skipssegmentene har det blitt etablert en oversikt over energiforbruk og operasjonsmønster, som er et vesentlig grunnlag for vurdering av potensiale for implementering av nullutslippsløsninger. Det gis videre en grundig beskrivelse av nullutslippsløsninger DNV GL anser som aktuelle, samt vurderinger av anvendelsespotensiale for tilsvarende skip i verdensarvfjordene fra 2026. Det ses her hen til sentrale forhold som teknologisk egnethet og modenhet, kostnader, kommersiell tilgjengelighet av teknologi og drivstoff, lokal infrastruktur, regelverksutvikling og annet.

Denne rapporten tar i hovedsak for seg vurdering av foreslåtte krav om *nullutslipp til luft*. Det er dette som uten sammenlikning representerer den vesentligste og mest utfordrende reelle innskjerpingen. Rapporten diskuterer overordnet sentrale positive og negative effekter, samt prinsipielle problemstillinger som kan oppstå ved innføring av de foreslåtte kravene.

### **Drivstofforbruk og utslipp i verdensarvfjordene**

Skipstrafikken som er vurdert omfatter cruiseskip, kyststrutefartøy, mindre turistfartøy (men ikke RIB- og tenderbåter) og offentlige ferger/båtruter som opererer i verdensarvfjordene i 2018. Trafikken er dominerende i turistsesongen mai til september, hvor det kan være 12-13 cruise- og passasjerskip samtidig i de enkelte verdensarvfjordene. Samlet drivstofforbruk for aktuell flåte var i 2018 ca. 6550 tonn (diesel/bunkersolje), hvilket medførte et utslipp på ca. 20 800 tonn CO<sub>2</sub>. Allerede vedtatt regelverk vil medføre at det i 2025 blir vesentlige reduksjoner i utslippet av NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> og partikler i verdensarvfjordene, sammenlignet med tilsvarende skipstrafikk som i dag. Det allerede vedtatte regelverket har imidlertid liten effekt på utslipp av CO<sub>2</sub>.

### **Tekniske løsningsrom og potensiale for opptak av nullutslippsløsninger for hele flåten i verdensarvfjordene i 2026**

DNV GL har gitt en nærmere vurdering av utvalgte drivstoff og teknologier som vi anser det er aktuelt å vurdere i forbindelse med krav om nullutslipp i verdensarvfjordene i 2026 (eller tidligere): elektrisitet (i batterier), hydrogen, ammoniakk, biodrivstoff og karbonbaserte elektrodrivstoff. Slike løsninger vil være interessante for skipsfarten i tiårene som kommer, men spørsmålet er i hvilket omfang de er praktisk gjennomførbare i 2026 (med dagens trafikkgrunnlag) i verdensarvfjordene, som et lokalt særtiltak.

Samlet vurdering er at krav om nullutslipp etter alternativ A (95 % reduksjon i CO<sub>2</sub>) vil være mulig å oppnå i 2026 i langt større grad enn etter alternativ B (nullutslipp i alle komponenter). Nullutslippskrav, særlig etter alternativ B, vil ha store konsekvenser for den flåten som opererer i verdensarvfjordene. Redusert trafikk av cruiseskip må forventes, og dette vil antakelig være den vesentligste årsaken til reduserte utslipp fra 2026 i tilfelle innføring av nullutslippskrav. Det største potensialet for bruk av nullutslippsløsninger (etter alternativ B) fra 2026 forventes å være på mindre fartøy med lokal tilknytning, forutsatt utbygging av nødvendig landinfrastruktur, samt i demonstrasjonsprosjekter. Kyststrutefartøyene er allerede planlagt med løsninger som vil kunne imøtekomme kravalternativ A (men ikke uten videre kravalternativ B), forutsatt at biogass tas i bruk. Biogass kan også være et alternativ for internasjonale cruiseskip med LNG-utrustning. Et sammendrag av vurderingene er vist nedenfor.

Elektrisk drift av skip: Fullelektrisk drift tilfredsstillere nullutslippskrav etter alternativ B. For mindre kraftkrevende skip som opererer lokalt i verdensarvfjordene vil denne teknologien være aktuell fra 2026 og tidligere. Potensialet for fullelektrisk drift vil være lavere for små/mellomstore skip som har noe eller større deler av driften utenfor verdensarvfjordene og ikke anvendbart for de store og mest energikrevende skipene i det tidsperspektivet det er snakk om i denne studien. For de mindre skipene vil utbygging av ladeinfrastruktur i nærområdene til verdensarvfjordene også kunne øke potensialet for fullelektrisk elektrisk drift i verdensarvfjordene. Utfordringene for elektrifisering er mange, primært knyttet til de større skipenes energibehov og tilhørende vekt- og plasskrav, store investeringskostnader på både skip og land, samt manglende nett- og ladekapasitet i havnene.

Hydrogen og ammoniakk: Selv om slike drivstoff kan tilfredsstillere nullutslippskrav etter alternativ B, benyttes brenselcelleteknologi, er det fortsatt betydelige teknologiske og praktiske barrierer som gjør at hydrogen og ammoniakk som nullutslippstiltak ikke vil være særlig aktuelt for skip som opererer i verdensarvfjordene i 2026. Teknologiene kan imidlertid bli representert i utviklings- og demonstrasjonsprosjekter.


Biodrivstoff: Bruk av biodrivstoff vil kun tilfredsstillere nullutslippskrav iht. alternativ A (men vil i varierende grad fortsatt ha utslipp av NOx og partikler). Flytende biogass og HVO er vurdert som reelle «drop-in» drivstoff i konvensjonelle løsninger. Flytende biogass (LBG) kan erstatte LNG helt uten tekniske tilpasninger, og reduserer i praksis også lokalutslipp i vesentlig grad utover allerede vedtatte innskjerpede krav. Tilgang til LBG vil imidlertid være en begrensende faktor, samt at den flåten som kan benytte LBG i 2026 er liten sammenlignet med flåten som i dag opererer i områdene. Frem til 2026 er det hovedsakelig skip i de største passasjerkategoriene som bygges for LNG-drift og som dermed kan benytte LBG hvis de opererer i verdensarvfjordene. I hvilken grad slike skip vil bli prioritert for drift i Norge som følge av foreslåtte krav er usikkert, men ikke utenkelig. HVO vil kunne tilfredsstillere nullutslippskrav etter alternativ A, men vil kreve bruk av tilleggsteknologi (for eksempel SCR) for å møte allerede vedtatte innskjerpede krav (Tier III fra 2025).

Karbonbasert elektrodrivstoff: Bruk av karbonbaserte elektrodrivstoff vil tilfredsstillere nullutslippskrav alternativ A (men vil i varierende grad fortsatt ha utslipp av NOx). E-metan og e-diesesel kan benyttes av eksisterende skipsmotorer og det er ikke begrensninger knyttet til bruk av denne type drivstoff om bord. Imidlertid er tilgang en stor utfordring. E-diesel vil kreve bruk av tilleggsteknologi (for eksempel SCR) for å møte allerede vedtatte innskjerpede krav (Tier III fra 2025).

## **Virkninger og prinsipielle problemstillinger**

Innføring av nullutslippskrav i verdensarvfjordene kan i prinsippet få en rekke ulike effekter på forurensningssituasjon, skipstrafikk, næringsliv og teknologiutvikling. De viktigste virkningene og prinsipielle problemstillingene er oppsummert i det følgende:

- Krav om nullutslipp i verdensarvfjordene vil gi en ytterligere reduksjon av utslipp i verdensarvfjordene, men kravene vil være svært utfordrende å møte for den flåten som i dag opererer i verdensarvfjordene. Både alternativ A og B vil kunne medføre at turisttrafikken går betydelig ned sammenlignet med dagens cruisetrafikk (aller størst med kravalternativ B). Nedgang i cruisetrafikk vil påvirke lokalt næringsliv negativt.
- Den største utslippsreduksjonen sammenliknet med allerede vedtatte krav gjelder for CO<sub>2</sub>. Reduksjon i lokale CO<sub>2</sub>-utslipp bidrar til reduksjon i de globale samlede utslipp og klimaeffekter, men det har med tanke på slike effekter i prinsippet ikke noe å si om CO<sub>2</sub>-reduksjon skjer her eller andre steder.

- 
- Utslipp av NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> og partikler vil i 2025 være betydelig redusert fra dagens nivå som følge av allerede vedtatte miljøkrav for verdensarvfjordene. Gjenværende utslipp vil bli fjernet i sin helhet med nullutslippskrav alternativ B, men sannsynligvis også vesentlig redusert som en positiv bieffekt ved nullutslippskrav alternativ A (95% reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslipp) i og med at flere av de aktuelle teknologiene (for eksempel biogass) også har svært lave lokalutslipp.
  - Kravet om nullutslipp kan medføre lekkasjetrafikk til andre fjorder. Det kan ikke utelukkes at nye konsepter for turisttrafikk i verdensarvfjordene kan åpne nye næringslivsmuligheter, men dette vil ikke kunne erstatte volumet av dagens cruisetrafikk.
  - Analysen ser kun på utslippsreduksjoner om bord på skipet.

## 2 INTRODUKSJON

Skipsfarten har de senere årene blitt underlagt et strengere regime med regler som begrenser utslipp av forurensende stoffer, særlig når det gjelder utslipp av SO<sub>x</sub> og NO<sub>x</sub> (først og fremst lokal luftforurensning). De viktigste reglene knytter seg til IMOs MARPOL-konvensjon, men også regionale aktører som EU stiller krav som påvirker næringen. Det er ventet at skipsfarten blir underlagt ytterligere internasjonale krav om utslippsreduksjon i årene som kommer. Spesielt gjelder dette for klimagassutslipp, der det i dag ikke er samsvar mellom utslippskravene og de vedtatte politiske målsettingene (blant annet den nye IMO-strategien).

Norge er i dialog med EU om felles oppfyllelse av klimaforpliktelsen for 2030 (Miljødirektoratet, 2017). Det ligger til grunn et mål om 40% reduksjon i de ikke-kvotepfiktige klimagassutslippene i Norge i forhold til 2005. I regjeringens nye handlingsplan om grønn skipsfart er ambisjonen å halvere utslippene fra innenriks sjøfart og fiske innen 2030, og å stimulere til utvikling av null- og lavutslippsløsninger i alle fartøyskategorier (Klima- og miljødepartementet, 2019).

Stortinget har også gjort et anmodningsvedtak (3.5.2018), Vedtak 672, som omfattet klimastrategi for 2030; «*Stortinget ber regjeringen implementere krav og reguleringer til utslipp fra cruiseskip og annen skipstrafikk i turistfjorder samt andre egnede virkemidler for å sørge for innfasing av lav- og nullutslippsløsninger i skipsfarten fram mot 2030, herunder innføre krav om nullutslipp fra turistskip- og ferger i verdensarvfjordene så snart det er teknisk gjennomførbart, og senest innen 2026*».


Det er også innført særskilte miljøtiltak i verdensarvfjordene (fra 1. mars 2019), i forskrift om endring av forskrift 30. mai 2012 nr. 488 om miljømessig sikkerhet for skip og flyttbare innretninger. De innskjerpede kravene setter svovelkrav som i ECA for hele verdensarvfjordområdet, strengere krav til NO<sub>x</sub>-utslipp, forbud mot utslipp mot kloakk og gråvann, reguleringer for bruk av eksosvaskeanlegg, krav om en miljøinstruks og forbud mot forbrenning av avfall om bord i skip i verdensarvfjordene.

Denne studien er gjennomført på oppdrag fra Sjøfartsdirektoratet og utreder konsekvenser av å innføre ytterligere innstramming gjennom krav om nullutslipp fra turistskip- og ferjer i verdensarvfjordene så snart det er teknisk gjennomførbart, og senest innen 2026. Det skal legges til grunn to alternative tolkninger av nullutslipp:

- A. Det skal være minimum 95% reduksjon i utslipp av CO<sub>2</sub> (for de øvrige komponenter er det ikke utslippskrav, men reduksjonen i utslipp for de øvrige komponentene synliggjøres)
- B. Det skal være nullutslipp for alle utslippskomponenter.

For alternativene A og B undersøkes det teknisk løsningsrommet (overordnet) fra 2026 for turistskip- og ferjer i verdensarvfjordene med et trafikkomfang slik som i dag. Analysen er basert på registrert faktisk aktivitet (AIS-basert) for cruise- og passasjerskip i verdensarvfjordene i 2018, og danner sammen med forutsetninger om allerede vedtatte innskjerpede krav fra 2025 et referansenivå for en situasjon uten ytterligere innskjerping (baseline).

For de ulike skipssegmentene som opererer i verdensarvfjordene har det blitt etablert en oversikt over energiforbruk og operasjonsmønster, som er et vesentlig grunnlag for vurdering av potensiale for implementering av nullutslippsløsninger. Det gis videre en grundig beskrivelse av nullutslippsløsninger DNV GL anser som aktuelle å vurdere, samt overordnede vurderinger av anvendelsespotensiale for trafikkgrunnlaget i verdensarvfjordene fra 2026. Det ses her hen til sentrale forhold som teknologisk egnethet og modenhet, kostnader, kommersiell tilgjengelighet av teknologi og drivstoff, lokal infrastruktur, regelverksutvikling og annet. Det er i vurderingene spesielt vektlagt teknisk modenhet og tilgjengelighet av drivstoff, samt egenhet med hensyn til potensiell operasjon i verdensarvfjordene. Rapporten diskuterer overordnet sentrale positive og negative virkninger, samt prinsipielle problemstillinger som potensielt



oppstår ved innføring av slike krav. Det presiseres at analysen omfatter cruiseskip, kyststrutefartøy, mindre turistfartøy og offentlige ferger/båtruter, mens RIB- og tenderbåter ikke er nærmere vurdert.

Denne rapporten tar i hovedsak for seg vurdering av foreslåtte krav om *nullutslipp til luft*. Det er dette som uten sammenlikning representerer den vesentligste og mest utfordrende reelle innskjerpingen. Krav om nullutslipp til sjø er hverken særlig annerledes enn dagens krav, eller særlig krevende å imøtekomme. Utslipp til sjø omtales derfor kort i kapittel 5.

Den vesentligste innskjerpingen i nullutslippskravene sammenliknet med allerede vedtatte krav, er kravene til reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslipp. Reduksjon i lokale CO<sub>2</sub>-utslipp er med å bidra til reduksjon i *globale klimautslipp og -effekter*, men slike effekter for verdensarvfjordenes del er ikke betinget av at CO<sub>2</sub>-reduksjonene skjer akkurat her. Dette til forskjell fra reduksjon i *lokalforurensning* slik som NO<sub>x</sub> og SO<sub>x</sub>, som imidlertid i de fleste tilfeller også vil bli redusert ved tiltak som reduserer CO<sub>2</sub>-utslipp. Selv om utslipp av lokalforurensende stoffer uansett vil bli vesentlig redusert iht. allerede vedtatte krav, ser rapporten på potensiale for ytterligere reduksjon gjennom foreslåtte nullutslippskrav.

Studien bygger videre på tidligere arbeider utført av DNV GL for Sjøfartsdirektoratet, Miljødirektoratet og Klima- og miljødepartementet hvor formålet har vært å vurdere tiltak og virkemidler for å legge til rette for at mer miljøvennlig drivstoff og teknologier tas i bruk i skipsfartsnæringen i Norge (DNV GL, 2015; 2016a; b; 2018a; 2019h).

Rapporten er strukturert som følger:

- Kapittel 2 – Introduksjon
- Kapittel 3 – Metode og data
- Kapittel 4 – Energiforbruk og utslipp i verdensarvfjordene
- Kapittel 5 – Effekt av allerede besluttet innskjerping av miljøkrav i verdensarvfjordene
- Kapittel 6 – Teknologi for nullutslipp fra skip
- Kapittel 7 – Potensiale for opptak av nullutslippsløsninger for hele flåten i 2026
- Kapittel 8 – Potensielle virkninger og prinsipielle problemstillinger knyttet tiltakene



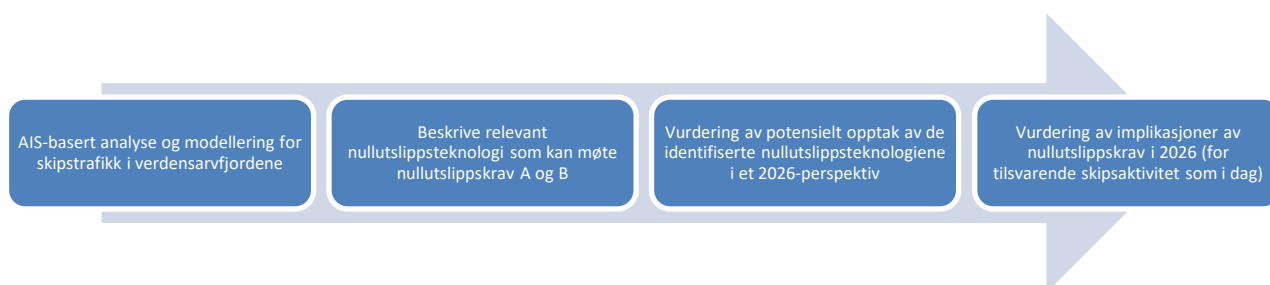
### 3 METODE OG DATA

Dette kapitlet redegjør kort for grunnlagsdata og metodikk for vurderingene av nullutslippskrav i 2026 for verdensarvfjordene. De utførte analysene baserer seg i hovedsak på en aktivitetsbasert modellering av cruise- og passasjerskip i verdensarvfjordene ved bruk av AIS-data (Automatic Identification System).

AIS-basert modellering har blitt utført på enkeltskip og resultatene aggregert i ulike skipsstørrelseskategorier og utslippskategorier, hvilket muliggjør:

- Detaljert analyse av skipstrafikken og tilhørende drivstofforbruk og utslipp for ulike referanseår.
- Modellering av utslippsreduksjoner (til luft) som følge av de allerede innskjerpede miljøkrav i verdensarvfjordene, med fokus på krav i 2025.
- Modellering av potensiale for opptak av nullutslippsteknologi i 2026.

Nedenfor beskrives de AIS-baserte metodene som benyttet, inkl. sentrale antagelser. Med AIS-analysene som basis, beskriver Figur 3-1 den overordnet tilnæringsmåte og stegene benyttet i dette studiet.



**Figur 3-1** Illustrasjon av den stegvise tilnæringsmåten til analysen

#### 3.1 AIS-basert modellering

AIS-dataene gir en detaljert og høyoppløselig oversikt over operasjonsmønstre, utseilte distanser (nautiske mil) og selingshastigheter for hvert enkelt fartøy. Modellering av drivstofforbruk og utslipp er gjennomført med DNV GL MASTER<sup>1</sup> modell, som benytter skipsbevegelsesdata fra AIS-systemet og detaljert informasjon om det enkelte fartøy, slik som installert effekt på hoved- og hjelpemotorer, maskinkonfigurasjoner, skipets designhastighet, tonnasje, byggeår, etc. (Mjelde et al, 2014, 2019; DNV GL, 2014a; DNV GL 2018a;b; DNV GL 2019b). Disse dataene danner grunnlaget for det AIS-baserte miljøregnskapet som vises i Kystverkets web portal<sup>2</sup> [www.havbase.no](http://www.havbase.no), og som er benyttet til å beregne drivstofforbruk, utslipp og operasjonelle karakteristikk for fartøyene som opererer i verdensarvfjordene.

Beregningene er foretatt for de skip som fører AIS og som har et IMO-nummer. Mindre fartøy er ikke inkludert i beregningene, da store deler av denne flåten ikke kan identifiseres via AIS-systemet. Utgangspunktet er at disse fartøyene ikke har AIS-transponder, og kan følgelig ikke plukkes opp i AIS-analysen. Det er ikke krav til at alle skip skal føre AIS, men hovedregelen er at alle passasjerskip i utenriksfart, passasjerskip over 300 GT i innenriksfart og passasjerskip over 150 GT i innenriksfart om de kan oppnå en hastighet på 20 knop eller mer er pålagt å gå med klasse A AIS-transponder. Imidlertid kan skip benytte AIS selv om det ikke er påkrevet. Tilsvarende er det ikke krav om at alle skip må ha IMO nummer, men hovedregel er at passasjerskip over 100 GT må ha IMO nummer.

Det er foretatt overordnede beregninger av SO<sub>x</sub>-utslipp. For alle skip som er innenfor SECA området (sør for Stadt) eller ligger i havn er SO<sub>x</sub>-utslippet satt til 2 kg SO<sub>x</sub>/tonn drivstoff (jf. krav om maksimalt

<sup>1</sup> Mapping of Ship Tracks, Emissions and Reduction potentials

<sup>2</sup> <https://www.kystverket.no/Maritime-tjenester/Geoportal/Kartlosninger/Havbase/>

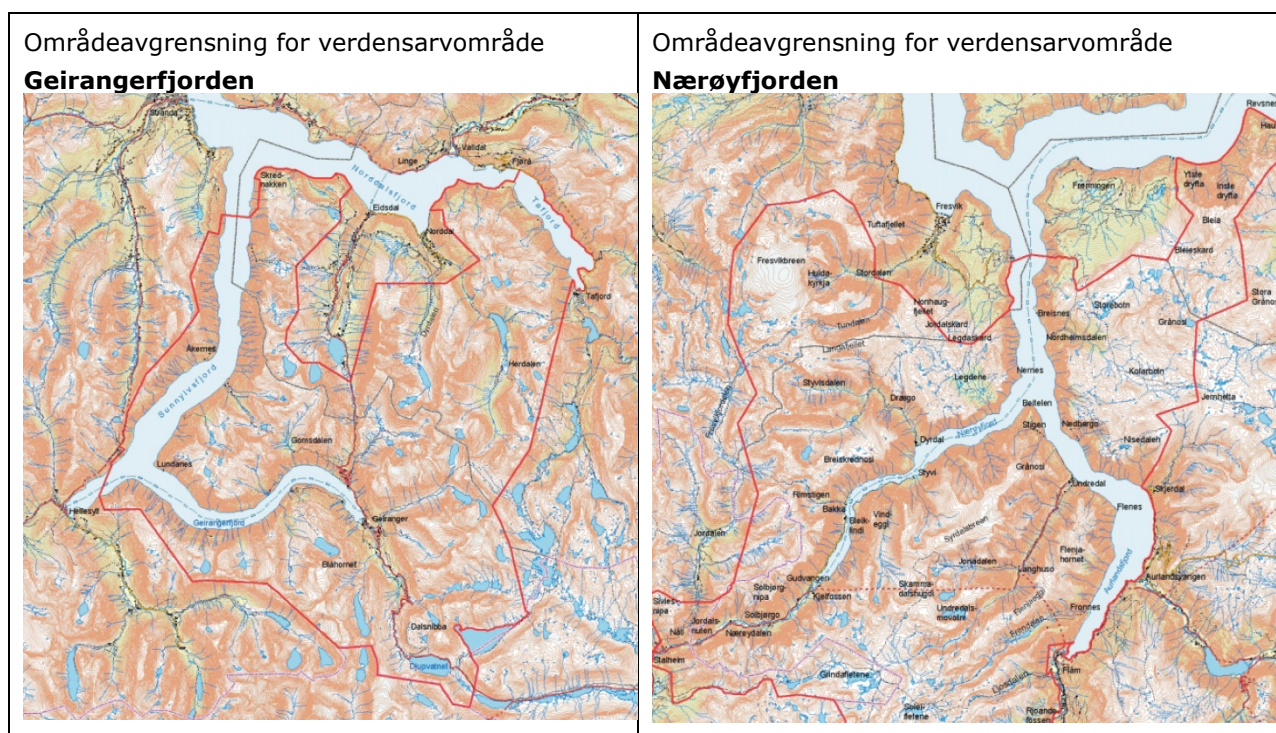
0,1% svovelinnhold). For skip større enn 10 000 gross tonn og som opererer i NØS nord for 62 grader (ikke i havn) er SO<sub>x</sub>-utslippet satt til 51.6 kg SO<sub>x</sub>/tonn drivstoff (2.58%S) (EEA, 2016). Marin gassolje som har et svovelinnhold under 0,1% benyttes i stor grad av små fartøyer. På samme måte som for SO<sub>x</sub>-utslipp, er det foretatt beregningene av PM<sub>10</sub> utslipp ved bruk av utslippsfaktorer fra EEA (2016). Utslippsfaktorene for CO<sub>2</sub> er i henhold til IMO GHG 2014.

De AIS-baserte modelleringene er gjennomført for området angitt nedenfor. Det er også valgt å dele cruise- og passasjerskipene inn i ulike størrelseskategorier, også angitt nedenfor.

### 3.1.1 Områdeavgrensning

Figur 3-2 viser et utsnitt av verdensarvområdene, angitt som Geirangerfjorden og Nærøyfjorden. Den røde grenselinjen viser de geografiske avgrensningene for verdensarvområdene, som vil bli omfattet av foreslåtte nullutslippskrav i 2026. I denne rapporten er analyseområdene definert som:

- Geirangerfjorden - fra 62,252 grader nord i Sunnlyvsfjorden og omfatter hele fjorden inn til Geiranger. Fjordarmen inn til Hellesylt er også inkludert i analysen, selv om det i definisjonen ligger utenfor verdensarvområdet.
- Nærøyfjorden - fra 61,057 grader nord i Aurlandfjorden og omfatter hele fjorden inn til Aurland og inn Nærøyfjorden til Gudvangen.



**Figur 3-2** Analyseområdene hvor det er vurdert nullutslippsløsninger

### 3.1.2 Valgte størrelseskategorier

DNV GL finner det hensiktsmessig å dele cruise og passasjerskipene inn i ulike størrelseskategorier ut fra passasjerkapasitet. I analysen er det derfor benyttet kategoriene:

- 15 – 100 passasjerer
- 100 – 400 passasjerer
- 400 – 1000 passasjerer
- 1000 – 2000 passasjerer
- 2000 – 4000 passasjerer
- > 4000 passasjerer

## 3.2 Nullutslipp og teknologiske løsninger

Denne rapporten tar i hovedsak for seg vurdering av foreslåtte krav om *nullutslipp til luft*. Det er dette som uten sammenlikning representerer den vesentligste og mest utfordrende reelle innskjerpingen. Krav om nullutslipp til sjø er hverken særlig annerledes enn dagens krav, eller særlig krevende å imøtekomme.

Når det gjelder utslipp til luft fra skip er det utslipp av karbondioksid (CO<sub>2</sub>) og metan (CH<sub>4</sub>) som er de viktigste klimagassene, men effektene av klimagassutslipp er ikke knyttet til hvorvidt utslippene skjer innenfor eller utenfor verdensarvfjordene. Utslipp av partikler (PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub>), svoveloksider (SO<sub>x</sub>) og nitrogenoksider (NO<sub>x</sub>) fra skip påvirker lokal luftkvalitet og er skadelig for helse- og naturmiljø. Utslipp av disse parameterne er hovedsakelig en utfordring for bynære eller tett befolkede områder, og spesielt sårbare naturområder, men utslippene kan også transporteres over lengre avstander og gi effekter.

I denne analysen er det utslippskomponentene CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, partikler som blir vurdert. I tillegg vil det bli diskutert hvilken effekt de ulike tiltak har på visuell røyk. Det skal legges til grunn to alternative tolkninger av nullutslipp, hvor:

Det skal iht. oppdraget gjøres vurderinger for to alternative forståelser av begrepet nullutslipp:

A - Minimum 95% reduksjon i utslipp av CO<sub>2</sub> (for de øvrige komponenter er det ikke utslippskrav, men reduksjonen i utslipp for de øvrige komponentene synliggjøres).

B - Faktisk nullutslipp for alle utslippskomponenter.

Bruk av forskjellige energikilder og energikonvertere (for eksempel forbrenningsmotorer eller brenselceller) gir mulighet for å oppnå nullutslipp for skip iht. disse to definisjonene. Nullutslipp kan i utgangspunktet synes å være opplagt, men det er også tolkningsrom knyttet til systemavgrensning. Spesifikt må det adresseres om en begrenser seg til utslipp om bord på skip eller om utslipp knyttet til produksjon og transport av drivstoff (livssyklusutslipp) skal medregnes. Dette er spesielt en viktig problemstilling knyttet til alternative null-/lavutslippsdrivstoff slik som hydrogen, ammoniakk, E-drivstoff og biodrivstoff. **I denne rapporten regner vi kun på utslipp fra selve skipet.**

DNV GLs analyse av løsningsrommet for nullutslipp i verdensarvfjordene konsentrerer seg om et utvalg energikilder og tekniske løsninger som allerede er tatt i bruk i maritim virksomhet, er under uttesting eller som er fremtredende i diskusjonene om fremtidige mulige løsninger. Tabell 3-1 gir en oversikt over de mest relevante løsningene for ulike nivåer av «nullutslipp» (jf. A og B over).

**Tabell 3-1 Teknologioversikt for de to foreslåtte alternativene for «nullutslipp» (avgrenset til utslipp fra selve skipet)**

Energikilde	Konverter	Kategori nullutslipp	Kommentar
Fullelektrisk	Batteridrift	A, B	Nullutslipp
Hydrogen	Brenselcelle	A, B	Nullutslipp
Hydrogen	Forbrenningsmotor	B	Har utslipp av NO <sub>x</sub> , PM og visuell røyk <sup>(3)</sup>
Ammoniakk	Brenselcelle	A, B	Nullutslipp
Ammoniakk	Forbrenningsmotor	B	Har utslipp av NO <sub>x</sub> , PM og visuell røyk <sup>(3)</sup>
E-drivstoff	Forbrenningsmotor <sup>(1)</sup>	B	Har utslipp av NO <sub>x</sub> , PM og visuell røyk
Biodrivstoff	Forbrenningsmotor <sup>(2)</sup>	B	Har utslipp av NO <sub>x</sub> , PM og visuell røyk

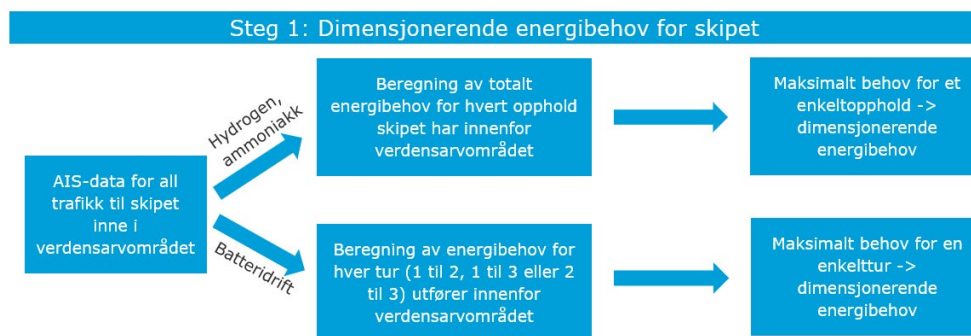
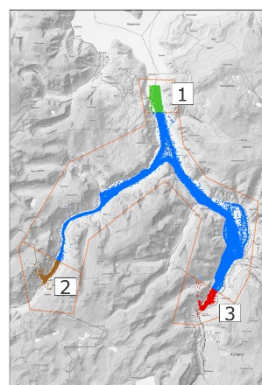
- (1) E-drivstoff kan omfatte flere syntetisk karbonbaserte drivstofftyper, men rapporten konsentrerer seg om e-diesel og e-metan.  
 (2) Biodrivstoff omfatter i denne studien biogass (LBG) og HVO.  
 (3) Utslipp av PM og visuell røyk vil være svært begrenset.

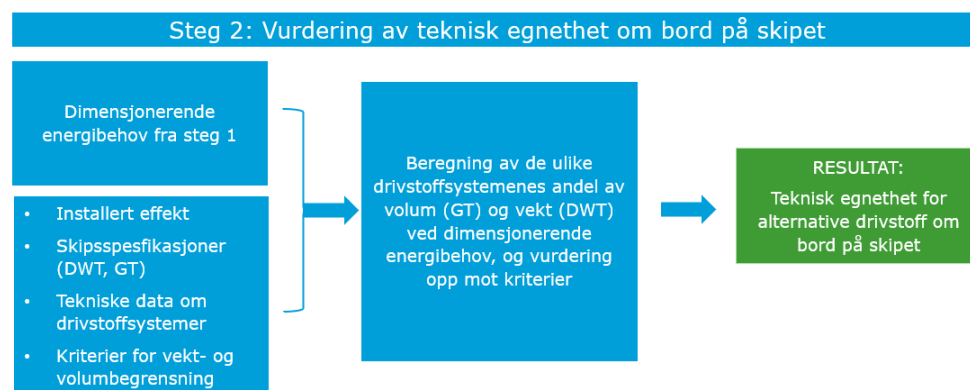
### 3.3 Modellering av egnethet for teknologiske løsninger

For nærmere vurdering av løsningsrommet for nullutslipp for de skip som opererer i verdensarvfjordene er det helt sentrale å analysere energibehovet for det aktuelle skipene. Det er derfor foretatt modellering av teknisk egnethet av teknologi om bord.

Flere av energibærerne som er aktuelle for å realisere nullutslipp karakteriseres ved lav energitetthet, sammenlignet med konvensjonelt drivstoff slik som fossil diesel/MGO. Dette gjelder særskilt for batteri, men også for hydrogen og ammoniakk (DNV GL, 2019b, c). Disse energibærerne har i utgangspunktet lavere energitetthet per masse og/eller per volum sammenliknet med konvensjonelt drivstoff. I tillegg kan systemene som kreves for å lagre og benytte energibærerne om bord på skipet (tanker og drivstoffhåndteringssystemer, brenselceller, battericeller), være mer vekt- og plassintensive sammenliknet med konvensjonelle løsninger. Siden bruk av slike nullutslippsløsningene medfører vekt- og volumøkning om bord, vil det være tekniske begrensninger for hvilke skip disse teknologiene er anvendbare på.

For å analysere i hvilken grad hydrogen, ammoniakk- og batteridrift er teknisk anvendbart på skip som trafikkerer i verdensarvfjordene, benytter vi AIS-data på enkeltskipsnivå. Beregningene gjøres for Nærøyfjorden, men resultatene fra analysen anses å være representative også for øvrige deler av verdensarvfjordene. Figur 3-3 viser en skjematisk oversikt over analysen.





**Figur 3-3 Skjematisert oversikt over prosedyre for analyse av teknisk egnethet for nullutslippsteknologier om bord på enkeltskip. Kartet til venstre viser verdensarvområdet med inngang (1), og fjordområdene (2) og (3)**

I steg 1 beregner vi et dimensjonerende energibehov for hvert skip. For drift på hydrogen eller ammoniakk beregner vi energibehovet for all drift til skipet *per opphold* innenfor Nærøyfjorden (ett opphold, fra skipet går inn i område 1 til det går ut av område 1 nordover). Det er altså antatt at skipet om bord har lagret alt drivstoffet det trenger til operasjon i området, og ikke bunkrer i verdensarvområdet. Analyse av teknisk egnethet gjøres separat for hver enkelt teknologi. Imidlertid vil det med all sannsynlighet være en kombinasjon av flere teknologiske løsninger som benyttes.

Skip som oppholder seg store deler av året inne i området og utfører mange turer mellom 2 og 3 inkluderer vi ikke i denne delen av analysen. For batteridrift inkluderer vi derimot alle skipene og beregner energibehovet *per tur* mellom 1 og 2, 1 og 3 eller 2 og 3, og antar at batteriene lades ved havnene (2 og 3). Vi beregner energibehovet for hvert enkelt opphold og hver enkelt tur gjennom et år, og finner det maksimale behovet – dette blir det *dimensjonerende energibehovet* for nullutslippsdrift.

I steg 2 beregner vi hva det dimensjonerende energibehovet gir av nødvendig lagret mengde energibærer (installert batterikapasitet, lagret hydrogen eller lagret ammoniakk), samt fremdriftssystem om bord. Vekten og volumet av de ulike systemene er basert på verdier fra litteraturen for energi- og effekttetthet (inkl. Marigreen, 2018). Det er tatt utgangspunkt i dagens tettheter. Det bemerkes imidlertid at det rapporteres om forbedret effekttetthet for nye og innovative brenselcellekonsepter<sup>3</sup> og energitetthet fra utvikling i batteriteknologi. Vekt og volum til systemene sammenlignes så med henholdsvis skipets vekt (uttrykt ved DWT) og volum (uttrykt ved GT) for å bestemme teknisk egnethet. I realiteten må det detaljert bestemmes for det enkelte skipets design hva som er mulig av vektøkning og volumøkning sammenlignet med konvensjonelle system, og det vil nok eksempelvis være mer handlingsrom for et nybygg enn ombygging av eksisterende skip. I denne utredningen legges det forenklet til grunn at nullutslippsteknologien maksimalt kan utgjøre tre ganger mer av DWT og tre ganger av GT enn konvensjonell teknologi. Dette vil føre til at mer av skipets plass og vekt går med til lagring av alternative drivstoff. Modellen beregner også merkostnader, knyttet til nødvendige investeringer ombord.

Potensialet for opptak av ulike løsninger for å møte nullutslippskrav fra 2026 vurderes så i et bredere perspektiv av barrierer og muligheter i kapittel 7.

<sup>3</sup> <https://www.powercell.se/wordpress/wp-content/uploads/2018/12/powercell-ms100-datasheet-pdf.pdf> [30.09.19].

## 4 ENERGIFORBRUK OG UTSLIPP I VERDENSARVFJORDENE

I det følgende beskrives energibehov for cruise- og passasjerskip iht. hva slags operasjon de har, samt DNV GLs beregnede energibehov og utslipp for de cruise- og passasjerskipene som opererer i de to verdensarvområdene. Herunder er trafikktviklingen for perioden 2013 – 2018 tatt hensyn til. Resultatene danner grunnlaget for vurdering av mulighetene for og implikasjonene av kravet om nullutslipp i 2026.

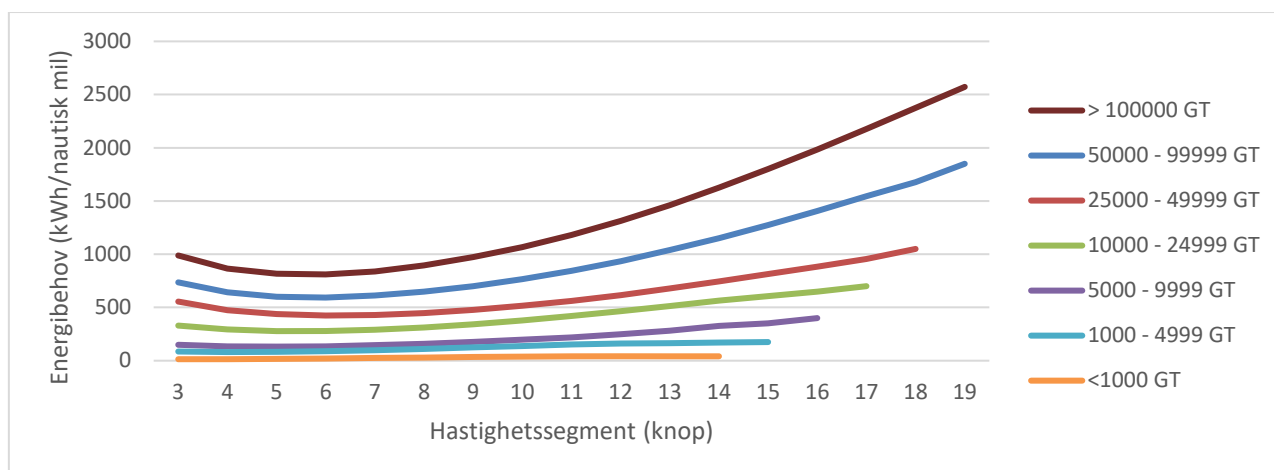
### 4.1 Energibehov ut ifra operasjonell situasjon

Til vurdering av potensiale for implementering av nullutslippsløsninger er det nødvendig å forstå hvordan energiforbruket fordeler seg på henholdsvis seilas og havneopphold, samt hva slags operasjonsmønster skipene har innenfor og utenfor verdensarvområdet.

#### 4.1.1 Energibehov under seilas og havneopphold

Det er store forskjeller i energibehov og utslipp for det enkelte cruise- og passasjerskip, avhengig av blant annet skipenes størrelse, design, utrustning/fasiliteter ombord, maskinkonfigurasjon og evt. utslippsreducerende tiltak. De store skipene vil ha et vesentlig større energibehov enn de små, men samtidig er store skip generelt mer energieffektive per passasjerenhet, f.eks. kWh/passasjer nautiske mil. Skipenes operasjonsprofil (seilingshastigheter) er også av vesentlig betydning fordi energibehovet til fremdrift som regel øker eksponentielt med skipets hastighet.

Som en illustrasjon viser Figur 4-1 gjennomsnittlig energibehov per nautisk mil ved ulike seilingshastigheter og for syv størrelseskategorier cruise- og passasjerskip (gross tonn kategorier). Figuren viser den store forskjellen i energiforbruket mellom store og små skip, effekt av hastighet samt at det er en typisk nedre terskelverdi rundt 6-8 knop der redusert fart ikke lenger vil gi en reduksjon i energiforbruket. Reduseres farten for mye vil energibruken heller øke. Det vil være store individuelle forskjeller i energibehovet for det enkelte skip fordi de betjener ulike formål (turistbåter, hurtigbåt, bilferje, cruise, etc.), og fordi skipene seiler med ulik hastighet. Beregning av energibehov, drivstofforbruk og utslipp må derfor gjøres på enkeltskip.



**Figur 4-1 Energiforbruk ved ulike hastighetssegmenter og størrelseskategorier skip. Kilde DNV GL (2018c)**

Typisk seilingshastighet i verdensarvfjordene er rundt 15 knop for de fleste større skipene. Det betyr at energiforbruket for ett av de største skipene som skal seile i verdensarvfjorden, f.eks. 18 nautiske mil i Geirangerfjorden, vil være i størrelsesorden 30MWh én vei og 60MWh tur-retur. For et mindre skip i segmentet 25000-50000 gross tonn vil energibehovet ved samme forutsetninger være i rundt 9MWh én vei og 18MWh tur retur. Dette er energi som i tilfelle nullutslippskrav må være tilgjengelig om bord som

lagret elektrisk energi i batteribanker og/eller som energi i form av alternative drivstoff som hydrogen, ammoniakk, biodrivstoff, etc.

Reduserer skipene seilingshastigheten i verdensarvfjordene vil energibehovet reduseres. Reduksjonspotensialet er anslått å kunne være i størrelsesorden 35% for Geirangerfjorden og 30% for Nærøyfjorden. Dette skyldes at skipene som opererer i Nærøyfjorden i gjennomsnitt holder lavere hastighet enn skipene i Geirangerfjorden (DNV GL, 2018c).

Elektrifisering av skip som ligger i havn ved bruk av landstrøm er et effektivt tiltak for å redusere utslipp fra skip. I analysen er det benyttet data fra DNV GL og Marintek (Rambøll 2017) som angir typisk effektbehov for cruiseskip som ligger til kai, hvor effektbehovet vokser proporsjonalt med størrelse på skipet. Dataene viser god korrelasjon med rapporterte verdier fra spesifikke cruiseskip. Det er imidlertid individuelle forskjeller i effektbehovet for det enkelte skip, og som en pekepinn krever de største skipene opp mot 10-12MW når de ligger i havn, mens de mindre cruiseskipene (<1000 passasjerer) vil ha et mer moderat effektbehov på 1-2MW.

Skal strøm fra land benyttes til å lade batteribanker ombord slik at skipet også kan seile utslippsfritt i verdensarvfjordene, vil effektbehov fra strømmettet ved lading på destinasjon inne i fjordene øke med 3-4 MW for de største skipene for å kunne møte energibehovet til turen ut av verdensarvfjorden. For de mindre skipene, dvs. rundt 1000 passasjerer, er tilsvarende økning ca. 1MW. Landstrøm og evt. tillegg av ladebehov vil representere et kontinuerlig effektbehov som kreves typisk i 8-10 timer for hvert skip mens skipet ligger til kai.

I høysesongen er det ofte flere store skip i havn samtidig, samtidig som det normalt opererer en flåte av 8-10 mindre skip i området. Elektrifisering av alle disse basert på lading fra land på destinasjonene anses av DNV GL ikke som realistisk ut ifra dagens kapasitetsbegrensninger i strømmettet i havnene.

Lading av batterier for utslippsfri seilas i verdensarvfjordene vil også medføre ladebehov i havner utenfor området, men kan også løses ved lading av batterier ved bruk av skipenes egne dieselgeneratorer (med tilhørende utslipp) under operasjon utenfor områdene. Dette er en prinsipiell problemstilling som også må vurderes (se også kapittel 7.2). Lades batteriene utenfor verdensarvområdet med skipets egne motorer vil dette gi et høyere globalt utslipp av CO<sub>2</sub> enn om drivstoffet benyttes direkte til fremdrift (som følge av tap i omformingene av energi).

#### 4.1.2 Operasjonsmønster i verdensarvfjordene

Utover de rent tekniske forutsetningene for nullutslippdrift i verdensarvområdene, er fartøyenes *operasjonsmønster* en faktor av betydning for potensialet for opptak av nullutslippsteknologi. Tilhørighet til området, antall turer i eller inn til området, liggetid i havn, sesongvariasjoner, øvrig operasjon i Norge og/eller internasjonalt er parametere som vil styre eventuelle beslutninger i teknologiinvestering og/eller omdisponering av skip som følge av eventuelle nullutslippskrav. Turisttrafikken i verdensarvområdet kan deles inn i to hovedkategorier ut ifra operasjonsmønster:

- Skip som hovedsakelig opererer i fjordområdet gjennom hele året eller i turistsesongen.
- Skip som har verdensarvfjorden som en destinasjon, i tillegg til øvrig operasjon nasjonalt eller internasjonalt.

### **Skip som hovedsakelig opererer i fjordområdet gjennom hele året eller i turistsesongen**

Dette er typisk ferjer og passasjerskip i passasjersegmentet under 1000 passasjerer som tilbyr lokale fjordcruise. Skipene går som oftest i faste ruter og kan ha flere anløpssteder på en rundtur i fjorden. På dagtid vil disse skipene være til kai i korte perioder, mens de på kveld og over natten hovedsakelig ligger stille ved kai. Energiforbruk til drift av disse skipene må i all hovedsak leveres til skipene lokalt. Energibehovet er relativt lavt sammenliknet med de cruiseskipene som har verdensarvfjorden som en destinasjon.

### **Skip som har verdensarvfjorden som en destinasjon, i tillegg til øvrig operasjon nasjonalt eller internasjonalt**

Dette er skip som har hoveddelen av sin aktivitet utenfor verdensarvområdet, med verdensarvfjordene som destinasjon på en rundreise. Dette kan være hurtigbåter og turistbåter/ferjer som er i fast rute eller som mer sporadisk går inn i verdensarvfjorden (charter). Kystruteskipene (i dag Hurtigruten) tar også turen inn til Geiranger i deler av sesongen. Imidlertid er det de internasjonale cruiseskipene som står for den største trafikken målt i energiforbruk/utslipp og passasjerantall, konsentrert til sommerhalvåret.

Skipene som går i fast rute vil være hurtigbåter/fjord cruise/ferjer og turistbåter i de minste passasjersegmentet, opptil 400 passasjerer. Denne kategorien skip ligger typisk til kai i korte perioder. Cruiseskip som har verdensarvområdet som en av mange destinasjon i Norge har normalt ett anløp per dag og ligger til kai typisk i 8-10 timer.

Energiforbruk til drift av disse skipene kan potensielt leveres lokalt, men hoveddelen av energibehovet (dvs. cruiseskipene) er det ingen som i dag bunkrer drivstoff i verdensarvfjordene, og de fleste bunkrer ikke i Norge i det hele tatt.

## **4.2 Energiforbruk og utslipp i Nærøyfjorden**

Innseilingen i Aurlandsfjorden til Flåm (verdensarvområdet) er ca. 14 nautiske mil (26 km), mens selve Nærøyfjorden er i overkant av 9 nautiske mil (17 km). Analyse av skipstrafikk i Verdensarvfjorden omfatter alle cruise- og passasjerskip som har vært innenfor analyseområdet i 2018. Skipene går hovedsakelig inn Aurlandsfjorden til Flåm, mens enkelte mindre cruise- og passasjerskip går også innom Nærøyfjorden. Det er i tillegg flere mindre passasjerskip (turistbåter/ferjer/hurtigbåter) som hovedsakelig opererer i fjordsystemet med ett eller flere anløpssteder i fjordarmene.

Tabell 4-1 gir en oversikt over cruise- og passasjertrafikk i området med antall skip, gjennomsnittsalder, utseilte distanser, operasjonstid, drivstofforbruk og utslipp gruppert i 5 passasjersegmenter (ut fra passasjerkapasitet).

Det er i 2018 identifisert 79 forskjellige cruise- og passasjerskip i området. Skipene i de to minste passasjersegmentene (opptil 1000 passasjerer) utgjør ca. 60% av denne flåten og har et samlet drivstofforbruk med tilhørende utslipp på ca. 44 % av totalen for området. I disse to minste passasjersegmentene er det en blanding av lokale turistfartøy, passasjerferjer, hurtigbåter, charterbåter og små cruiseskip. En liten andel (<10 %) av skipene opererer mer eller mindre i faste ruter i verdensarvfjorden i turistsesongen mai til september, for eksempel det hybrid elektriske skipet «Vision of the fjords» og det fullelektriske «Future of The Fjords».

De tre største passasjersegmentene består hovedsakelig av internasjonale cruiseskip som har verdensarvfjordene som destinasjon på sin rundreise i Norge/Nord-Europa. Samlet utgjør drivstofforbruk med tilhørende utslipp for disse større cruiseskipene ca. 56 % av totalen for området.



**Tabell 4-1 Antall skip, alder, og utslipp til luft i Nærøyfjorden i 2018**

Passenger segment (# PAX)	Skip (#)	Snitt alder (år)	Utseilt distanse (nm)	Tid (timer)	Drivstoff- forbruk (tonn)	Utslipp (tonn)			
						CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub> (1)	PM <sub>10</sub> (2)
100-400	22	35	57 336	26 225	660	2 110	28	1	1
400-1000	25	28	39 913	13 147	600	1 900	25	1	1
1000-2000	11	27	843	369	360	1 160	16	1	<1
2000-4000	17	11	1 549	807	1 010	3 160	50	2	1
>4000	4	13	292	155	210	670	11	<1	<1
<b>Samlet</b>	<b>79</b>	<b>25</b>	<b>99 933</b>	<b>40 702</b>	<b>2 840</b>	<b>9 000</b>	<b>130</b>	<b>6</b>	<b>4</b>

(1) Lave som følge av gjeldende SECA krav for området

(2) Det er usikkerhet knyttet til beregning av partikkelutslipp og effekt av allerede innførte krav

Tabell 4-2 viser en månedsfordeling av skip som i 2018 opererte samtidig i området, inkludert samlet energibehov per døgn. Tabellen viser at det i turistsesongen mai til september kan være 12-13 cruise- og passasjerskip samtidig i området. Høy belastning vil typisk være ett skip i den største passasjerkategorien eller to i den nest største kategorien, i tillegg til 8-9 mindre skip (opptil 1000 passasjerer) bestående av turistskip, hurtigbåter og passasjerskip som har daglig turer inn i området/går i faste ruter, eller små cruiseskip.

I turistsesongen og på dager med høyest aktivitet vil det daglige samtidige energibehovet for alle disse skipene være svært høyt. Det vil også være dager der det ikke er cruiseskip i de tre største passasjerkategoriene slik at det daglige energibehovet vil være betydelig lavere. En utfordring for dimensjonering av eventuell lokal energiforsyning av for eksempel strøm (landstrøm og evt. ladestrøm) vil derfor være den store variasjonen i det daglige effektbehov fra strømmettet. I tillegg vil det samlede energibehovet variere vesentlig over året siden det er avhengig av antallet og størrelse på skip som seiler inn og ligger i havn.

**Tabell 4-2 Antall skip som opererer samtidig i verdensarvfjorden, og deres samlede energibehov fordelt på måned i 2018**

Passenger segment (# PAX)	Maks antall skip i området per passasjersegment						Samlet energibehov (MWh/døgn)			
	100- 400	400- 1000	1000 - 2000	2000- 4000	>4000	Alle størrelser	Seiling maks	Seiling min	Havn maks	Havn min
Januar	4	1	-	-	-	5	4	2	5	3
Februar	4	1	-	-	-	5	5	2	7	3
Mars	5	2	-	-	-	6	18	1	39	3
April	5	2	1	-	-	8	41	3	85	2
Mai	8	3	1	1	1	12	95	11	111	2
Juni	8	4	2	2	1	12	96	17	119	2
Juli	9	5	2	2	1	13	82	18	116	3
August	9	3	1	2	1	13	78	12	117	3
September	5	4	1	1	1	9	70	10	122	2
Oktober	3	2	-	1	1	5	35	<1	60	1
November	2	1	-	-	-	3	4	<1	2	1
Desember	3	1	-	-	-	4	4	<1	3	1

-Ingen skip i dette passasjersegmentet

### 4.3 Energiforbruk og utslipp i Geirangerfjorden

Innseilingen i Sunnlyvsfjorden og Geirangerfjorden til Geiranger (verdensarvområdet) er ca. 18 nautiske mil (33 km). Analyse av skipstrafikk i verdensarvfjorden omfatter alle cruise- og passasjerskip som har vært innenfor analyseområdet i 2018. Skipene går hovedsakelig inn Sunnlyvsfjorden til Geiranger, mens enkelte skip har kortere stopp i Hellesylt før de går inn til Geiranger. Det er i tillegg flere mindre passasjerskip (turistbåter/ferjer) som hovedsakelig opererer i fjordsystemet, i rute mellom Geiranger og Hellesylt eller som fjordcruise.

Tabell 4-3 gir en oversikt over cruise- og passasjertrafikk i området med antall skip, gjennomsnittsalder, utseilte distanser, operasjonstid, drivstofforbruk og utslipp gruppert i 6 passasjersegmenter (ut fra passasjerkapasitet).

Det er i 2018 identifisert 84 forskjellige cruise- og passasjerskip i området, hvorav ca. 58% av skipene er i de tre minste passasjersegmentene, opptil 1000 passasjerer. Disse relativt små skipene har en høy gjennomsnittsalder (rundt 30 år). Drivstofforbruk og tilhørende utslipp for disse skipene utgjør ca. 33 % av totalen for området. De tre største passasjersegmentene (typisk cruiseskip i internasjonal fart) består av vesentlig nyere skip som står for 67 % av totalt drivstofforbruk og tilhørende utslipp i området.

**Tabell 4-3 Antall skip, alder, og utslipp til luft i Geirangerfjorden i 2018**

Passenger segment (# PAX)	Skip (#)	Snitt alder (år)	Utseilt distanse (nm)	Tid (timer)	Drivstofforbruk (tonn)	Utslipp (tonn)			
						CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub> <sup>(1)</sup>	PM <sub>10</sub>
15-100	1	66	37	15	<0,5	<1	-	-	-
100-400	15	36	40 976	6 328	570	1 800	24	2	1
400-1000	33	26	4 352	754	650	2 070	35	20	3
1000-2000	11	26	1 736	463	520	1 640	26	14	2
2000-4000	20	9	3 227	1 262	1 610	5 140	86	40	6
>4000	4	8	618	223	360	1 150	21	10	1
<b>Samlet</b>	<b>84</b>	<b>30</b>	<b>50 945</b>	<b>9 045</b>	<b>3 710</b>	<b>11 800</b>	<b>191</b>	<b>87</b>	<b>13</b>

(1) Estimert svovelinhold i drivstoff tilsvarende som for skip utenfor SECA området

- Svært lave verdier

Tabell 4-4 viser en månedsfordeling av skip som i 2018 opererte samtidig i området, inkludert samlet energibehov per døgn. Tabellen viser at det i turistsesongen mai til september kan være 7-9 cruise- og passasjerskip samtidig i området. Høy belastning vil typisk være to skip i den største passasjerkategorien eller to i den nest største kategorien i tillegg til 4-5 mindre skip (opptil 1000 passasjerer) bestående av turistskip, hurtigbåter og passasjerskip som har daglig turer inn i området/går i faste ruter, eller små cruiseskip.

I turistsesongen og på dager med høyest aktivitet vil det daglige samtidige energibehovet for alle disse skipene være svært høyt, særlig siden det kan være to av de største skipene samtidig i havn. Det vil også være dager der det ikke er cruiseskip i de tre største passasjerkategoriene slik at det daglige energibehovet vil være betydelig lavere. En utfordring for dimensjonering av eventuell lokal energiforsyning av for eksempel strøm (landstrøm og evt. ladestrøm) vil derfor være den store variasjonen i det daglige effektbehov fra strømmettet. I tillegg vil det samlede energibehovet variere vesentlig over året siden det er avhengig av antallet og størrelse på skip som seiler inn og ligger i havn.

I vintersesongen november til mars er det sporadisk registrert skip i området, og i all hovedsak er det ikke regulær cruise- og passasjertrafikk i området i vintersesongen.

**Tabell 4-4 Antall skip som opererer samtidig i verdensarvfjorden, og deres samlede energibehov fordelt på måned i 2018**

Passenger segment (# PAX)	Maks antall skip i området per passasjersegment					Samlet energibehov (MWh/døgn)				
	100-400	400-1000	1000-2000	2000-4000	>4000	Alle størrelser	Seiling maks	Seiling min	Havn maks	Havn min
Januar							-	-	-	-
Februar	-	1	-	-	-	1	3	2	<1	<1
Mars							-	-	-	-
April	2	-	-	-	-	2	6	3	2	-
Mai	3	2	1	2	2	5	134	6	173	-
Juni	5	3	2	2	1	9	161	22	160	1
Juli	4	3	2	2	2	7	178	28	163	<1
August	4	3	2	2	2	7	159	22	134	<1
September	3	1	1	2	1	4	121	5	116	-
Oktober	3	-	-	1	-	4	40	3	63	-
November	1	-	-	-	-	1	3	<1	-	-
Desember	1	-	-	-	-	1	<1	-	-	-

## 4.4 Trafikkutvikling 2013 - 2019

Det er foretatt en analyse av cruise- og passasjerskip som opererer i verdensarvområdene for perioden 2016 til september 2019 ved bruk av AIS-data. Det var ikke mulig å inkludere flåteaktivitet for perioden 2013 – 2015 fordi AIS-dekningene inne i verdensarvfjordene var for dårlig.

For hver av fjordene er det nedenfor gitt en oversikt over antall unike skip (IMO nummer), utseilte distanser, driftstid, passasjertimer<sup>4</sup> og passasjernaustiske mil for hvert kalenderår frem til og med september 2019. For den resterende perioden av 2019 er det vanligvis lite trafikk i Geirangerfjorden, slik at 2019 dataene fortsatt gir en god pekepinn på hva som kan forventes for hele 2019. For Nærøyfjorden er det vanligvis trafikk hele året, slik at de AIS-baserte tallene må regnes som mer underestimerte sammenliknet med forventede reelle totaler for 2019.

### Nærøyfjorden

Antallet unike skip som opererer i Nærøyfjorden har vært forholdsvis stabilt, med i overkant av 70 unike skip per år og med en liten økning i de siste to årene. Frem til 2019 var det også en jevn økning i utseilt distanse, driftstimer og estimert drivstofforbruk, mens det i 2019 ser ut til å bli en nedgang.

Figur 4-1 viser utviklingen i passasjertimer fordelt på ulike passasjersegmenter (passasjerkapasitet). Figuren viser at det for de to minste passasjersegmentene er en endring fra 2018, der passasjertimer på skip med 400-1000 passasjerer øker. Det er foreløpig usikkert hvor stor nedgangen på de minste skipene er i 2019, jf. gjenværende tid av året der disse fartøyene fortsatt har drift. Økningen i segmentet 400-1000 passasjerer skyldes mest sannsynlig at de to fartøyene «Vision of the fjords» og «Future of the Fjords» startet med faste ruter i området fra 2018/2019.

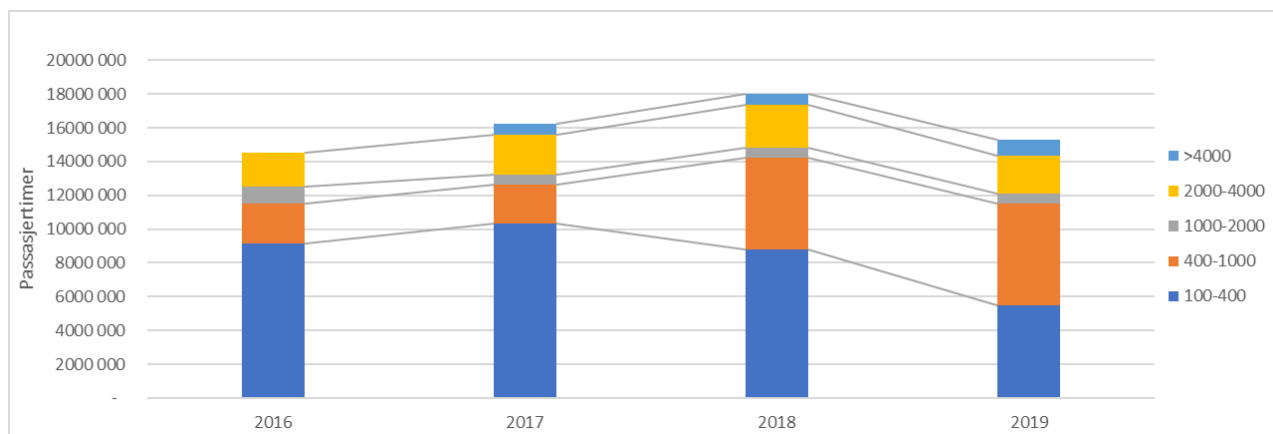
For de større passasjersegmentene (> 1000 passasjerer) er det lite endring i antall passasjertimer. Fra 2017 kom det imidlertid inn skip i det største passasjersegmentet, og det kan se ut som om det er en ørliten dreining mot større skip. Det har vært en liten nedgang i drivstofforbruket, rundt 5%, hvilket kan

<sup>4</sup> Med passasjertimer og passasjernaustiske mil menes antall timer eller utseilt distanse multiplisert med passasjerkapasitet

sammenfalle med større og mer effektive skip og introduksjon av nullutslippsskip som opererer i lokal fart samt at det er noe underrapportering siden data for siste del av 2019 mangler.

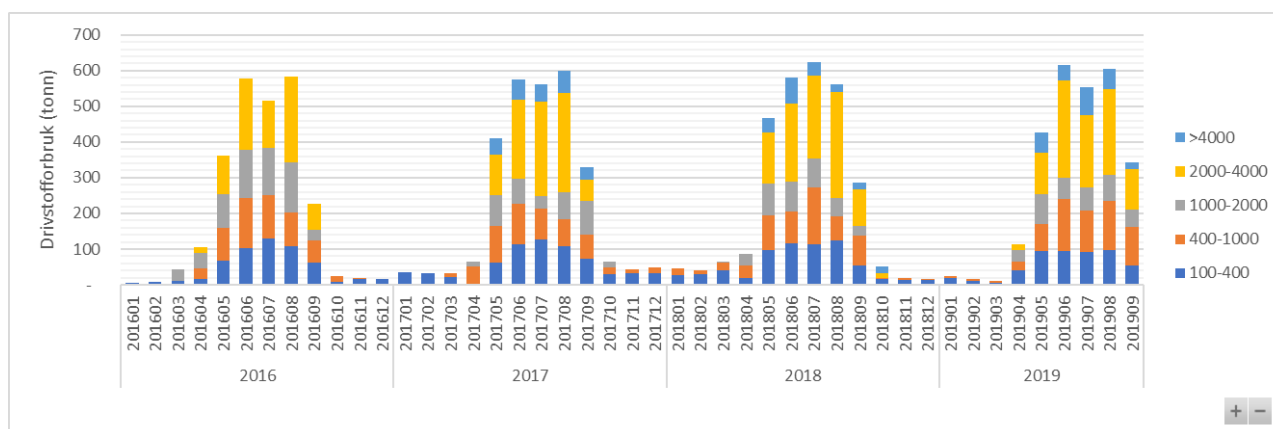
**Tabell 4-5 Trafikkutvikling og drivstofforbruk i Nærøyfjorden**

År	Antall skip	Utseilt distanse (nm)	Driftstimer	Drivstoff- forbruk (tonn)	Passasjer- timer x 1000	Passasjer- distanse x 1000
2016	73	79 700	32 000	2 480	14 500	35 500
2017	70	89 600	36 900	2 790	16 200	39 000
2018	79	99 900	40 700	2 840	18 000	42 700
Sep. 2019	77	80 000	30 700	2 710	15 300	37 300



**Figur 4-1 Utvikling i passasjertimer for skip i ulike passasjersegment i Nærøyfjorden. Merk at for 2019, har vi data frem til og med september 2019.**

Figur 4-2 viser estimert drivstofforbruk gjennom året (og per måned) for ulike passasjersegmenter. Figuren viser at sesongvariasjonen er relativt stabil og at det er store forskjeller og mellom høy og lavsesong. Det er hovedsakelig i sommermånedene mai til september at de store cruise- og passasjerskipene opererer i Nærøyfjorden, med høyest drivstofforbruk og tilhørende utslipp. Figuren viser også at det er mindre turistskip/passasjerskip som også opererer hele året i Nærøyfjorden, men at forbruk (og tilhørende utslipp) er svært små sammenliknet med sommermånedene.



**Figur 4-2 Drivstofforbruk for skip i ulike passasjersegmenter i Nærøyfjorden**

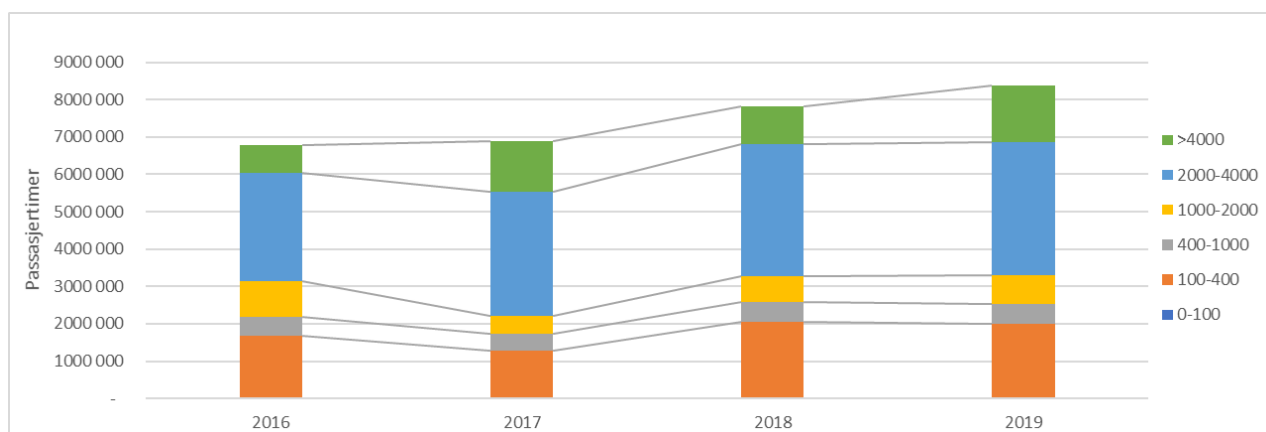
## Geirangerfjorden

Antallet unike skip som opererer i Geirangerfjorden hadde en liten økning frem til 2018 og en noe større økning i 2019. Tilsvarende vises for utseilt distanse, driftstimer og estimert drivstofforbruk.

Figur 4-1 viser utviklingen i passasjertimer fordelt på ulike passasjersegmenter. Figuren viser at antallet passasjertimer har vært noenlunde stabilt for de tre minste passasjersegmentene, bortsett fra i 2017 der det var langt lavere. Størst økning i passasjertimer har de vært i de største passasjersegmentene samt at det er kommet til flere skip i den største kategorien (2017 og 2019).

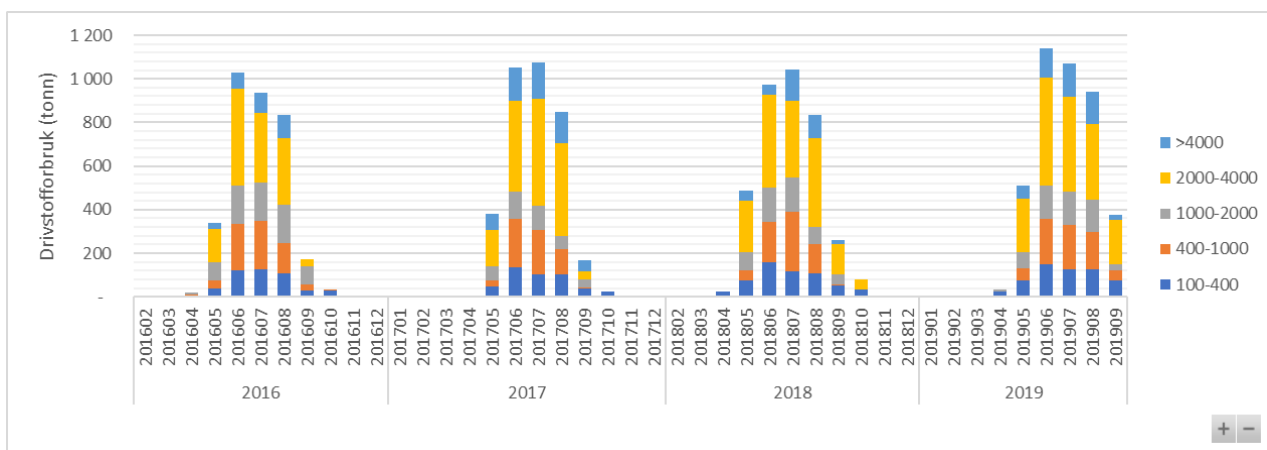
**Tabell 4-6 Trafikkutvikling og drivstofforbruk i Geirangerfjorden**

År	Antall skip	Utseilt distanse (nm)	Driftstimer	Drivstofforbruk (tonn)	Passasjertimer x 1000	Passasjerdistanse x 1000
2016	80	40 900	7 500	3 370	6 800	26 100
2017	83	41 800	6 500	3 560	6 900	27 600
2018	84	50 900	9 000	3 710	7 800	29 200
Sep. 2019	93	53 000	9 100	4 080	8 400	33 400



**Figur 4-3 Utvikling i passasjertimer for skip i ulike passasjersegmenter i Geirangerfjorden**

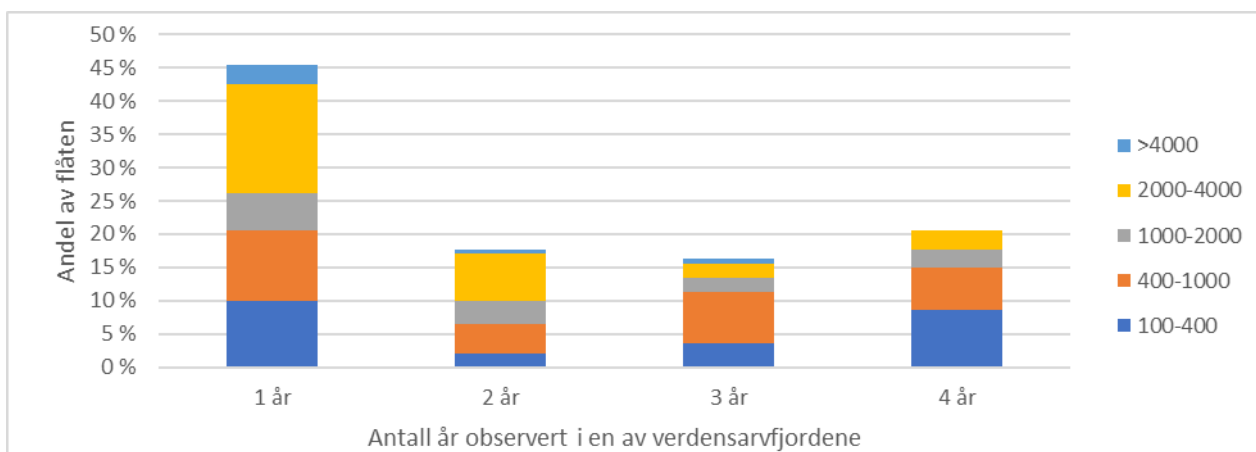
Figur 4-4 viser estimert drivstofforbruk gjennom året (og per måned) for ulike passasjersegmenter. Aktiviteten i Geirangerfjorden starter i april og øker til den er på sitt høyeste i de tre sommermånedene juni, juli og august før den avtar i september og faser ut i oktober. I vintermånedene november til mars er skipsaktiviteten, målt i drivstofforbruk og utslipp, svært lavt i Geirangerfjorden. Figuren viser også at det for Geiranger i hovedsak er de store skipene (>1000 passasjerer) som gir de største bidragene til utslipp til luft.



Figur 4-4 Drivstofforbruk for skip i ulike passasjerkategori i Geirangerfjorden


## 4.5 Videre utviklingstrekk og betydningen av allerede vedtatte NOx-krav i verdensarvfjordene

Det er foretatt en analyse av i hvilken grad det er nye skip som kommer til fra år til år, for de skipene som har vært innom de to verdensarvfjordene i perioden 2016 til september 2019. Det var totalt 141 unike cruise- og passasjerskip som var innom begge verdensarvfjordene, hvor antallet skip fra minste til største passasjerkategori utgjorde henholdsvis 34, 41, 20 og 60 og 6 skip. Det var bare 20% av fartøyene som var i verdensarvfjordene alle årene, og av disse 20% utgjorde de mindre fartøyene (> 1000 passasjerer) hele 75%-poeng. Det er nærliggende å tro at dette er fartøyer som har konsesjon for å operere på gitte ruter i området eller som er mer dedikert til fjordcruise i Norge. Analysen viser også at ca. 45% av flåten kun har vært i området (en av fjordene) i ett av årene og at 25 % av de de største skipene i de tre største passasjersegmentene bare anløp i ett av årene. Samme skip kan imidlertid ha flere anløp samme år.



Figur 4-5 Fordeling av skip med operasjon i verdensarvfjordene ett, to, tre eller alle årene i perioden 2016-2019

Analysen viser at antall skip, drivstofforbruk (utslipp) og passasjertimer stort sett har hatt en økning de siste fire årene. For Nærøyfjorden er det imidlertid se ut som om det for 2019 er en liten nedgang. Norge og norske fjorder er fortsatt svært attraktive som cruise-destinasjoner, slik at det av den grunn er liten grunn til å tro at cruiseaktiviteten fremover skal bli mindre. Det har imidlertid flere steder i verden vært økende søkelys på cruiseaktivitet med tanke på forurensning og destinasjonskapasitet, og mulige



lokale reguleringer. Dette vil potensielt kunne påvirke cruiseaktiviteten fremover, og spesielt i verdensarvfjordene pga. allerede vedtatte og bebudede innskjerpinger i regelverk.

For verdensarvfjordene er det i hovedsak kravene til NOx utslipp som vil være mest utfordrende å møte for dagens flåte. Kravet om NOx Tier I fra 2020 og Tier II i 2022 vil imidlertid en rekke skip kunne møte ved å dokumentere faktisk utslippsnivå (gjennom måling) eller ved å gjennomføre mindre kostbare ombygginger. Imidlertid er det også en rekke eldre skip der investeringer i potensielt mer kostbare ombygginger ikke vil forvares fra et bedrifts økonomisk ståsted, så lenge kun en begrenset andel av aktiviteten er pålagt lokale krav. Det er ikke usannsynlig at det blir noe reduksjon i cruisetrafikken særlig etter 2022, da tier II kravene trer inn uavhengig av skipenes byggeår.

Det er per i dag få skip som kan møte NOx Tier III- kravet. For internasjonale cruiseskip kjølstрукket fra og med 2016, kan man imidlertid i stor grad forvente Tier III-utrustning, som er en forutsetning for operasjon i det svært viktige nordamerikanske cruisemarkedet. Dette betyr at flåten som frem mot 2025 kan møte Tier III-kravene vil være økende, men det er usikkert hvor mange av disse skipene som tilegnes operasjon i Norge (for eksempel som følge av lokale/nasjonale særkrav) når tier III er et krav i USA/Karibien. At hele eller store deler av flåten som per i dag opererer i verdensarvfjordene vil erstattes med skip som tilfredsstiller Tier III krav er dermed etter DNV GLs skjønn utelukket (jf. også eksisterende ordrebok og verftskapasitet), og de allerede innførte kravene om tier III fra 2025 vil nødvendigvis medføre en nedgang i cruisetrafikk i verdensarvfjordene fra dette tidspunktet.

## 5 EFFEKT AV ALLEREDE BESLUTTET INNSKJERPING AV MILJØKRAV I VERDENSARVFJORDENE (FRA 1. MARS 2019)

Det ble 1 mars 2019 innført innskjerpede miljøkrav for skip som skal operere i verdensarvfjordene (Forskrift om endring i forskrift om miljømessig sikkerhet for skip og flyttbare innretninger - FOR-2019-03-01-170). Det er situasjonen med disse kravene som representerer «nullalternativet», dvs. dersom ytterligere innskjerping med nullutslippskrav ikke gjennomføres.

Nedenfor er det diskutert hvilke tilleggsreduksjoner (sammenliknet med dagens vedtatte regelverk) som i prinsippet kan oppnås dersom det fra 2026 kreves nullutslipp i verdensarvfjordene slik definert under i kapittel 3.2.

### 5.1 Utslipp til luft

Allerede vedtatt regelverk vil medføre at det i 2025 blir vesentlige reduksjoner i utslippet av NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> og partikler i verdensarvfjordene, sammenliknet med tilsvarende skipstrafikk som i dag. I tillegg vil det, dog avhengig av hvilke utslippsreducerende teknologier som benyttes, også bli en reduksjon i visuell røyk.

Tabell 5-1 viser estimerte utslipp i 2025 fra skipstrafikk på dagens nivå, gitt allerede vedtatte krav. Tabellen viser at tillatte CO<sub>2</sub>-utslipp ikke er endret, mens tillatte utslipp av NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> og partikler er redusert vesentlig (mrk. både som følge av de særskilte kravene og gjeldende internasjonale krav). Ytterligere reduksjonspotensiale er selvsagt størst for CO<sub>2</sub>, men potensialet (for alle utslippskomponenter) avhenger av om det er alternativ A eller B som legges til grunn som definisjon av nullutslipp.

**Tabell 5-1 Estimerte utslipp til luft i verdensarvfjordene i 2025, uten ytterligere innskjerping med nullutslippskrav**

Område	Drivstoff- forbruk (tonn)	Utslipp (tonn)			
		CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>
Nærøyfjorden	2 840	9 000	26	6	4
Geirangerfjorden	3 710	11 800	38	7	5
<b>Samlet tillatt etter 2025</b>	<b>6 550</b>	<b>20 800</b>	<b>64</b>	<b>13</b>	<b>9</b>
<b>Reduksjon sammenliknet med 2018 nivå</b>	<b>0 %</b>	<b>0 %</b>	<b>80 %</b>	<b>85 %</b>	<b>50-85 %*</b>

\*Jf. usikkerhet knyttet til beregning av partikkelutslipp og effekt av allerede innførte krav

#### Reduksjonspotensiale for CO<sub>2</sub> utslipp

Dagens vedtatte regelverk setter ikke krav til CO<sub>2</sub>-utslipp, og i prinsippet vil dermed foreslåtte nullutslippskrav som omfatter CO<sub>2</sub> innebære opp mot 100% reduksjon av dagens utslipp. Dagens regelverk kan imidlertid indirekte også føre til CO<sub>2</sub>-reduksjoner, uavhengig av foreslåtte nullutslippskrav. I all hovedsak er dette knyttet til Tier III-kravene fra 2025, som kan imøtekommes med LNG-drift som kan gi moderate CO<sub>2</sub>-reduksjoner, avhengig av motorteknologi. Også svovelkravene globalt og i ECA Nordsjøen gir incentiv til LNG-drift. Videre kjenner vi også allerede teknologivalget for enkelte aktører – fortrinnsvis LNG-drift og batterihybridisering på kystruteskipene som følge av avtalen med Staten, der også biogass er annonsert som aktuelt drivstoff. Helt overordnet antar derfor DNV GL at dagens regelverk (før ytterligere nullutslippskrav) i prinsippet vil kunne bidra med noe reduksjon i CO<sub>2</sub> utslipp, uten at vi har grunnlag for å kvantifisere dette nærmere. Utgangspunktet er altså at foreslåtte nullutslippskrav innebærer opp mot 100% reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslipp (opp mot 95% dersom alternativ A velges), sammenliknet med dagens utslipp. Reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslipp som følger av eventuell nedgang i cruisetrafikk pga. allerede vedtatte krav (primært tier III fra 2025) er ikke vurdert nærmere her.



## Reduksjonspotensiale for NOx-utslipp

Nullalternativet (allerede vedtatte krav) vil medføre en betydelig reduksjon i NOx utslippet, og kravene i 2025 innebærer en reduksjon i utslippet på ca. 80% fra dagens utslippsnivå.

Krav om nullutslipp i 2026 vil kunne redusere gjenværende rest (64 tonn) av NOx-utslipp. I prinsippet er det kun alternativ B (nullutslipp av alle utslippskomponenter) som *krever* nullutslipp, men i praksis vil også alternativ A (95% reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslipp) kunne redusere NOx-utslipp betydelig dersom for eksempel biogass på LNG-drevne skip og/eller elektrifisering (fortrinnsvis de mindre skipene) viser seg å bli foretrukne løsninger. Dersom derimot HVO eller biobasert syntetisk diesel blir den dominerende løsningen på kravalternativ A, så vil det ikke bli noen vesentlig endring på NOx-utslippene fra 2026 (som riktignok allerede er lave pga. tier III-krav fra 2025).

## Reduksjonspotensiale for SOx-utslipp

Nullalternativet (allerede vedtatte krav) innebærer uansett lave SOx-utslipp fra 2025. Først og fremst pga. internasjonale svovelkrav (både globalt (0,5% fra 2020) og i ECA Nordsjøen (0,1 % fra 2015)), men også pga. særskilte verdensarvfjordkrav. Sistnevnte har størst betydning i Geiranger, der kravet er 0,1 % i stedet for 0,5% etter internasjonale krav (Geiranger ligger utenfor ECA).

Krav om nullutslipp i 2026 vil kunne redusere gjenværende rest (13 tonn) av SOx-utslipp. I prinsippet er det kun alternativ B (nullutslipp av alle utslippskomponenter) som *krever* nullutslipp, men i praksis vil også alternativ A (95% reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslipp) kunne redusere gjenværende SOx-utslipp dersom for eksempel HVO, biogass på LNG-drevne skip, og/eller elektrifisering (fortrinnsvis de mindre skipene) viser seg å bli foretrukne løsninger.


## Reduksjonspotensiale for utslipp av partikler

Nullalternativet (allerede vedtatte krav) setter ikke direkte krav til partikkelutslipp, men teknologiene for å møte kravene til NOx og SOx innebærer i praksis også reduksjon av partikkelforurensning. Man må derfor forvente reduserte PM-utslipp fra 2025 iht. allerede vedtatte krav, men forutsetningene for DNV GLs beregninger gjør det vanskelig å estimere eksakt hvor mye (antakeligvis ligger reduksjonen et sted mellom 50 og 85%).

Krav om nullutslipp i 2026 vil kunne redusere gjenværende rest (9 tonn) av partikkelforurensning. I prinsippet er det kun alternativ B (nullutslipp av alle utslippskomponenter) som *krever* nullutslipp for alle komponenter, men i praksis vil også alternativ A (95% reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslipp) kunne redusere partikkelutslipp dersom for eksempel biogass på LNG-drevne skip og/eller elektrifisering (fortrinnsvis de mindre skipene) viser seg å bli foretrukne løsninger. Dersom derimot HVO eller biobasert syntetisk diesel blir den dominerende løsningen på kravalternativ A, så vil det ikke nødvendigvis bli noen vesentlig endring på partikkelutslippene fra 2026.

## Visuell røyk

Visuell røyk fra skipstrafikk i verdensarvfjordene er relatert til forbrenning av drivstoff i hoved- og hjelpemotorer (samt incineratorer) og utslipp av vanddamp fra eksosvaskeanlegg. Skip som bruker eksosvaskeanlegg for å nå svovelkravet, skal ha i bruk en innretning for å redusere synlig utslipp til luft slik at dette er håndtert. Synlig røyk er først og fremst knyttet til hvilken type drivstoff som benyttes, samt motorenes alder og beskaffenhet, raske lastvariasjoner, motorlast og eventuell oppstart av kalde motorer. Som eksempel vil også de mest moderne bilmotorer på både ordinær og fornybar diesel kunne produsere



svart eksosrøyk under gitte operasjonsforhold, enda motorene og drivstoffet møter langt strengere miljøkriterier (inkl. på NO<sub>x</sub> og SO<sub>x</sub>) enn de strengeste maritime kravene.

Krav om nullutslipp i 2026 vil kunne redusere visuell luftforurensning. I prinsippet er det kun alternativ B (nullutslipp av alle utslippskomponenter) som *krever* nullutslipp, men i praksis vil også alternativ A (95% reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslipp) kunne redusere gjenværende visuell forurensning, dersom for eksempel biogass på LNG-drevne skip og/eller elektrifisering (fortrinnsvis de mindre skipene) viser seg å bli foretrukne løsninger. Hvorvidt HVO vil gi redusert visuell forurensning har vi ikke grunnlag for å gjøre nærmere antakelser om.

For de nullutslippsalternativene som potensielt kan benyttes i 2026 er det i hovedsak bruk av biodiesel eller elektro- eller biobasert syntetisk diesel som fortsatt vil kunne gi utslipp av synlig røyk, dvs. nullutslipp alternativ A. Type drivstoff som benyttes (HVO, fornybar syntetisk diesel, osv.) vil være den faktoren som påvirker det visuelle inntrykket i størst grad. Det er lite data tilgjengelig på utslipp av visuell røyk fra ulike biobasert dieselkvaliteter slik at reduksjonspotensialet er høyst usikkert.

## 5.2 Utslipp til sjø

Det er fra mars 2019 gitt spesifikke krav for utslipp til sjø for skip som opererer i verdensarvfjordene. Kravene omfatter utslipp av kloakk, gråvann og vann fra skipenes svovelrenseanlegg. Når det gjelder kravene til nullutslipp fra 2026 er det kun alternativ B som også vil regulere utslipp til sjø, siden det kreves nullutslipp for alle komponenter.

### **Reduksjonspotensiale for utslipp av kloakk**

Det er for skip med bruttotonnasje 400 eller mer eller som er sertifisert for mer enn 15 personer, ikke tillatt å slippe ut kloakk i verdensarvfjordene. Dette betyr at alle cruise- eller passasjerskipene i denne analysen vil være omfattet av dagens krav og at det derfor ikke skal være utslipp av kloakk i 2026.

### **Reduksjonspotensiale for utslipp av gråvann**

Utslipp av gråvann er ikke tillatt for skip med bruttotonnasje 2500 eller mer og som er sertifisert for mer enn 100 personer. Det er via AIS-systemet identifisert rundt 30 skip i de to verdensarvområdene som i 2018 faller utenfor kravet til utslipp av gråvann, og som dermed gir et potensial for ytterligere reduksjon ved innføring av enda strengere krav, nullutslipp alternativ (B). De identifiserte skipene er lokale turistskip og hurtigbåter som typisk har svært liten produksjon av gråvann, samt små cruise- og passasjerskip med noe større produksjon siden de har passasjerer som oppholder seg om bord over lengre tid. Det reelle reduksjonspotensialet for gråvann ved ytterligere innskjerping anses imidlertid som svært begrenset.

### **Reduksjonspotensiale for utslipp av vaskevann fra eksosrenseanlegg**

Etter miljøkravene i nullalternativet er det ikke tillatt å slippe ut vaskevann fra eksosrenseanlegg. Det er med andre ord ikke potensiale for ytterligere reduksjoner iht. regelverket.

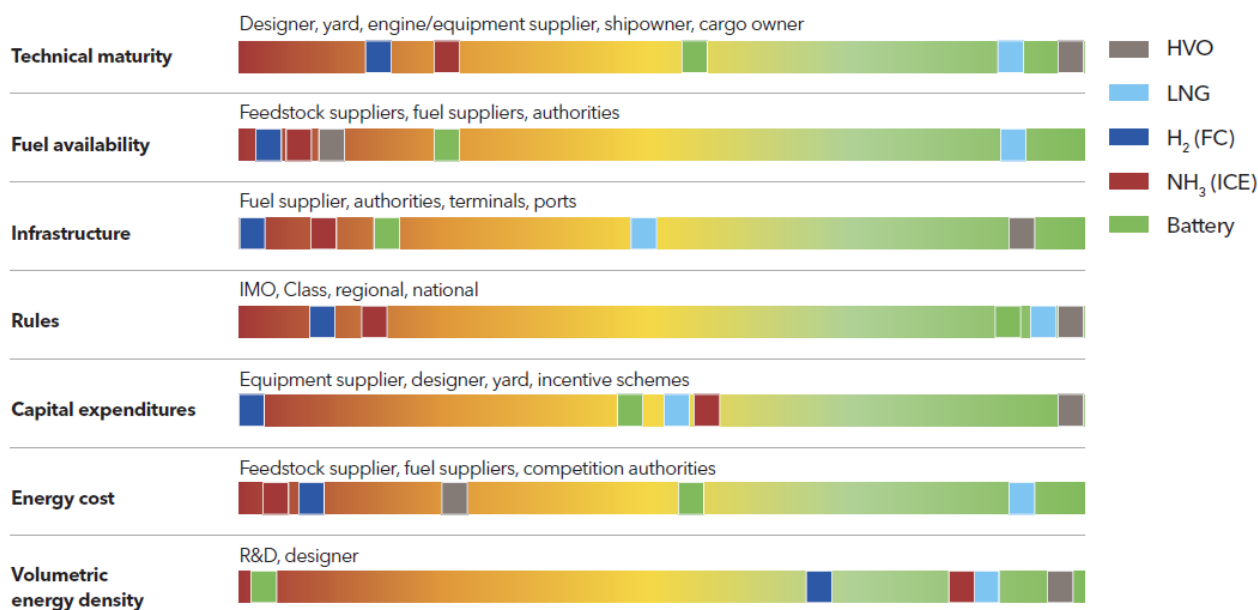
## 6 TEKNOLOGI FOR NULLUTSLIPP FRA SKIP

DNV GL (2019b) beskriver status for barrierer knyttet til et utvalg alternative drivstoff på globalt nivå, hvor sammendrag av resultatet er vist i Figur 6-1. Merk at ikke alle drivstoffene i denne oversikten er nullutslippsløsninger, at LNG kun gir fra moderate til små CO<sub>2</sub>-reduksjoner og at oversikten ikke inkluderer alle drivstoffene diskutert i denne rapporten (for eksempel LBG). Biogass (LBG) vil ha noenlunde tilsvarende barrierer som for LNG, bortsett fra at barrierene knyttet til tilgang og kostnad på drivstoffet vil være betydelig høyere enn for LNG. Den avgjørende barrieren for bruk av batterier er knyttet til energitetthet som begrenser bruksområdet, samt infrastruktur. Hydrogen og ammoniakk har betydelige barrierer knyttet til nær sagt alle faktorer, inkludert teknisk modenhet og regelverk. Det må understrekes at dette er et «barometer» for dagens situasjon, for å illustrere langs hvilke akser det må jobbes målrettet for å redusere barrierer for fremtidig overgang til alternative drivstoff. Disse studiene sier ikke på noe måte at det er umulig å overvinne disse nøkkelbarrierene, men det vil ta tid, være kostbart, og kreve en betydelig innstas av sentrale aktørene i «økosystemet» (også på land).

Disse resultatene er i stor grad representative også for norske forhold – med unntak av «Fuel availability» og «Infrastructure» for strøm til batterier, som er noe bedre utbygd i Norge enn ellers i verden.

En ny studie for Norges Rederiforbundet har pekt på at en akselerert drivstoffomstilling med opptak i ulike hovedsegmenter vil kreve en betydelig nedkorting av tiden det tar i utvikling av b.la. nye motorer/konvertere med tilhørende støtte og lagringssystem, utvikling av regler for sikker og effektiv håndtering og ombordbruk, og utvikling av tilpasset skipsdesign. I parallell vil det være nødvendig å raskt bygge opp både tilgjengelighet og leveransekapasiteter av drivstoff på land. Uavhengig av dette, vil det også måtte skaffes etterspørsel etter alternative drivstoffene, utover det som kan komme på sikt i verdesarvfjorden.

## The Alternative Fuel Barrier Dashboard: Indicative status of key barriers for selected alternative fuels



Technical maturity - refers to technical maturity level for engine technology and systems.

Fuel availability - refers to today's availability of the fuel, future production plans and long-term availability.

Infrastructure - refers to available infrastructure for bunkering.

Rules - refers to rules and guidelines related to the design and safety requirements for the ship and onboard systems.

Capital expenditures (capex) - Cost above baseline (conventional fuel oil system) for LNG and carbon-neutral fuels, i.e. engine and fuel system cost.

Energy cost - reflects fuel competitiveness compared to MGO, taking into account conversion efficiency.

Volumetric energy density - refers to amount of energy stored per volume unit compared to MGO, taking into account the volume of the storage solution.

HVO, hydrotreated vegetable oil; LNG, liquefied natural gas; H<sub>2</sub> (FC), hydrogen in fuel cells; NH<sub>3</sub> (ICE), ammonia burned in internal combustion engines; Battery, full-electric with batteries


©DNV GL 2019

**Figur 6-1 Dagens status på nøkkelbarrierer på globalt nivå som må bygges ned for å øke attraktiviteten til et utvalg alternative drivstoff (DNV GL, 2019b)**

DNV GL har nedenfor gitt en nærmere vurdering av utvalgte drivstoff og teknologier som vi mener det er aktuelt å vurdere i forbindelse med krav om nullutslipp i verdensarvfjordene i 2026 (eller tidligere). Forskning og utvikling av nullutslippsteknologier pågår kontinuerlig, slik at det vil på lengre sikt med all sannsynlighet komme til flere alternative nullutslippsløsninger. For ytterligere informasjon om teknologiene henvises det til (DNV GL, 2019b;f;g). En sentral systemavgrensning i dette studiet er at vi ser forenklet kun på utslipp fra selve skipet. Som følger blir batterielektrisk-, hydrogen-, og ammoniakkdrift på skip antatt karbonnøytralt. Imidlertid har et verdikjedeperspektiv blitt benyttet under diskusjon av ulike nullutslippsløsninger nedenfor.

Foruten alternative drivstoff og teknologier for skipstrafikk etter dagens mønster, er det også overordnet diskutert alternative konsepter for avvikling av turistrifikk i verdensarvfjordene (tiltak ikke rettet direkte mot skipene).

Tidligere analyser viser at det er hensiktsmessig å kombinere overgang til alternativt drivstoff med teknisk-operasjonelle energieffektiviseringstiltak (DNV GL, 2018a). Redusert energiforbruk er sentralt i



overgangen til alternativt drivstoff, fordi disse løsningene stort sett (i alle fall i en tidlig fase) representerer høyere kostnader og krever mer lagringsplass om bord.

### **Støtteordninger**

NOx-fondet under nåværende avtale med staten utløper i 2025 og vurderes ikke å være noen vesentlig kilde til støtte i forbindelse med nullutslippskrav i verdensarvfjordene fra 2026. Det er mange årsaker til dette, men viktigst er allerede innskjerpede krav til tier III både i verdensarvfjordene og gjennom ordinært internasjonalt regelverk. Ombyggingsprosjekter (og nybygg med kjøstrekning før 2021) som gir vesentlige NOx-reduksjoner (utover lovpålagte grenser) med gjennomføring før 2024, kan i prinsippet oppnå støtte, men vesentlig støtte fordrer vesentlig omfang av NOx-avgiftspliktig drift i Norge. Enova har støtteprogrammer for aktuelle teknologier (fortrinnsvis batterier), og vil også kunne utvikle nye og målrettede støtteprogrammer dersom dette vurderes hensiktsmessig. Det er imidlertid et krav at Enova-støtten skal være utløsende for tiltaket, og det faktum at det foreligger myndighetspålagt overgang til nullutslipp kan gjøre det problematisk å få utløst støtte hos Enova ut ifra tiltakseffekt i verdensarvfjordene.

## 6.1 Elektrisk drift av skip

### 6.1.1 Teknologi

Batteriteknologi kan benyttes for lagring av energi om bord i skip og sørge for at dette kan driftes utelukkende elektrisk (både fremdrift og hjelpesystemer) uten utslipp til hverken luft eller sjø, i hele eller deler av operasjonen. Ved kailigge kan fartøyets energibehov dekkes av strøm fra egne batteripakker eller med strøm levert fra land, samtidig som batteriene må lades for å kunne fortsette videre elektrisk drift. Systemavgrensning for nullutslipp (skipsutslipp kontra verdikjede med fremstilling av energibærer) er et sentralt spørsmål for elektrifisering som for andre nullutslippsalternativer. For elektrifisering er det imidlertid viktig å være klar over at batteriene i prinsippet vil kunne lades opp med skipets egne dieselgeneratorer utenfor verdensarvområdet.

De skip som i dag bygges med batteriteknologi (også med tanke på helelektrifisering) er med få unntak utrustet som hybridelektriske skip som kan driftes både med konvensjonelt forbrenningsmaskineri og elektrisitet fra batterier. Andel av skipets operasjoner som kan utføres fullelektrisk avhenger av skipets energibehov, operasjonsprofil, regularitet i lademulighet og kapasitet til batterier om bord. De foreslåtte kravene vil kreve 100% (alternativ B) eller minimum 95% (alternativ A).

For mindre kraftkrevende skip som opererer lokalt i verdensarvfjordene vil denne teknologien kunne utnyttes fullt ut, hvor skipene driftes fullelektrisk med strøm levert fra land. Dette er allerede demonstrert gjennom utvikling og driften av fjordcruise fartøyene «Vision of the Fjords»<sup>5</sup> og «Future of the Fjords»<sup>6</sup>. For «Future of the Fjords» jobbes det også med utvikling av en innovativ infrastruktur i Nærøyfjorden, hvor en flytekai inngår med planlagt innebygd batteribank for lading av fartøy, og mulighet for mottak av kloakk og avløpsvann fra fartøyet.<sup>7</sup> Det er foreslått en flytende cruisekai med landstrøm i Valldal, hvor det også legges opp til lading av el-busser, ferger, mindre fartøy og biler.<sup>8</sup> I regi av HHH (Hellesylt Hydrogen Hub) prosjektet er mulighetene for landstrøm fra flytende kraftverk på Hellesylt/i Geiranger basert på hydrogen utredet som del av prosjektet.<sup>9</sup>

Bilferjer i Norge er relativt små og har som regel en operasjonsprofil som gir gode forutsetninger for fullelektrisk drift (hyppig lademulighet), samt at de går i lange kontrakter og i faste ruter. For cruise- og passasjerskip vil det være langt mer utfordrende å få til fullelektrisk drift fordi skipene er vesentlig mer energikrevende og har et operasjonsmønster som utfordrer teknologien med hensyn på lagringskapasitet for energi og tilgang til strøm fra land. Denne type skip vil typisk anløpe mange forskjellige havner både innenfor og utenfor Norge og på steder der det ikke nødvendigvis er tilgjengelig infrastruktur for lading av batteriene med strøm fra land eller at strømmen kommer fra nullutslippskilde.

I Norge investeres det i landstrømsløsninger for skip, og det er flere havner som kan levere strøm til skip mens det ligger til kai (landstrøm). Imidlertid gir ikke dette nødvendigvis tilstrekkelig kapasitet til å samtidig lade batteribankene om bord slik at skipet har nok elektrisk energi til også å seile utslippsfritt. Det forventes imidlertid at nettkapasitet i norske havner bygges ut, blant annet fordi det er store passasjerskip (som Kysttruten Bergen-Kirkenes, Color Hybrid, etc.) som vil seile delvis på batterier ladet med strøm fra land. Klima- og miljødepartementet (2019) rapporterer at Enova siden 2015 har innvilget rundt en halv milliard kroner i støtte til om lag 80 landstrømprosjekter.

Bruk av elektrisitet som eneste energibærer for et skip krever robuste batteriløsninger og utbygging av infrastruktur på land som er tilpasset de aktuelle energibehovene. Kapasiteten på dagens batterisystemer


<sup>5</sup> <https://www.tu.no/artikler/ingen-har-noensinne-bygget-et-slikt-skip/358454>

<sup>6</sup> <https://www.skipsrevyen.no/helelektriske-future-of-the-fjords-klar-i-april-2018/>

<sup>7</sup> <https://maritimt.com/nb/maritimt-magasin/future-fjords-er-ship-year>

<sup>8</sup> <https://www.tu.no/artikler/vil-bygge-flytende-cruisekai-med-landstrom-pa-sunnmore/347333>

<sup>9</sup> <https://www.stranda.kommune.no/nyheiter-pa-framsida-aktuelt/pressemelding-hellesylt-hydrogen-hub.10140.aspx>



og løsninger for overføring av elektrisk energi til skip er forholdsvis god, og det forventes ytterligere forbedringer i årene som kommer. Lading av batteribanker i skip er effektkrevende og det lavspente forsyningsnett som vanligvis finnes på norske kaier må vanligvis bygges ut for å levere tilstrekkelig effekt for lading av skip (DNV GL, 2014). Det er også mulig med stasjonære landbaserte batteripakker som benyttes som buffer for lading av batteriene, og som kan reduserer behovet for oppgradering av strømmettet.

EMSA har nylig gjennomgått batteriteknologier for den maritime industrien (DNV GL, 2019d). Den mest brukte batteritypen er litium-ion. Litium-ion-batterier har den høyeste spesifikke energien og den høyeste energitettheten til kommersielt tilgjengelige batterier. Et økende antall skip har tatt i bruk batterier de senere årene, og over 379 skip med batterier er i operasjon eller i ordre på verdensbasis.<sup>10</sup> Av disse er over halvparten ikke-ladbare hybrider, fulgt av ladbare (plug-in) hybrider/fullelektriske fartøyer. Ferger og offshore-fartøyer dominerer i dette bildet.

### **Vurdering av teknologimodenhet (TRL)**

Batteriteknologien er å regne som et modent tiltak og som scorer opp mot TRL8 på «Technology readiness levels (TRL) skala (skala fra 1-9). Nivået er definert som reelt komplett systemløsning ferdigstilt og kvalifisert gjennom test og demonstrasjon. Vurderingen omfatter selve batteripakkene som skal om bord i skipet, elektronikk for styring av teknologien, integrering med kraftsystemene om bord og for ladesystemer som skal overføre strøm til skipet. Det er snakk om kommersielt tilgjengelige systemer som er satt i drift i ferjesektoren, på et fåtall passasjerskip, i små turistskip og som hybridelektrisk systemer i andre fartøyssegmenter. Når det gjelder drift av mer kraftkrevende skip, som fullelektrisk drift av cruise- og passasjerskip, vil det imidlertid være flere utfordringer knyttet til teknologien. Utfordringene er hovedsakelig knyttet til effektene som kreves for overføring av strøm fra land til skip og tilgjengelighet av strøm fra land til drift mens skipet ligger til kai. I tillegg kan skip ligge til anker et stykke fra land der det ikke er tilgjengelig havnekapasitet. For de største cruiseskipene kan strømbehovet i havn være opp mot 12-16MW, og dette er en effekt som kreves i 8-10 timer (typisk liggetid for et cruiseskip). I tillegg kommer energibehov til inn og utseiling, hvor batteriet skal dekke både hoteldriften og fremdriften av skipet. Er det flere fullelektriske skip samtidig i samme område vil dette øke kravet til effekt som må være tilgjengelig fra strømmettet på land.

### **Potensial retrofit og nybygg**

Installasjon av batteriteknologi kan gjennomføres på eksisterende skip som retrofit, men størst potensiale for god utnyttelse av teknologien er det på nybygg – jf. at skip som skal driftes fullelektrisk må ha et effektivt og tilpasset design med svært energioptimale løsninger om bord for å maksimere rekkevidde og minimere investeringskostnader i batterisystemkostnader. Eldre skip som er bygget med dieselmekanisk fremdriftssystem (i motsetning til dieselektrisk) og som må foreta større og relativt kostbare ombygginger vil møte store utfordringer skal batteriteknologien utnyttes. Dette gjør at ombygging av eldre skip til fullelektrisk drift sannsynligvis ikke er økonomisk forsvarlig.

De senere årene har det vært en økende interesse, utvikling og opptak<sup>11</sup> av fullelektriske og hybridelektriske skip. Verdens første store batteriferge Ampère<sup>12</sup> har operert på ferjestrekninga Lavik-Oppedal på Vestlandet i over to år. Det neste helelektriske skipet<sup>13</sup> var den finske fergen som i 2017 ble satt i trafikk mellom Pargas og Nagu. Ferjestrekningen Anda – Lote hadde fra 2019 to ferjer i drift, som skal kunne levere all ruteproduksjon med minimum 90% av energien levert fra strømmettet. Det er i


---

<sup>10</sup> DNV GL Alternativ Fuel Insight (AFI) Portal, <https://www.dnvgl.com/services/alternative-fuels-insight-128171>

<sup>11</sup> Se for eksempel oversikten til Corvus: [http://corvusenergy.com/merchant\\_marine/](http://corvusenergy.com/merchant_marine/)

<sup>12</sup> Teknisk ukeblad: <http://www.tu.no/artikler/denne-fergen-er-revolusjonerende-men-passasjerene-merker-det-knapt/222522>

<sup>13</sup> Teknisk ukeblad <http://www.tu.no/artikler/eksporterer-batteriteknologi-til-finland/278058>



Hordaland fylkeskommune kontraktsfestet elektrisk ferjedrift på 17 samband hvor hoveddelen settes i drift i 2020, men enkelte allerede i 2018 og 2019. Det samme gjelder for flere samband i Møre og Romsdal og Sør-Trøndelag. De aller fleste kraftkrevende og fullelektriske ferjene er nybygg.

I april 2018 ble den fullelektriske passasjerkatamaranen «Future of the Fjords» levert for operasjon i Nærøyfjorden. Katamaranen er 42 meter langt, bygges i karbonfiber og med kapasitet til 400 passasjerer. Den kan operere med en fart på 16 knop i 30 nautiske mil før båten må lades på nytt.

### **Sikkerhet og kompleksitet**

Batteriteknologi med styringssystemer og ladesystemer har i seg selv ikke større kompleksitet enn tradisjonell motorteknologi som benyttes i skip. Slik sett vil ikke bruk av batteriteknologi øke kompleksiteten om bord for et skip som kun er bygget for fullelektrisk drift. Imidlertid blir de aller fleste skip med denne teknologien bygget som batterihybridskip, hvor det er installert både tradisjonelle motorer og batteriteknologi med styringssystemer og tilhørende ladeløsning. Batterihybridskip vil derfor være mer komplekse siden de får flere systemer om bord. I tillegg vil det kreve ny kunnskap for drift og vedlikehold av batterisystemene, og dermed personell med andre/flere kvalifikasjoner.

### **Fordeler og ulemper samt behov for innsatsfaktorer mot 2026**

Batteridrift av skip har flere positive elementer. Det viktigste er at fullelektrisk drift er å anse som en reell nullutslippsløsning for alle utslippskomponentene, som samtidig reduseres/eliminerer motorstøy (antas av vesentlig betydning i områder slik som verdensarvfjordene). Batteriløsninger er allerede tatt i bruk i maritim næring i Norge, og det foregår en utvikling og eksport av løsninger som utnytter batteriteknologien i maritim næring til resten av verden.

Batteriteknologi har imidlertid begrenset lagringskapasitet for energi, og det kreves relativt kostbare investeringer i lokal infrastruktur skal teknologien utnyttes til fulle som en nullutslippsløsning. Det vil også være behov for å bytte ut batterier etter om lag 8-10 år, noe som også påvirker lønnsomheten.

Teknologien i seg selv er ansett som moden for anvendelse på skip, men krever videreutvikling for å kunne utnyttes som nullutslippsløsning for store energikrevende cruiseskip over distanser og tidsrom slik det er snakk om i verdensarvfjordene. Per i dag er det ikke mulig å få fullelektrisk drift av store cruise- og passasjerskip der alt energibehov dekkes fra batteripakker om bord, annet enn for kortere perioder og distanser. For mindre fartøy vet vi allerede fra eksisterende og planlagte prosjekter at fullelektrifisering med batterier er mulig over distanser og tidsrom av relevans for operasjon i verdensarvfjordene.

## **6.1.2 Infrastruktur**

Skal de store cruiseskipene som opererer i verdensarvfjorden på sikt driftes fullelektrisk med batteriteknologi vil det være behov for utbygging av strømmettet og ladeløsninger både i Geiranger og Flåm. Skal kun ett slikt stort cruise fartøy benytte strøm fra land til all drift i verdensarvfjorden, vil dette utløse kostnadskrevende utbygging av strømmettet og store investeringer i ladeinfrastruktur. Det er lite sannsynlig at det lokale strømmettet bygges ut med slik kapasitet at det kan levere nok strøm til å dekke de samtidige energibehovene slik trafikk mønsteret er i dag.

Det finnes per i dag ikke mobile løsninger eller overgangsordninger som har kapasitet til å levere strøm i de mengder som kreves til fullelektrisk drift av ett eller flere store cruise- og passasjerskip i verdensarvfjordene. DNV GL er ikke kjent med informasjon som tilsier at noe slikt kan gjøres tilgjengelig innen 2026.



### 6.1.3 Økonomi

En rekke fergestrekninger i Norge blir nå elektrifisert, og i anbudsprosessen for utlysning av ferjekontrakter ble det estimert merkostnader for fullelektrisk drift av en rekke ferjesamband. Med merkostnad menes økte investeringskostnader (CAPEX) og driftskostnader (OPEX) som følge av elektrisk drift av ferjene. I disse vurderingene ble merkostnader for installasjon av batteripakker med styringssystemer om bord, ladeløsning og kostnader knyttet til utbygging av det lokale strømnettet hensyntatt. For eksempel er typiske merkostnader for en batteriferje i dag 10-30 millioner kroner (ny ferje), med ytterligere behov for investeringer på 20-40 millioner kroner på land i ladeinfrastruktur og nettoppgraderinger.

Anslag for merinvesteringer om bord på fartøy for batterielektrifisering er gitt i kapittel 7. Det er stor usikkerhet knyttet til anleggsbidrag ved utbygging av strømnettet på land, hvilket avhenger av eksisterende restkapasitet i nettet og hvor langt tilbake i lokalt eller regionalt strømnnett som må oppgraderes for at tilstrekkelig kapasitet skal kunne leveres. Det er ikke foretatt nærmere analyse av kostnadene for utbygging av strømnettet. For det første er det usannsynlig at store cruiseskip kan driftes fullelektrisk i verdensarvfjordene, og dernest er energibehovet så stort at prosjektet ikke er realistisk fordi effekten som kreves levert fra strømnettet på land vil være 10-12 MW, før man tar hensyn til samtidig effektbehov. Dette vil ikke være tilgjengelig noen av stedene uten store og kostnadskrevede oppgraderinger i strømnettet.

Mengde innkjøpt energi vil være lavere ved elektrisk drift sammenliknet med diesel pga. vesentlig høyere virkningsgrad, samt høyere energieffektivitet ved at en unngår suboptimal kjøring av dieselmotorer. Sammen med gunstige elektrisitetspriser, mulig redusert vedlikeholdsbehov og reduserte batterikostnader, forventes merinvesteringene i elektriske skip derfor å kunne bli lønnsomme over tid der forholdene teknisk og operasjonelt ligger til rette for batterielektrifisering (jf. mindre fartøy med hyppige lademuligheter).

## 6.2 Hydrogen

### 6.2.1 Teknologi

Hydrogen ( $H_2$ ) kan spille en viktig rolle i omleggingen av energiforbruket i skip til nye lav- og nullutslippsløsninger. For at hydrogen skal være en tilnærmet utslippsfri energikilde forutsettes det at enten fornybar energi eller naturgass med CCS er benyttet i produksjonen. Selv om utslippene samlet sett kan være tilnærmet utslippsfri, er det viktig å merke seg at det å produsere hydrogen for bruk som drivstoff er energikrevende, med et ikke ubetydelig energitap i prosessen.

Det volumetriske energiinnhold til hydrogen er relativt lavt sammenlignet med andre alternative drivstofftyper, og for å få tilstrekkelig mengde energi til drift av et skip kan hydrogenet lagres om bord på flere måter. Det vanligste er å oppbevare hydrogen som gass under trykk (opp til 700 bar) eller nedkjølt som flytende drivstoff i tanker.

Det finnes også initiativ som vurderer lagring av hydrogen om bord i skip gjennom ulike hydrogenbærere slik som ammoniakk (se kapittel 6.3), flytende organiske hydrogenbærere (LOHC), og metallhydrider. En av de viktigste grunnene for å vurdere slike alternativer er en høyere volumetrisk energitetthet enn hydrogen lagret komprimert eller flytende.

Hydrogen kan benyttes i brenselceller for generering av elektrisk energi, men det jobbes også med utvikling av forbrenningsmotorer som kan forbrenne hydrogen. Nedenfor er de to alternativene overordnet beskrevet:

- **Hydrogen i forbrenningsmotorer:** Det pågår flere initiativ for å utvikle løsninger for å benytte hydrogen i forbrenningsmotorer på skip. Imidlertid er virkningsgraden lavere enn hva som er mulig å oppnå ved bruk av brenselceller, og forbrenningen genererer  $NO_x$ . Wärtsilä har gjennomført testing av innblanding av hydrogen i naturgass for noen av sine motorer (Wärtsilä, 2016). Testene viste at en innblanding av opptil 28% hydrogen på volumbasis er akseptabelt for disse motorene. Det pågår også utvikling av mindre medium speed marine hydrogenmotorer (mono-fuel hydrogen og dual-fuel hydrogen-diesel).<sup>14</sup> Hydrogen og naturgass har ulike egenskaper, for eksempel brenner hydrogengass raskere enn metan. Forskjellene må hensyntas for å få et sikkert system og for å unngå økte utslipp av  $NO_x$  (DNVGL, 2019d). Hydrogen i forbrenningsmotorer vil derfor bare kunne tilfredsstille et nullutslippskrav som beskrevet under alternativ A, der det er krav om minimum 95% reduksjon i  $CO_2$  utslippet.
- **Hydrogen i brenselceller:** En brenselcelle konverterer kjemisk energi til elektrisk energi i en kjemisk prosess uten forbrenning. Det finnes mange alternative brenselcelleteknologier, hver med sine spesifikke styrker og svakheter, navnet er typisk knyttet til materialvalget benyttet i cellenes membraner. Tilgjengelige brenselcelleteknologier har en elektrisk virkningsgrad på mellom 40 og 60 % (DNV GL, 2017c), avhengig av type teknologi. De kan også utnytte varmen, og det er dermed gode muligheter for å oppnå en betydelige høyere virkningsgrad enn hva som er mulig på forbrenningsmotorer. Fordelene med brenselcelleteknologien er også at den tar bort støy og vibrasjoner. På oppdrag for EMSA har DNVGL gjennomført en teknisk studie der man kartla bruken av brenselceller på skip (DNV GL, 2017c). Totalt 23 demonstrasjonsprosjekter med brenselcelle i maritime sektor ble studert. Disse inkluderer vurderinger av potensiell brenselcellebruk, regelutvikling, mulighetsstudier, konseptdesign og testing av brenselceller i fartøyer. Av syv vurderte brenselcelleteknologier ble det konkludert med at Solid oxide brenselcellen, og PEM (Proton Exchange Membrane) brenselcellen og høy-temperatur PEM brenselcellen var de meste

<sup>14</sup> <https://www.h2-view.com/story/behydro-to-launch-hydrogen-medium-speed-engine/>  
<https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/tug-project-leads-the-way-for-hydrogen-burning-mw-engines-56680>

lovene kandidatene for skip. EMSA studiet ga også en beskrivelse av dagens gjeldende standarder og regelverksutvikling, samt identifiserte mangler i forhold til sikker og effektiv bruk av brenselceller i maritime applikasjoner. Hydrogen i brenselceller vil tilfredsstillende et nullutslippskrav som beskrevet under alternativ B.

Innen transportsektoren er det forventninger om økt bruk av hydrogen (IEA, 2015). For hydrogendrift på skip er det fortsatt brenselcelleteknologien som vies størst oppmerksomhet. Det er også økende interesse for forbrenningsmotorer på hydrogen, med pågående tidlige piloter,<sup>15</sup> hvor også mindre marine hydrogenmotorer rapporteres å bli klar for marked om kort tiden.<sup>16</sup>

Et skip som kan driftes med brenselcelle og som benytter hydrogen som drivstoff vil være en reell nullutslippsløsning der alle utslipp til luft er eliminert. Bruk av brenselcelle eliminerer også støy og vibrasjoner som er typisk roterende maskineri. Brenselcelleteknologien har gode muligheter for å oppnå høyere virkningsgrad enn for marine dieselgeneratorer.

De største ulempene med brenselcelleteknologien på hydrogen er knyttet til kostnader for installasjon av teknologien, kostnader ved utskifting av brenselceller og plassbehov om bord til hydrogenlagring. I tillegg har noen av brenselcelleteknologiene utfordringer knyttet til lastvariasjoner (med høy drifts temperatur) der brenselcellene ikke kan ta store og hyppige lastvariasjoner.

### **Vurdering av teknologimodenhet (TRL)**

Teknologien er ansett som å være umoden for bruk i shipping og det vil være nødvendig med betydelig videreutvikling og virkemiddelbruk skal hydrogen tas i bruk om bord i skip. Det er behov for arbeid knyttet til regelverksutvikling, utvikling av gode distribusjonsløsninger/etablering av lokal produksjon av hydrogen, samt at brenselcelleteknologien har utfordringer som må løses skal teknologien utnyttes som en nullutslippsløsning der også store energikrevende skip skal benytte hydrogen. Brenselcelleteknologi som benytter hydrogen som energikilde vurderes derfor til TRL6. Nivået er definert som en pilotskala systemløsning validert under relevante driftsbetingelser. TRL nivå 6 tilsier at en systemløsning på pilotskala er validert (oppfyller alle funksjonskrav) under relevante driftsbetingelser, normalt med sluttbrukerinvolvering<sup>17</sup>. Shell (2017) antyder eksempelvis at skipsfarten som helhet ligger mellom TRL 5 og 6. Siden skipsfarten er en sammensatt bransje, forventes sprik i TRL mellom ulike anvendelser, også fremover.

Det er satt i gang en rekke utviklingsprosjekter for hydrogendrevne ferger og hurtigbåter både i inn- og utland. Som en del av denne prosessen forventes det at vesentlige brikker faller på plass med hensyn på sikkerhet og utvikling av regelverk. Norges første hydrogenferje skal settes i drift i 2021, og dette representerer at TRL nivå 7 oppnås for denne skips kategorien. Det er også andre initiativer i Norge som jobber med å utvikle hydrogenprosjekter for maritim. Eksempler på dette er Fiskerstrand HYBRIDskip<sup>18</sup> prosjekt, hydrogenpiloten GKP7H2 i Grønt Kystfartsprogram (hydrogen hurtigbåt Florø-Måløy). Andre land som USA og Scotland har også utvikling, som også vil bidra til modning av teknologien.


Utvikling fra TRL 7 til TRL 9 gjenspeiler i stor grad hvilken utbredelse en teknologi har i markedet, fra uttesting av prototype i markedsrelevant skala, til drift over tid under kommersielle rammer og forskjellige driftssituasjoner. Det bemerkes at TRL 8 og 9 også krever at en fullskala systemløsning er etablert. For hydrogen betyr det at det kreves etablering av tilstrekkelig bunkringsinfrastruktur.

<sup>15</sup> <https://www.h2-view.com/story/behydro-to-launch-hydrogen-medium-speed-engine/>

<sup>16</sup> <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/tug-project-leads-the-way-for-hydrogen-burning-mw-engines-56680>

<sup>17</sup> <https://www.enova.no/bedrift/industri-og-anlegg/tema/technology-readiness-levels-trl/>

<sup>18</sup> <http://www.hydrogen.no/hva-skjer/akuteltarkiv/2016,-juli-desember/pilot-e-midler-til-fiskerstrand-verft-til-demonstrasjon-av-verdens-forste-hydrogenferge/>



Frem mot 2030 antas det at hydrogendrift i skipsfart med kommersielle rammer etableres for noen skipstyper (som da vil representere TRL 8-9), men at andre store havgående skip fremdeles vil drive uttesting (hjelpemotorsystemer). For hydrogendrift av store cruise- og passasjerskip, vil det imidlertid være mange utfordringer knyttet til teknologien. Utfordringene er hovedsakelig knyttet til tilgang på nødvending brenselcell størrelser og plassbehov om bord, samt tilgjengelig infrastruktur for hydrogen bunkring. Det rapporteres om påbegynt utvikling av større brenselcellepakker opp til 32 MW for olje og gassindustrien.<sup>19</sup> Disse løsningene vil trenge tid til utvikling, modning og testing, før de kan overføres og anvendes innen skipsfart. Brenselcelleløsninger på 2 MW for supplyskip er også nylig rapportert, hvor leveranse er planlagt i 2022.<sup>20</sup> Her inngår planer på sikt, for kontainerløsninger for lagring av hydrogen.

Det rapporteres også om bruk av hydrogen som drivstoff til forbedringsmotorer, som diskutert ovenfor. Denne løsningen vurderes til å være mere umoden enn brenselcelleteknologien, dvs. TRL5 eller lavere. Dette skyldes at løsningen fortsatt er under utvikling og testing. Fordelen er imidlertid at selve forbrenningsmotoren er velkjent og moden teknologi, og samtidig forventes å kunne benyttes på større skip. Det forventes derfor at modningen av hydrogen-forbedringsmotorer vil kunne gå raskere, sammenlignet med brenselcelleteknologien.

### **Potensial retrofit og nybygg**

Hydrogendrift av skip vil absolutt være enklest og billigst å få til på nybygg fordi systemintegrasjon kan tilpasse skipets design helt fra planleggingsfasen. Det er imidlertid mulig å benytte teknologien på eksisterende skip, for eksempel ved å installere kontainerløsninger med brenselceller (og tilhørende systemer) eller å foreta en total ombygging av skipets systemer for lagring, produksjon og distribusjon av energi. På eksisterende skip vil utfordringene i hovedsak være knyttet til kostnader for ombygging, energibehovet (hvor store systemer må installeres om bord for å dekke energibehovet nødvendig for en nullutslippsløsning), plassbehov til både hydrogentanker og brenselceller og til sist integrasjon med skipets eksisterende systemer.

### **Sikkerhet og kompleksitet**

Norskflaggede skip som skal benytte hydrogen som drivstoff må godkjennes av Sjøfartsdirektoratet før de settes i drift. Det er i dag ikke på plass et egnet regelverk som dekker lagring av hydrogen om bord på skip, og dette er en stor utfordring. DNV GL og andre klasseselskap har utarbeidet egne klasseregelverk som muliggjør godkjenning av selve brenselcellesystemene. Skip som skal bruke hydrogen som drivstoff må tilfredsstillende IMO's krav for drivstoff med flammepunkt under 60 grader celsius, som er gitt i del A av IGF-koden. Her stilles det en rekke funksjonskrav samt krav om gjennomføring av omfattende risikoanalyser, noe som innebærer at en svært arbeidskrevende prosess må gjennomføres for godkjenning. Hovedmålet med prosessen er å demonstrere at sikkerhetsnivået med hydrogen er like godt som for konvensjonelle skip. Frem til et hydrogenregelverk blir utviklet vil alle skip som skal benytte hydrogen som drivstoff måtte gjennomføre denne godkjenningsprosessen. Det er per i dag ikke etablert noen mekanisme for erfaringsoverføring- og utveksling mellom ulike maritime hydrogenprosjekter.

Siden det er lite erfaring med bruk av hydrogen som drivstoff i skip, er det usikkert om de sikkerhetsmessige og regulatoriske utfordringene vil bli størst ved valg av flytende eller komprimert hydrogen. Utfordringene forventes også å avhenge av skipstype(r), samt spesifikke design- og konseptløsninger. For å redusere utfordringene og sikre enklest mulig godkjenning av hydrogenlagring, har en rekke av utviklingskonseptene basert seg på lagring av hydrogen over dekknivå. Sikkerhetsmessig er dette betydelig mindre utfordrende enn lagring av hydrogen under dekk. For mange skipstyper og

<sup>19</sup> <https://www.tu.no/artikler/norskutviklet-losning-erstattet-gassturbiner-offshore-med-hydrogen/378713>  
[http://konkraft.no/wp-content/uploads/2016/08/Konkraftrapport\\_komprimert\\_web.pdf](http://konkraft.no/wp-content/uploads/2016/08/Konkraftrapport_komprimert_web.pdf)

<sup>20</sup> <http://portnews.ru/news/287043/>

størrelser, anses det som mest hensiktsmessig å kunne lagre drivstoffet under dekk. Det vil derfor være nødvendig å opparbeide kunnskap om relaterte sikkerhetsmessige forhold for aktuelle maritime løsninger. Dette vil kreve gjennomføring av IMOs alternativ design prosess, med omfattende sikkerhetsstudier, samt uttesting, og sertifisering av aktuelle komponenter og systemer.

## 6.2.2 Infrastruktur

Produksjon av hydrogen globalt er i dag rapportert til å være i overkant av 50 millioner tonn per år (Maritime Knowledge Centre, TNO & TU delft, 2017). Omtrent 90% av den hydrogen som produseres brukes som en kjemisk innsatsfaktor under produksjon av ammoniakk, metanol og i oljeraffinerier (Shell, 2017). I Norge blir størstedelen av hydrogen produsert som råstoff til ammoniakkproduksjon, metanolproduksjon og oljeraffinering (DNV GL, 2019d).

*Bruk av hydrogen som drivstoff ombord i skip som operer i verdensarvfjordene vil ikke være avhengig av lokal infrastruktur for bunkring, da hydrogen kan være bunkret andre steder og lagret ombord i skipene.* Imidlertid kan lokal produksjon av hydrogen være en supplerende kilde som vil kunne konkurrerer med andre regionale og globale bunkersprodusenter. Ettersom hydrogen kan produseres fra en rekke forskjellige energikilder, inkludert strøm, er den egnet både for distribuert småskala og sentralisert storstilt produksjon. Det er imidlertid idag ikke bruk av hydrogen i maritime transport, men pilotprosjekt innen fergesektoren de neste årene vil gi et begynnende maritimt forbruk på lokal skala.

Lokalt i forbindelse med *Hellesylt Hydrogen Hub*, er det planer for fergedrift på hydrogen (Stranda kommune, 2017). Elektrolyseanlegg kan ha stor fleksibilitet i produksjonen, og kan få redusert nettleie ved mulighet for å bli koblet ut i anstrengte nettsituasjoner. Det er mulig å koble et elektrolyseanlegg direkte til et kraftproduksjonsanlegg. På denne måte reduseres nettilknytningskostnaden (investeringskostnad) og nettleien (driftskostnad). Nedsiden ved et slikt valg er at noe av produksjonsfleksibiliteten forsvinner. Dette kan medføre behov for å investere i større hydrogenlagringskapasitet for å dekke etterspørsel på dager med lav produksjon.

Er det begrenset nettkapasitet i området der det ønskes å koble til et elektrolyseanlegg kan det tilkomme en betydelig merkostnad. En viktig dimensjon ved lokalisering av hydrogenverdikjede er derfor å kartlegge nettilknytningskostanden ved etablering. I enkelte tilfeller kan det være rimeligere å plassere et elektrolyseanlegg på et mer gunstig sted i nettet, og transportere hydrogen via rørledning til forbruket. For verdensarvfjordene kunne man aktivt søke å utrede mulige lokasjoner med tilgang på hydrogen produsert for eksempel fra overskuddskraft fra småkraftverk. Anvendelse i passasjerfartøyer som støtte til et batteri- eller gassbasert system vil også kunne være svært interessant.

Vindkraftproduksjonen aktualiserer også mulighet for å etablere elektrolyseanlegg som er koblet direkte til vindparker. Konkurransen til slik produksjon avhenger av kostnadene til hele verdikjeden frem til hydrogen er levert til sluttbruker. Det er gjennomført en mulighetsstudie for etablering av en hydrogenverdikjede i de tre vestlandsfylkene<sup>21</sup>. Sentrale tema var evaluering av mulig etterspørsel, hvordan og hvor hydrogenproduksjon kan bli etablert og regionens relative fordeler med tanke på hele verdikjeden.

Det er også gjennomført mulighetsstudier for Mobile «Power barge»-løsninger.<sup>22</sup> Et lektermontert brenselcelle-system har potensial til å tilføre fartøyer lokalt med elektrisk energi. Slike potensielle energi-hubber vil ha behov for tilførsel av hydrogen, enten lokalt eller via nullutslipps bunkersfartøy.

<sup>21</sup> <https://www.dnvgl.no/energy/publications/download/hydrogen-vestlandet-mulighetsstudie-2016.html>

<sup>22</sup> [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f12/sand2013-0501\\_barge\\_mounted\\_pemfc.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f12/sand2013-0501_barge_mounted_pemfc.pdf)

### 6.2.3 Økonomi

Brenselceller er for tiden et kostbart alternativ sammenlignet med tradisjonelle energiomformere (DNV GL 2018a; DNV GL 2019a). Anslag for merinvesteringer om bord på fartøy for hydrogendrift er gitt i kapittel 7.

Sandia (2016) har gitt merkostnader forbundet med installasjon og drift av marine brenselceller på ferger. For eksempel rapporteres det at kapitalkostnaden ved bygging av ferge i dag vil være 1,5 til 3,5 ganger høyere enn en sammenlignbar dieselferge (Sandia, 2016). Drifts- og vedlikeholdskostnader ble estimert til å være to til åtte ganger høyere, på grunn av de høye nåværende kostnadene for utskifting av brenselcellestabler. Disse kostandene forventes å falle med økt etterspørsel. For eksempel har opptaket av brenselcelleteknologi levert per år til transportanvendelser på land økt fra 37 MW i 2014 til 456 MW i 2017 (E4Tech, 2017). Dette er over en tidobling av årlig levert effekt. Sandia (2016) estimerte også at dagens drivstoffkostnad (sammenliknet med MGO-drift) vil være tre til fem ganger høyere for ikke-fornybar LH2, og fem til 16 ganger høyere for en 100% fornybar LH2-sak.

For fremtidige forbrenningsmotorer på hydrogen (dual fuel) vil installasjonskostnadene være betydelige lavere, da man i hovedsak benytter eksisterende motorteknologi. Det vil også være lavere drifts- og vedlikeholdskostnader, da man ikke vil trenge å bytte ut brenselcellestabler. Drivstoffkostnadene vil kunne være noe høyere sammenlignet med en brenselcelle (pga. lavere virkningsgrad).

Kostnaden for hydrogen til bunkring på skip er sterkt avhengig av kraftprisen (hydrogen produsert ved elektrolyse) eller gassprisen (hydrogen produsert fra naturgass). I tillegg til kraftpris vil salgspris for hydrogen påvirkes av lokale markedsforhold, produksjonsanleggets størrelse og lagring og transport. Produksjonskostnader har nylig blitt kartlagt gjennom et internt DNV GL litteraturstudie der kostnadstall har blitt hentet fra b.la. IEA (2019), DNV GL (2019d), og Rug (2019). Undersøkelsen viser at produksjonskostnaden til blå (gassbasert) og grønn (elektrolyse av fornybar kraft) hydrogen blir rapportert med et spenn på henholdsvis 10-30 NOK/kg H<sub>2</sub> og 20-60 NOK/kg H<sub>2</sub>, avhengig av hvilke forutsetninger som ligger til grunn. Estimaten inkluderer kun produksjon, i tillegg kommer kompresjon/flytendegjøring, lagring og transport. I fremtiden rapporteres det imidlertid at produksjonskostnaden, spesielt for grønn hydrogen, kommer til å synke vesentlig.

For å oppnå nullutslipp ved bruk av hydrogen til bruk på skip i Norge, er det i dag og de kommende årene gjerne mest aktuelt med elektrolyse. Hvis hydrogenet produseres lokalt (jfr. Hellesylt Hydrogen Hub), der man benytter kraftressurser med lav nettleie eller utenfor kraftnettet, vil prisen kunne ligge på 30-35 NOK/kg i 2020 eller enda lavere. Det vil være aktuelt å vurdere disse alternativene opp mot en eventuell mulighet for tilgang til hydrogen fra eksisterende industriproduksjon, for eksempel ved Tjeldbergodden eller Mongstad.

## 6.3 Ammoniakk

### 6.3.1 Teknologi

Blant annet på grunn av høye investeringskostnader for hydrogenteknologi og utfordringer knyttet til energitetthet og lagring av drivstoffet om bord, er ammoniakk (NH<sub>3</sub>) løftet fram som en alternativ hydrogenbærer for marint bruk (Maritime Knowledge Center, TNO & TU delft, 2017; OECD, 2018; DNV GL, 2019b). For at Ammoniakk skal være en tilnærmet utslippsfri energikilde, forutsetter dette imidlertid at ammoniakk blir produsert med lavt eller ingen utslipp av drivhusgasser. Dette kan skje via elektrolyse av vann fra fornybar kraft eller reformering av naturgass med CCS. I begge tilfeller følger ammoniakksyntese der hydrogen blir kombinert med nitrogen, som regel gjennom Haber-Bosch prosessen. Det volumetriske energiinnholdet til ammoniakk er lavere enn konvensjonelle drivstoff slik som marin gassolje, men vesentlig høyere enn alternative lav- og nullutslippsdrivstoff slik som flytende hydrogen. Avhengig av skala, er det aktuelt å oppbevare ammoniakk i flytende form; enten som nedkjølt, under trykk, eller delvis nedkjølt og under trykk.

Ammoniakk kan bli benyttet i forbrenningsmotorer eller brenselceller for å dekke energibehovet til fremdrift og sekundærformål ombord i skip. Disse to energikonverteringsmulighetene blir beskrevet under.

- **Ammoniakk i forbrenningsmotorer:** Utfordringer er knyttet til stoffets høye selvantennings-temperatur, lave flammehastighet, smale brennbarhetsområde, og høye utslipp av NO<sub>x</sub> (Brohi, 2014; Reiter & Kong, 2011; Gross & Kong, 2013). Imidlertid er utviklingen i gang, blant annet av motorprodusenten MAN, som melder at teknologien i stor grad nå kommer på plass for marine «dual fuel» ammoniakk totaktsmotorer<sup>23</sup>. Ved forbrenning av ammoniakk i «dual fuel» totaktsmotorer får man tilnærmet nullutslipp av utslippskomponenter CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, og svevestøv (MAN ES, 2019). Det vil imidlertid være små utslipp av disse komponentene siden «dual» fuel motorer benytter seg av fossilt drivstoff for antenning («pilot fuel ignition»). Et alternativ er en forbrenningsmotor der ammoniakk blir forbrent med hydrogen i forbrenningskammeret, og hydrogen blir produsert via konvertering av ammoniakk (Pochet, 2017). Ammoniakk i forbrenningsmotorer vil derfor bare kunne tilfredsstille et nullutslippskrav som beskrevet under alternativ A, der det er krav om minimum 95% reduksjon i CO<sub>2</sub> utslippet.
- **Ammoniakk i brenselceller:** I solid oxide brenselceller eller andre brenselceller som opererer på høy temperatur kan ammoniakk anvendes direkte som drivstoff. Grunnen til dette er at ammoniakk blir spontant konvertert til hydrogen og nitrogen på anoden (Giddey, 2017). For brenselceller som opererer på lav temperatur, slik som PEM brenselceller, må imidlertid ammoniakk konverteres til hydrogen før inngang til brenselcellen. I tillegg, må alle rester av ammoniakk fjernes, da dette kan i verste fall ha en destruktiv effekt på brenselcellen. Dette gjør at ammoniakk er et mindre attraktivt drivstoff for brenselceller som operer på lave temperaturer. Alkaline brenselceller er også en mulighet, der ammoniakk må bli konvertert til hydrogen før bruk, men trenger ikke å bli renset for ammoniakkrester. Ved anvendelse av ammoniakk som drivstoff i brenselceller oppnår man nullutslipp av CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, og svevestøv. Ammoniakk i brenselceller gir vil tilfredsstille et nullutslippskrav som beskrevet under alternativ B.

<sup>23</sup> [https://marine.man-es.com/docs/librariesprovider6/test/engineering-the-future-two-stroke-green-ammonia-engine.pdf?sfvrsn=7f4dca2\\_4](https://marine.man-es.com/docs/librariesprovider6/test/engineering-the-future-two-stroke-green-ammonia-engine.pdf?sfvrsn=7f4dca2_4)

Et stegvis opptak av ammoniakk innenfor skipsnæringen kan være som følger (de Vries, 2019):

1. Bruk av «dual fuel» motorer med fossil «pilot fuel» antenning.
2. Bruk av forbrenningsmotorer som går på en blanding av ammoniakk og hydrogen.
3. Bruk av ammoniakk i solid oxide brenselceller.

Man har så langt ikke testet ut ammoniakk som drivstoff ombord i skip. Det er imidlertid flere analyser som peker på ammoniakk som et lovende fremtidig drivstoff for skipsfarten, og noen aktører jobber aktivt med forskning rettet mot dette<sup>24</sup>.

Skip som driftes på ammoniakk har potensiale til å oppnå nullutslipp, avhengig av system definisjon og valg av energikonverteringsmetode. Det er også store synergier i bruk av LPG og ammoniakk som drivstoff, noe som kan øke opptaket av ammoniakk på sikt, da spesielt for LPG tankere (DNV GL, 2019b). Ammoniakk brenselceller har mulighet til å oppnå høyere virkningsgrader enn konvensjonelle forbrenningsmotorer, spesielt ved bruk av solid oxide brenselceller. En ulempe med brenselceller er at de er vesentlig dyrere enn forbrenningsmotorer i dag. Dermed blir det mest aktuelt dersom man får en sterk reduksjon i pris i fremtiden. Lagring av ammoniakk i tanker er en moden teknologi som er relativt ukomplisert sammenlignet med f.eks. lagring av flytende hydrogen. Kapitalkostnadene knyttet til lagring av ammoniakk er vesentlig lavere enn både lagring av hydrogen og elektrisk energi i batterier.

Ammoniakkdrift på skip er fremdeles en umoden teknologi og omfattende videreutvikling og virkemiddelbruk til for å ta det i bruk i større skala i løpet av neste tiåret. Brenselceller eller forbrenningsmotorer som går på ammoniakk må utvikles videre og kommersialiseres. I tillegg må et effektivt regelverk for bruk av ammoniakk som drivstoff ombord skip etableres.

### **Vurdering av teknologimodenhet (TRL)**

Brenselcelleteknologi som går på ammoniakk er enda mer umodent enn brenselceller på hydrogen. Når det gjelder skipsanvendelse, vil ammoniakk brenselceller ligge på mellom 4 og 5 på TRL skalaen. Disse TRL nivåene tilsier at ammoniakk brenselceller har blitt validert i laboratorietester (TRL 4) eller validert under relevante driftsbetingelser (TRL 5). Modenheten avhenger av hvilken type brenselcellesystem man benytter, da f.eks. solid oxide brenselceller kun har blitt benyttet i laboratorietester så langt. Alkaline og PEM brenselceller som går på ammoniakk er imidlertid testet i piloteringsprosjekter på land (de Vries, 2019).

Bruk av ammoniakk i marine forbrenningsmotorer ligger trolig på et høyere TRL nivå enn for brenselceller (TRL 6). Utviklingen har her kommet lengst på totaktsmotorer. Det må nevnes at de fleste cruiseskip anvender firetakts forbrenningsmotorer, og man kan legge til grunn at utvikling i bruk av ammoniakk for denne type motorer har kommet kortere.

### **Potensial retrofit og nybygg**

Skip med ammoniakkdrift vil være mest aktuelt for nybygg. Det vil imidlertid være teknisk lettere å integrere ammoniakkdrift på eksisterende skip (retrofit) enn for f.eks. batteridrift eller hydrogendrift. Dette skyldes at lagring av ammoniakk har en vesentlig høyere volumetrisk energitetthet enn både batterier og hydrogen. Dessuten er det å forvente at ombygging av eksisterende motorer for å kunne anvende ammoniakk vil være mulig. Plassbehov i tilfelle brenselcelleteknologi vil imidlertid være en utfordring ved retrofit, som for hydrogen. Et tilleggsmoment er at integrasjon med skipets eksisterende systemer må

<sup>24</sup> C-Job: <https://c-job.com/project/rd-project-nh3-powered-ferry-cruise-vessels/>



hensynta ammoniakks giftige egenskaper. Dette gjør implementering av ammoniakk på eksisterende skip ytterligere komplisert.

### **Sikkerhet og kompleksitet**

Hovedsikkerhetsutfordringen med ammoniakk er knyttet til giftighet (de Vries, 2019). Grunnet ammoniakks viktige rolle som råstoff i industrien, foreligger det imidlertid omfattende erfaringer fra maritim transport av ammoniakk. Frakt og lagring av ammoniakk til sjøs er dekket av IGC koden, som krever at ammoniakkfrakteskip er utstyrt med bl.a. mulighet for å detektere giftig gass i lasteområdet. For bruk av ammoniakk som drivstoff på skip finnes det derimot ikke et regelverk som eksplisitt dekker ammoniakkdirift. IGF-koden dekker bruk av drivstoff med lavt flammepunkt, men er foreløpig kun direkte anvendbart for LNG. Det gjenstår et vesentlig behov for regelverksutvikling før ammoniakk kan bli benyttet som drivstoff ombord i skip.

### **6.3.2 Infrastruktur**

På verdensbasis ble ca. 176,5 millioner tonn med ammoniakk produsert i 2018<sup>25</sup>. Ammoniakk i Norge blir produsert på Yaras anlegg på Herøya, med en kapasitet på 500 000 tonn ammoniakk (DNV GL, 2019d). Mesteparten av dagens ammoniakkproduksjon blir brukt i produksjon av kunstgjødsel.

Bruk av ammoniakk som drivstoff ombord i skip som operer i verdensarvfjordene vil ikke være avhengig av lokal infrastruktur for bunkring, da ammoniakk kan være lagret ombord i skipene. Siden enhetskostnaden av ammoniakk er svært avhengig av at store volumer blir produsert, er det trolig lite hensiktsmessig å produsere ammoniakk lokalt til bruk i skip. Dersom effektive småskala ammoniakkproduksjonsanlegg blir utviklet, kan dette imidlertid forandre seg.


### **6.3.3 Økonomi**

Avhengig av valg av energiomformer (brenselcelle eller forbrenningsmotor), så vil investeringskostnadene knyttet til ammoniakkdirift på skip trolig være høyere enn drift på fossilt brensel (med et mulig unntak av LNG). For øyeblikket er kostnaden av brenselceller dyrere enn forbrenningsmotorer (DNV GL, 2018a; 2019a). Dersom f.eks. en PEM brenselcelle skal gå på ammoniakk, må man også regne med kostnaden av en ammoniakkomformer og rensesystem. Investeringskostnad knyttet til lagring av flytende ammoniakk (under trykk) om bord på skip er vesentlig billigere enn f.eks. lagring av komprimert hydrogen, da ammoniakktanken ikke trenger å være like kraftig (pga. lavere trykk). Anslag for merinvesteringer om bord på fartøy med Ammoniakkdirift er gitt i kapittel 7.

Produksjonskostnader har nylig blitt kartlagt gjennom et internt DNV GL litteraturstudie der kostnadstall har blitt hentet fra bl.a. IEA (2019), DNV GL (2019d), og Rug (2019). Undersøkelsen viser at produksjonskostnaden til ammoniakk produsert via naturgassreformering (inkl. CCS) og elektrolyse blir rapportert med et spenn på henholdsvis 280-420 NOK/tonn NH<sub>3</sub> og 600-800 NOK/kg NH<sub>3</sub>, avhengig av hvilket forutsetninger som ligger til grunn. Spesielt er kostnaden av ammoniakk produsert via naturgassreformering og CCS svært avhengig av naturgassprisen. Estimaten inkluderer kun produksjon, i tillegg kommer kostnader knyttet til distribusjon. I fremtiden rapporteres det at produksjonskostnaden, spesielt for ammoniakk produsert via elektrolyse, kommer til å synke vesentlig.

Det er store økonomiske insentiver for å produsere ammoniakk i storskala anlegg. Derfor er små ammoniakkproduserende anlegg mindre utbredt, og lokalproduksjon av små mengder ammoniakk er

<sup>25</sup>FAO: <http://www.fao.org/3/a-i4324e.pdf>



derfor lite aktuelt. Produksjonskostnad av ammoniakk som er produsert miljøvennlig er foreløpig dyrt i forhold til konvensjonelle drivstoff (DNV GL, 2019c). Fornybar ammoniakk ble tidligere produsert i stor skala i et anlegg på Glomfjord, Rukan. På 1970-tallet ble imidlertid fornybar ammoniakk (produsert via elektrolyse av vann) utkonkurrert av fossil ammoniakk produsert via naturgassreformering (DNV GL, 2019d).

## 6.4 Biodrivstoff

### 6.4.1 Teknologi

Biodrivstoff er en fornybar energibærer som utvinnes fra biogent materiale og fremstilles av et vidt spekter av organiske materialer, slik som spiselig avlinger (f.eks. raps og mais), ikke-spiselig avlinger (marginale avlinger som ikke konkurrerer med matproduksjon), slam, trevirke og kompost, matavfall/fett, og alger (eksperimentell produksjon). Ofte omtales biodrivstoff som første-, andre- og tredjegerasjons biodrivstoff med bakgrunn i råstoffet som benyttes. Her finnes også andre kategoriseringer, som for eksempel konvensjonelt og avansert biodrivstoff<sup>26</sup>. Produksjon av fornybare biodrivstoffer krever ofte betydelig høyere energimengder ved produksjon og transformasjon, sammenlignet med produksjon av fossil diesel (TØI, 2016).

Bruken av biodrivstoff kan foregå som "drop-in fuels"; dvs. som erstatning for marine drivstoff, hvor man er kompatible med eksisterende infrastruktur og motorsystemer, eller ved at man modifiserer infrastrukturen og motorsystemer (IEA, 2014).

Det er i hovedsak to former for biodrivstoff som foreløpig vurderes som aktuelle for skip i verdensarvfjordene, siden de er i kommersiell bruk og er tilgjengelige i Norge: Biogass<sup>27</sup>, og HVO (hydrotreated vegetable oil) er beskrevet under. FAME inngår også i dette bildet, men på grunn av flere forhold som angitt nedenfor er FAME ikke inkludert som en reell nullutslippsløsning i 2026, dvs. ikke nullutslipp alternativ A eller B.

- **Biogass** blir vanligvis produsert gjennom anaerob nedbryting av organisk materiale, en prosess som foregår naturlig i f.eks. deponier eller gjødselhauger. Resultatet er en blandinggass som består av metan og CO<sub>2</sub>, samt andre urenheter som må renses før det blir benyttet som et drivstoff. Biogassen kan nedkjøles og kondenseres til flytende form på samme måte som naturgass, og anvendes i skip ved de samme tekniske løsningene som er tilgjengelige for LNG-drift (DNV GL, 2018b). Global produksjon av biogass som drivstoff for transport i 2018 er estimert til 0.64 Mtoe (REN21, 2019), som er vesentlig mindre enn produksjon av HVO.
- **HVO** syntetisk biodiesel har i stor grad de samme egenskapene som fossil diesel. HVO kan i likhet med FAME være basert på forskjellige typer vegetabiliske- eller animalske oljer og fettsyrer, fremstilt av biomasse eller avfallsolje fra matindustrien. HVO blir imidlertid produsert ved hydrogenering, der sluttproduktet består hovedsakelig av hydrokarboner. Hydrokarbonene går deretter gjennom kraking (en prosess som er vanlig i konvensjonelle oljeraffinerier), der tyngre hydrokarboner blir brutt ned til relativt lette produkter slik som diesel. Derfor har HVO helt andre egenskaper enn FAME, og er karakterisert som «drop-in» for konvensjonell fossile oljeprodukter. Alle motorfabrikantene er ennå ikke ferdig med uttesting av de nyere produktene, men for produkter under CEN TS 15940-spesifikasjonen vil antakelig drivstoffet kunne benyttes på mange marine dieselmotorer med små eller ingen tekniske tilpasninger av maskineri og drivstoffsystem. Imidlertid vil godkjenning for bruk på maritime motorer med all sannsynlighet måtte godkjennes av bla av motorleverandør. Bruk av HVO innebærer ingen investeringskostnader, men prisen på drivstoffet er vesentlig høyere enn for marin gassolje. I 2018 ble 5.7 Mtoe HVO produsert globalt, hvorav 2.9 Mtoe ble produsert i EU (REN21, 2019).
- **FAME** biodiesel finnes i ulike former basert på biomasse. Den vanligste formen er FAME ref. EU standard EN 12214, som gjerne kjennetegnes som førstegerasjon biodiesel. Produksjon av FAME kan i prinsippet foregå fra alle typer vegetabiliske- eller animalske oljer og fettsyrer framstilt av biomasse, eller avfallsoljer fra matvareproduksjon, som råvare (TØI, 2016). FAME-diesel kan også

<sup>26</sup> [http://www.etipbioenergy.eu/?option=com\\_content&view=article&id=255](http://www.etipbioenergy.eu/?option=com_content&view=article&id=255)

<sup>27</sup> Biogass er per definisjon en blandinggass som består av CO<sub>2</sub> og metan. I denne teksten brukes det imidlertid om ren metan produsert fra biomasse.

gis navn avhengig av råstoffet som blir brukt. Primært brukt i Norge er RME (raps-metyl-ester), altså basert på raps. Rapsoljen oppgis å ha gode kuldeegenskaper, og er derfor mye brukt i Norge. Produksjon av FAME skjer ved transesterifisering av triglyserider (fra biomasse) i nærvær av alkohol (metanol eller etanol). FAME brukes som erstatning for diesel, men har en helt annen kjemisk struktur.<sup>28</sup> Dette gjør at FAME har andre egenskaper enn MGO/MDO, og spesielle forholdsregler må bli tatt dersom man blander det inn med fossil diesel (DNV GL, 2018b). Blandingsforhold med høyere innblanding enn 7% FAME i fossil diesel er ikke tillatt i henhold til den europeiske standarden for fossil diesel EN590, som blir fulgt i Norge.<sup>29</sup> Dersom det skal blandes FAME i MGO/MDO, må dette gjøres i MGO/MDO etter DF standard til ISO 8217:2017. Ifølge ISO 8217:2017 kan ikke FAME blandes inn med mer enn 7%, og det vil da være opp til motorleverandørene å godta dette til bruk i sine motorer. Ulike utføringer med FAME er beskrevet i *Kunnskapsgrunnlag for omsetningskrav i skipsfart ugitt av* (Miljødirektoratet og Sjøfartsdirektoratet, 2018) og i DNV GL (2018b). I 2018 ble 26 Mtoe av FAME produsert globalt (REN21, 2019), fra ulike biomassekilder.

Biodrivstoff tilskrives et langt lavere klimagassutslipp enn fossile drivstoff siden CO<sub>2</sub> fra forbrenning av biologisk materiale i utgangspunktet ikke medfører en økning av CO<sub>2</sub>-mengden i atmosfæren på samme måte som CO<sub>2</sub> fra fossile energikilder; det regnes som del av det CO<sub>2</sub> som ellers ville vært i kretsløp. I et livssyklusperspektiv vil imidlertid produksjon og transport av biodrivstoff kunne medføre utslipp av fossilt CO<sub>2</sub>. EU har et gjeldende bærekraftskriterium<sup>30</sup> for biodrivstoff, som stiller krav til blant annet CO<sub>2</sub> utslipp for biodrivstoff for hele verdikjeden. Disse kriteriene gjelder også i Norge.<sup>31</sup>

Det rapporteres om CO<sub>2</sub> reduksjoner opp til 80-90% for vise typer biodrivstoff, basert på livssyklus-analyser (IEA, 2011; Bengtsson et al. 2012; Chryssakis et al 2014). Ifølge CircleKs produktblad vil bruk av 100% HVO (HVO100) redusere CO<sub>2</sub>-utslippet med 65-90 %, avhengig av råvare.<sup>32</sup>

Alle former for biodrivstoff fører til at utslipp av SO<sub>x</sub> blir tilnærmet eliminert. Ved bruk av HVO har en tradisjonelt regnet med NO<sub>x</sub>-utslipp tilsvarende fossilt drivstoff. Imidlertid rapporteres det at NO<sub>x</sub>-utslipp fra HVO er 10% lavere enn for MGO, mens PM reduseres med opp mot 30% (Neste, 2016). Med tier III krav fra 2025, må derfor skip som skal benytte HVO implementere tiltak for å redusere NO<sub>x</sub> utslippet. Ved innblanding i fossilt drivstoff antas utslippsreduksjonen proporsjonal med innblandingsprosenten. Biodrivstoff har også vært testet på skip, og er i dag tilgjengelig blant annet i Rotterdam og i Amsterdam<sup>33</sup>. I dag opererer to ferger i Sognefjorden og to ferger i Nordland med HVO. For flere nye ferjekontrakter er det krav om bruk av biobasert syntetisk diesel i de periodene hvor strøm til ferjedriften ikke er tilgjengelig. Den norske biogassprodusenten Biokraft signerte nylig en avtale med Hurtigruten for å tilby karbonnøytral flytende biogass (LBG) produsert med avfall fra oppdrettsnæringen og andre organiske avfallskilder til sine skip.<sup>34</sup> En oversikt over andre demonstrasjonsprosjekter finnes bl.a. i IEA (2014) og på nettstedet *European Technology and Innovation Platform Bioenergy*<sup>35</sup>.

<sup>28</sup> <http://tema.miljodirektoratet.no/no/Tema/Energi/Biodrivstoff/Fakta-om-biodrivstoff/>

<sup>29</sup> <https://www.naf.no/tips-og-rad/bilhold/teknisk-om-bilen/alt-du-ma-vite-om-drivstoff/#FAME>

<sup>30</sup> <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/biofuels/sustainability-criteria>

<sup>31</sup> <http://tema.miljodirektoratet.no/no/Tema/Energi/Biodrivstoff/Fakta-om-biodrivstoff/>

<sup>32</sup> [https://m.circlek.no/no\\_NO/pg1334073736240/business/milesDrivstoffbedrift/Produktdatablader.html](https://m.circlek.no/no_NO/pg1334073736240/business/milesDrivstoffbedrift/Produktdatablader.html)

<sup>33</sup> Biofuels are already available in Amsterdam and Rotterdam:

<http://www.seatrade-maritime.com/news/americas/will-biofuels-become-significant-alternative-fuel-for-shipping.html>

<sup>34</sup> <https://www.biokraft.no/press-release-hurtigruten-partners-with-biokraft-in-record-breaking-biogas-deal/>

<sup>35</sup> [http://www.etipbioenergy.eu/?option=com\\_content&view=article&id=294](http://www.etipbioenergy.eu/?option=com_content&view=article&id=294)

### Vurdering av teknologimodenhet (TRL)

Biogass og HVO er vurdert som «drop-in» drivstoff i eksisterende forbrenningsmotorer og energilagringssystemer om bord i skip. Flytende biogass (LBG) kan erstatte LNG i både gassmotorer og tanker helt uten tekniske tilpasninger. HVO kan også erstatte fossil diesel i dieselmotorer og dieseltanker uten vesentlige behov for tilpasninger (DNV GL, 2018b).

Siden allerede eksisterende kommersiell teknologi kan bli benyttet for drift på biodrivstoff ombord i skip, vil TRL trolig ligge på mellom 7 til 9, avhengig av hvilket biodrivstoff det er snakk om.

### Potensial retrofit og nybygg

Som nevnt kan biodrivstoff i stor grad bli benyttet av eksisterende framdriftsmaskineri om bord i skip. Dermed er retrofit-potensialet stort sammenlignet med både hydrogen-, batteri, og ammoniakdrift. Drift på biodrivstoff kan også relativt enkelt tilpasses for nybygg, der det også er lettere å integrere en evt. ekstra drivstofftank for bruk i verdensarvfjordene.

## 6.4.2 Infrastruktur

I Norge er det mulig å fylle HVO under merkenavnet 2G marin<sup>36</sup> fra Eco-1 i noen marinaer (eks. Tofte). Tre av Fjord1s<sup>37</sup> ferger benytter allerede 2G marin i trafikk på Hella-Dragsvik-Vangnes, og biodrivstoff kreves benyttet i mange nye fergekontrakter som alternativ til diesel. Ifølge Ruters hjemmesider<sup>38</sup> benytter fartøyene som trafikkerer øyene i indre Oslofjord HVO.

Ytterligere skalering av kommersiell biodrivstoffproduksjonsteknologi er ønskelig på landsiden, for å øke tilgjengeligheten av biodrivstoff i Norge.

## 6.4.3 Økonomi

Biodrivstoff er i de fleste tilfeller dyrere enn konvensjonelle drivstoff (Ecofys, 2012). Dette støttes av historiske tidsserier med prisutviklingen på FAME biodrivstoff<sup>39</sup>. Prisen på HVO varierer geografisk, men indikativ pris i Norge er at det er ca. 100% dyrere enn marin gassolje. For forskjellige typer biodrivstoff forventes det at produksjonskostnader reduseres over tid som følge av kontinuerlig prosessforbedring, teknologisk utvikling og økende produksjon (van Eijk et al, 2014; Festel et al, 2014).

<sup>36</sup> 2G marin: <http://eco-1.no/2g-marine-fornybar-diesel-til-fritidsbater/>

<sup>37</sup> TU: <http://www.tu.no/artikler/de-bli-verdens-tre-forste-ferger-pa-kun-biodrivstoff/275609>

<sup>38</sup> Ruter: <https://ruter.no/om-ruter/miljo/gassdrevne-passasjerferger/>

<sup>39</sup> Neste, <https://www.neste.com/en/corporate-info/investors/market-data/biodiesel-prices-sme-fame>

## 6.5 Karbonbasert elektrodrivstoff

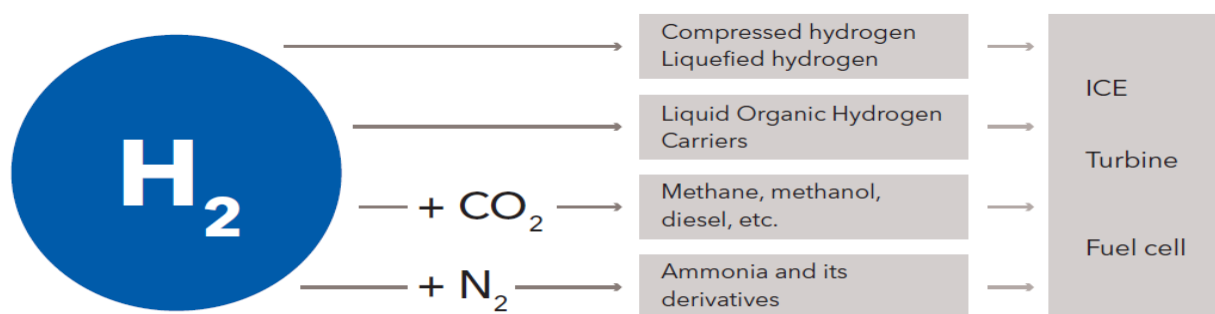
### 6.5.1 Teknologi

Hydrogen kan enten brukes direkte som energibærer eller kjemisk bearbeides sammen med karbon for å produsere syntetiske drivstoff i gass- og flytende form. Karbonbaserte syntetiske elektrodrivstoff har lignende egenskaper som fossile drivstoff som brukes i dag. Bukes nitrogen i stedet for karbon resulterer det i ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ), som vist i figuren under. Karbonbasert elektrodrivstoff er et paraplybegrep for syntetiske drivstoff som diesel, metan, etanol og metanol, som produseres fra vann og  $\text{CO}_2$  ved bruk av fornybar strøm som energikilde. For at karbonbasert elektrodrivstoff skal kunne regnes som karbonnøytral, må  $\text{CO}_2$  som benyttes i produksjonsprosessen være en del av det naturlige  $\text{CO}_2$  kretsløpet, f.eks. fanget fra atmosfæren.<sup>40</sup> Slike drivstoff blir referert til som «drop-in» drivstoff, da de ofte bare krever begrenset modifisering av motor- og drivstoffsystemer for å erstatte (eller blandes med) fossilbaserte drivstoff som brukes av forbrenningsmotorer, og har omtrent samme energitetthet (jf. lagringskapasitet osv.) som sine fossile «tvillinger». Den store utfordringen er kostnader og energiforbruk (med energitap) for fremstilling.

Elektrodrivstoff kan produseres ved hjelp av en rekke teknologier. Sabatier-prosessen er den vanligste prosessen for å produsere elektrobasert metan (e-metan) fra hydrogen og karbon, mens Fischer Tropsch-prosessen er standardmetoden for å produsere diesellignende drivstoff fra hydrogen og karbon. Prosessen som brukes til ammoniakkproduksjon er Haber Bosch-prosessen. Alle disse prosessene er velkjente og har blitt brukt i storskala applikasjoner (DNV GL, 2019b). Det rapporteres at Audi har investert i en 6-megawatt anlegg for produksjon av elektrodrivstoff i Tyskland (Brynolf et al, 2018). Et testanlegg i Tyskland har også vist at det er mulig å produsere høykvalitets drop-in elektrodrivstoff, der det produseres syntetisk diesel (e-diesel) fra fornybar strøm og  $\text{CO}_2$  fanget opp fra luften (Brynolf et al, 2018). Det første kommersielle produksjonsanlegget ble bygget på Island i 2012, med en kapasitet til å produsere mer enn fem millioner liter elektrobasert metanol (e-metanol) per år. Island produserer e-metanol ved bruk av geotermisk energi og  $\text{CO}_2$  fra samme kilde (Hansson & Grahn, 2016).

Enten drift av skip legges om til elektrodrivstoff eller elektrisitet fra batterier (ladet fra land), vil denne utviklingen øke etterspørselen etter fornybar elektrisitetsproduksjon på land.

De karbonbaserte elektrodrivstoffene benyttet i forbrenningsmotorer kan ikke regnes som 100% nullutslippsløsninger om bord, ettersom forbrenningsmotorene fortsatt vil generere  $\text{NO}_x$  i varierende grad (avhengig om det er snakk om E-diesel, E-metan eller E-metanol).



Key:  $\text{CO}_2$ , carbon dioxide;  $\text{H}_2$ , hydrogen;  $\text{N}_2$ , nitrogen; ICE, internal combustion engine

Source: Inspired by Päivi et al. (2018)

**Figur 6-2** Utnyttelse av fornybar energi til produksjon av elektrodrivstoff

<sup>40</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon\\_neutrality](https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_neutrality)

## Vurdering av teknologimodenhet (TRL)

Elektrodrivstoff kan benyttes med forbrenningsmotorteknologi. Elektrobasert diesel eller flytende metan kan benyttes med dagens velprøvde motorteknologi. Metanol forbrenningsmotorteknologi er imidlertid fortsatt på et relativt tidlig stadium, selv om det finnes kommersielt tilgjengelige forbrenningsmotorer som kan benytte metanol (FCBI Energy, 2015).<sup>41</sup> Passasjerskipet MS innogy<sup>42</sup> hevdes å være det første skipet i Tyskland som i 2017 benytter brenselcelleteknologi og miljøvennlig methanol. Metanol som skal benyttes er produsert ved bruk av en hydro-elektrisk strømkilde og med CO<sub>2</sub> filtrert fra omgivelsesluft.

Det forventes dermed at elektrobaserte drivstoff har et TRL nivå fra 7-9, avhengig av hvilket elektrodrivstoff det er snakk om. Det må også bemerkes at dette gjelder kun teknologisk modenhet om bord i skipet. Det er vanskelig å anslå når og på hvilken måte produksjon av karbonbasert elektrodrivstoff fra fornybar energi vil nå industriell modenhet og relevant kostnadsnivå.

## Potensial retrofit og nybygg

Elektrodrivstoff vil være aktuelt både for eksisterende og nybygg, og vil i prinsippet (i tilfelle E-diesel eller E-metan) anvendes med dagens konvensjonelle teknologier.

## Sikkerhet og kompleksitet

Tilsvarende dagens konvensjonelle teknologier (i tilfelle E-diesel eller E-metan).

## 6.5.2 Infrastruktur

Det er kostbart og teknologisk krevende å bygge opp produksjonskapasitet for karbonbasert elektrodrivstoff, men bunkringsinfrastrukturen kan i prinsippet være den samme som for tilsvarende fossilbasert drivstoff. Bortsett fra noen testinstallasjoner og produksjonen på Island, eksisterer det i dag ingen storstilt produksjonsanlegg for syntetisk elektrodrivstoff.

## 6.5.3 Økonomi

Som drop-in drivstoff (E-diesel og E-metan) trenger i prinsippet ikke karbonbasert elektrodrivstoff medføre ekstra investeringskostnader om bord på skipene, sammenliknet med tilsvarende fossilbaserte alternativer.

Merkostnaden for selve drivstoffet vil imidlertid være høy. En omfattende gjennomgang av produksjonskostnadene til elektrodrivstoff er rapportert av (Brynolf et al, 2018). Prisen for denne typen drivstoff avhenger først og fremst av kapitalkostnaden til elektrolyseanlegget, sammen med kraftprisen og kapasitetsfaktoren. Andre kostnadsaspekter (rapportert til å være mindre viktig) er CO<sub>2</sub>-fangstkostnader og kostnader av vann. Siden elektrodrivstoff krever hydrogen produsert gjennom elektrolyse, er prisen på elektrisitet den mest relevante kostnadsfaktoren for produksjon.

Oppsummert så er utvikling og etablering av avanserte produksjonsfasiliteter i større skala, samt tilstrekkelig tilgang og pris på fornybar kraft, blant hovedutfordringene. Produksjon av karbonbasert elektrodrivstoff er svært energiintensivt, og rikelig tilgang på rimelig og fornybar kraft er en av mange

<sup>41</sup> <https://marine.man-es.com/two-stroke/2-stroke-engines/me-lgim>

<https://news.cision.com/rise/r/new-methanol-engine-ready-for-the-marine-market,c2646904>

<sup>42</sup> <https://shipandbunker.com/news/emea/315877-methanol-fuel-cell-powered-passenger-vessel-put-into-operation-in-germany>

krevende forutsetninger for industrialisering. Men det er fortsatt et reelt alternativ for både skipsfart og andre anvendelser, som på sikt ikke kan avskrives.

## 6.6 Alternative løsninger for frakt av passasjerer inn i verdensarvfjordene

Som alternativ til tiltak på selve skipet, kan en se for seg andre typer løsninger for utslippsfri turisttrafikk inn i verdensarvfjordene. Nedenfor er det gitt en kort vurdering av to slike alternativer som har vært diskutert.

### 1. Buksering av skip

Det kan tenkes at cruiseskip kan bukseres inn i verdensarvfjordene ved bruk av taubåt(er). En slik løsning vil kreve at det eller de fartøyene som benyttes til buksering må tilfredsstille krav om nullutslipp samtidig som det leverer nok energi til fartøyet som bukseres inn i verdensarvfjorden. Som vist i kapittel 7.2 har cruiseskipene omfattende energibehov utover det som kreves til fremdrift, som dermed fortsatt må være lagret og tilgjengelig under buksering inn fjorden. I turistsesongen er det mange skip samtidig inne i verdensarvfjordene, dvs. opp til 12-13 stk (Nærøyfjorden). Det betyr at det må være en tilstrekkelig flåte av bukseringsfartøy og energilagringssystemer, eventuelt avlastet med landstrøm under havneopphold. DNV GL vurderer denne løsningen som helt urealistisk for dagens trafikkgrunnlag.

### 2. Ankring av cruiseskip utenfor verdensarvfjordene og frakt av passasjerer

Et annet alternativ er at cruiseskip ankrer opp utenfor verdensarvfjordene og at det benyttes andre måter for å frakte passasjerer inn i verdensarvfjordene, f.eks. fra Eidsdal og Stranda i Geirangerområdet og Lærdal og Vik i Sogn rundt i Nærøyfjordområdet.

En kan her se for seg bruk av lokale og mindre passasjerskip, slik som «Vision of the fjords» og «Future of the fjords» til å frakte passasjerene utslippsfritt inn i verdensarvfjordene, eller at skipets egne tenderbåter (med nullutslippsløsning) kan betjene deler av denne aktiviteten hvis tenderbåtene rigges for slik drift. Tenderbåter er i dag ikke designet for eller har fasiliteter for slik operasjon (for flere timers utflukter). Denne varianten vil også kreve lade- og landstrøm i havn. For å kunne erstatte dagens turisttrafikk i verdensarvfjordene vil en slik løsning kreve en hel flåte av mindre passasjerskip som også må benytte nullutslippsteknologi. Det er lite sannsynlig at en slik løsning vil kunne opprettholde dagens turisttrafikk i fjordene.

Alternativt kan passasjerene busset videre inn mot verdensarvområdene fra disse destinasjonene. Det er imidlertid ikke noe godt alternativ å øke belastningen på veinettet med økt busstransport.



## 7 POTENSIALE FOR OPPTAK AV NULLUTSLIPPSLØSNINGER FOR HELE FLÅTEN I 2026

Det er i dette kapitlet foretatt en overordnet vurdering av potensialet for opptak av nullutslippssløsninger i 2026 for en tilsvarende flåte av cruise- og passasjerskip som den som opererte i verdensarvfjordene i 2018. Gjennomgangen omfatter utvalgte drivstoff og teknologier som vi mener det er aktuelt å vurdere i forbindelse med krav om nullutslipp i verdensarvfjordene i 2026 (eller tidligere). For ytterligere informasjon om teknologier og forutsetninger henvises det til kapittel 6 og DNV GL (2019b,f,g). Figur 7-1 viser en samlet vurdering av de ulike teknologiske løsningene og alternative drivstoff på 12 viktige parametere. Med tanke på potensialet for opptak vil teknologisk og kommersiell modenhet, regelverk og tilgjengelighet av drivstoff være helt avgjørende. Av figuren ser vi at både hydrogen og ammoniakk kommer dårlig ut på disse parameterne. Batterielektrisk fremdrift har sin hovedutfordring på energitetthet, kostnader og tilgjengelighet for bunkring. Denne typen forhold er diskutert og vektlagt i de vurderingene som er gitt nedenfor, med hensyn til potensialet for opptak for *nullutslipp i 2026 for dagens trafikkgrunnlag i verdensarvfjordene*. I vurderingen for potensialet for opptak reflekteres også at etter at teknologien og drivstofftilgang er moden, tar det ofte 3-5 år før skip med aktuell teknologi faktisk kommer på vannet. Dette medfører at mange av nullutslippsteknologiene med lave modenhet, ikke vil «rekke» å bli tatt opp kommersielt innen 2026.

Det bemerkes at det vil være store forskjeller i løsningsrommet for de mindre skipene som opererer lokalt, de mellomstore skipene i nasjonal/internasjonalt fart og de store skipene i internasjonal fart. I vurderingene benyttes fargekoder fra grønn (god/egnet), lysegrønn, gul oransje til rød (dårlig/uegnet) som reflekterer status i 2026 for den enkelte parameter og som vurdering om teknologien ansett som kommersielt moden.

Det må understrekes at bildet og scoringen vil endre seg betydelig, inkl. i retning større aktualitet, om spørsmålene stilles for andre tidsperspektiver og fartøysavgrensninger.

Enerikilde	Elektrisk	E-drivstoff	Biodrivstoff (4,5)		Hydrogen (4)		Ammoniakk (4)	
	Full-elektrisk	Karbon basert (5)	Biogass	Biodiesel	Brenselcelle	Forbr. motor	Brenselcelle	Forbr. motor
<b>Hovedparametere</b>								
• Energitetthet	●	●	●	●	●	●	●	●
• Teknologi modenhet (TRL)	●	●	●	●	●	●	●	●
• Lokale utslipp	●	●	●	●	●	●	●	●
• GHG utslipp	●	●	●	●	●	●	●	●
• Energi kostnader	● (2)	●	●	●	●	●	●	●
• Kapitalkostnader	Energi konverter	●	●	●	●	●	●	●
	Tank-/energisystem	●	●	●	●	●	●	●
• Tilgjengelighet (for bunkering)	●	●	●	●	●	●	●	●
Kommersiell modenhet (1)	● (3)	●	●	●	●	●	●	●
<b>Annet</b>								
• Antennelighet		●	●	●	●	●	●	●
• Giftighet		●	●	●	●	●	●	●
• Regelverk og retningslinjer	●	●	●	●	●	●	●	●
• Global produksjon og kapasitet	●	●	●	●	●	●	●	●

Figur 7-1 Overordnet vurdering av potensiale for alternativt drivstoff og teknologi

Kommentarer til figur:

1. Kommersiell modenhet gir en overordnet vurdering av teknologien hvor det er hensyntatt modenhet, utslipp til luft, kostnader og tilgjengelighet av drivstoff.
2. Det er store variasjoner i energikostnader, avhengig av effektuttak og utbyggingskostnader for strømnnett
3. Må evaluerer for hvert enkelt skip; der små skip i lokal fart har potensiale (grønn) mens de store energikrevende skip ikke er vurdert som ikke moden/teknisk gjennomførbar (rød).
4. Det er for ammoniakk og hydrogen forutsatt at det benyttes fornybar energi i produksjonen. Produksjon fra fossil energi uten CCS (typisk for det som produseres per i dag) vil gi vesentlige bidrag til utslipp av klimagasser. Biodrivstoff og karbonbaserte elektordrivstoff drivstoff er også antatt uten klimagassutslipp ved ombordbruk på skipet. I realiteten er det for alle de angitte drivstoffalternativene usikkerhet knyttet til hvilke totale livsløpsutslipp av GHG som kan tilskrives, jf. energiforbruk og utslipp ved fremstilling og distribusjon av drivstoffet.
5. For både biodrivstoff og karbonbasert elektrodrivstoff er det lagt til grunn forbrenningsmotorteknologi. Karbonbasert elektrodrivstoff omfatter drop-in alternativene E-metan og E-diesel.

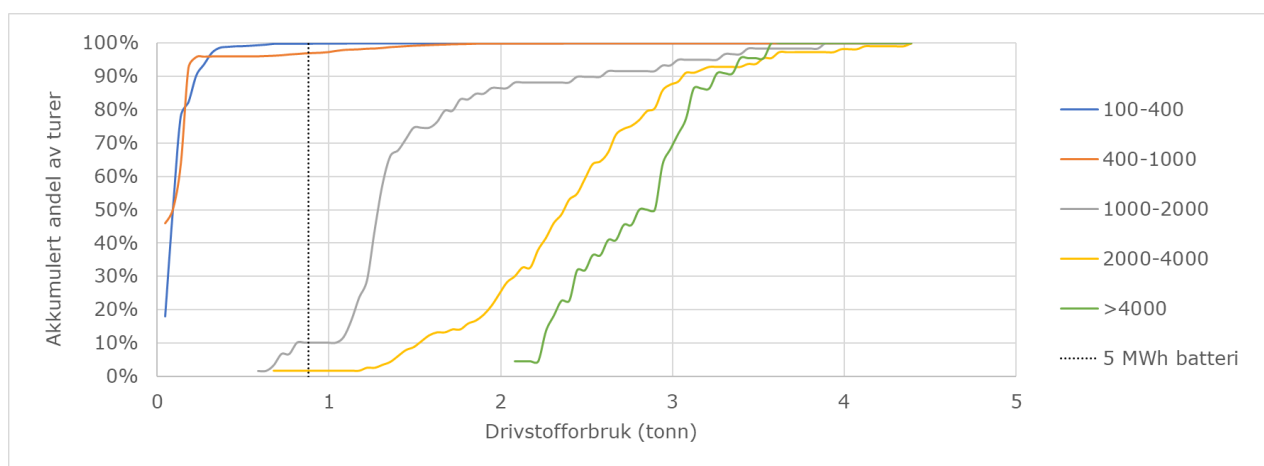
## 7.1 Dimensjonerende energibehov

Analyse av skipstrafikken i Nærøyfjorden viser at det totalt er over 5000 turer utført av 79 unike skip på tre hovedstrekninger, som er mellom innseilingen i Aurlandsfjorden og Flåm, Flåm og Gudvangen eller innseilingen i Aurlandsfjorden og til Gudvangen i 2018. Over halvparten av turene gjøres av skip i segmentet 100-400 passasjer og de fleste turene er mellom Gudvangen og Flåm inne i verdensarvområdet (dvs. typisk lokal rutetraffikk).

Tabell 7-2 viser det gjennomsnittlig drivstofforbruk per strekning (én vei) og hvordan dette forbruket varierer mellom de ulike passasjerkategoriene (skipsstørrelser). Grafene viser at for de minste passasjerkategoriene ligger stort sett alle enkeltturene med et forbruk godt under 0,5 tonn per tur, mens for de største passasjersegmentene ligger de typisk mellom 2 og 3 tonn per tur, med maksimalt forbruk over 4 tonn per strekning. Til sammenligning er det i figuren vist typisk rekkevidde (i dieselekvivalenter) for et 5 MWh batteri<sup>43</sup>. Figuren anses å være representativ for verdensarvfjordene som helhet (ikke kun Nærøyfjorden).

Disse beregningene representerer det grunnleggende dimensjonerende energibehovet som ligger til grunn for vurdering av egnethet, merkostnader og potensiale for teknologianvendelse i verdensarvfjordene i 2026.

<sup>43</sup> 5 MWh er i det øvre sjiktet av det som i dag er under bygging/sjøsatt av maritime batteriprojekter, jf. for eksempel Color Hybrid (1500 passasjerer) som er verdens største nybygde batterihybride. 5MWh muliggjør 30 minutters fullelektrisk drift ut fra Sandefjord havn. Color Hybrid er et relativt lite passasjerskip sammenliknet med hoveddelen av cruiseskipene i verdensarvfjordene.



**Figur 7-2 Andel av turer i verdensarvfjordene med et gitt energibehov (tonn diesel), vist for de ulike passasjersegmentene. Kapasiteten til et 5 MWh batteri er vist for sammenligning (prikket linje).**

## 7.2 Potensiale for fullelektrisk drift av skip

Basert på resultatene sammenfattet i Figur 7-2 beregnes den batteristørrelse som kreves på hvert av skipene når de skal drives fullelektrisk, dvs. mens de seiler en gitt strekning inn eller ut fjorden eller for eksempel mellom Flåm og Gudvangen. For fullelektrisk drift i dette tilfellet må batteriene være fulladet før de går inn i området og så må batteriene lades med strøm fra land både i Flåm og i Gudvangen for at skipene skal kunne seile ut av området. Denne antatte løsningen krever i tillegg at skipene mottar strøm fra land til drift av alle fasiliteter om bord mens skipet ligger til kai. Det er også forenklet antatt for merkostnader og vektberegningene at installert batteristørrelse er det dobbelte av behovet for å ta høyde for aktuell batteriutnyttelse mtp. levetid m.v.

Tabell 7-1 viser for hvert passasjersegment hvor stor andel av flåten som potensielt kan benytte batteriteknologi til å seile fullelektrisk en strekning i verdensarvfjorden, typisk batteristørrelser (MWh) som kreves for dette og indikasjon på investeringskostnad for å få teknologien om bord i skipet. Kostnader for ladeløsninger på kai og oppgradering av lokal og regionalt strømnett er ikke inkludert.

Resultatene viser at de minste skipene må benytte batterier som typisk ligger godt under 5 MWh, mens de største fartøyene krever 20-40 MWh eller mer. I tillegg til effektbehov vil kriteriene for akseptert vekt- og volumøkning være avgjørende for om skipene kan operere fullelektrisk på en strekning i verdensarvfjorden. Under de gitt antagelsene benyttet for tillatt plass/vektøkning, er det anslått at kun 26% av de minste skipene teknisk sett vil kunne driftes fullelektrisk ut ifra vekt/plassbegrensninger, mens de store skipene ikke begrenses på samme måte (for operasjon i selve verdensarvfjordene). I beregningen av vekt og volum er det i tillegg til batterier inkludert konvensjonelt maskineri og tank om bord, siden det forutsettes at skipene i praksis er ladbare hybridskip som driftes helelektrisk inne i verdensarvområdet. Selv om det kan være teknisk gjennomførbart å ha batterier av denne størrelsen om bord, vil tilgjengelig effekt til lading i verdensarvområdet være en hovedbarriere mot å faktisk realisere fullelektrisk operasjon, i tillegg til de svært høye investeringskostnadene om bord.

**Tabell 7-1 Andel av flåten som kan benytte batteriteknologi og anslag for merinvestering på fartøy (ikke inkludert investering i ladeinfrastruktur/kraftnett på land)**

Passasjer-kategori	< 2 MWh	2 – 5 MWh	5 – 10 MWh	10 – 20 MWh	20 – 40 MWh	> 40 MWh	Gjennomsnittlig merinvestering per skip (MNOK)
<b>100 – 400</b>	14 %	- %	9 %	- %	-	-	40
<b>400 – 1000</b>	4 %	- %	- %	20 %	4 %	-	140
<b>1000 – 2000</b>	-	-	-	27 %	45 %	- %	240
<b>2000 – 4000</b>	-	-	6 %	-	59 %	35 %	380
<b>&gt; 4000</b>	-	-	-	-	25 %	75 %	430

Et mellomstort skip i størrelsen 400-1000 passasjerer som krever 10MWh for å seile ut fjorden, må ha tilgang til 1MW effekt fra det lokale strømmettet i 10 timer for å lade batteripakken om bord. I tillegg må skipet også ha strøm fra land til å drifte alle fasiliteter om bord mens skipet ligger til kai. Samlet effektbehov for ett slikt fullelektrisk mellomstort skip kan derfor bli 5-6MW i de 10 timene skipet ligger til kai. Som regel er det imidlertid snakk om flere større og mindre fullelektriske skip inne samtidig, som vil kreve tilsvarende økning i effektbehovet som kreves fra strømmettet.

Det er ikke foretatt en vurdering av tilgangen på lade- og landstrøm i havnene i verdensarvfjordene. Imidlertid er strømbehovet til store og flere skip samtidig så høyt at det med all sannsynlighet ikke er tilgjengelig kapasitet per i dag. Det gjør at skipene i praksis trenger batterier som har minst dobbel kapasitet for å dekke energibehovet til både inn- og utseiling. En slik betydelig oppskalert batteriløsning vil gi plass/vekt-problemer for de fleste skip, og vil ikke være et realistisk alternativ.

For mindre kraftkrevende skip som opererer lokalt i verdensarvfjordene vil denne teknologien kunne utnyttes fullt ut, hvor skipene driftes fullelektrisk med strøm levert fra land. Dette er allerede demonstrert gjennom utvikling og driften av fjordcruise fartøyene «Vision of the Fjords» og «Future of the Fjords».

Potensialet for fullelektrisk drift vil være vesentlig redusert for de små/mellomstore skipene som har noe eller større deler av driften utenfor verdensarvfjordene. Med all sannsynlighet må alle disse skipene benytte andre nullutslipps-løsninger (dvs. bygges som hybridelektriske skip) som sikrer nødvendige rekkevidde mens de opererer i verdensarvfjordene.

Fullelektrifisering er svært lite egnet for de mer energikrevende cruise- og passasjerskipene som går inn i verdensarvfjordene, pga. manglende nett- og ladekapasitet i verdensarvfjordene eller i tilgrensende havner som muliggjør fullelektrisk drift av skipene i stort omfang. Store cruiseskip vil heller ikke installere batteripakker slik at de kan driftes fullelektrisk bare i verdensarvfjordene. Ser en bort ifra manglende tilgang på land- og ladestrøm, vil installasjonen om bord være svært kostnadskrevende, og nyttegraden for liten dersom slike investeringer ikke også kan sees i sammenheng med tilrettelegging for lading og bruk av batterier andre steder, inkludert utenfor Norge. Skipene kan imidlertid ha mindre batteripakker om bord som gir mer fleksibilitet og optimaliserer energibruken om bord.

Strøm fra land til drift av skipet mens det ligger til kai er et tiltak som er teknisk mulig og blir benyttet i flere norske havner. Imidlertid vil strømbehovet til de store skipene og eventuelt flere skip som ligger til kai samtidig være svært høyt, og kreve kostbare utbygginger av strømmettet og ladeløsningene. Strøm fra land må også kunne føres ut til de skip som ligger til anker der det er mangel på kaiplass. Fullelektrisk drift er derfor kun vurdert som potensiale for de mindre skipene som opererer lokalt i verdensarvfjordene i 2026.

Vurderingene gitt ovenfor gjelder også dersom en legger til grunn realistisk forventet teknologiutvikling (inkl. økt energitetthet) på batteriteknologisiden frem mot 2026.

### 7.3 Potensiale for hydrogen eller ammoniakk som energibærer


Basert på analysen sammenfattet i Figur 7-2 fremgår estimerte mengder hydrogen og ammoniakk som er påkrevd for å dekke energibehovet til oppholdet i fjorden for hvert enkelt skip. Vi finner at vekt og volum ikke er en begrensende faktor for noen av skipene for disse to alternative teknologiene. Dette gjelder for både brenselcelle og forbrenningsmotor som fremdriftssystem, og for både flytende og komprimert hydrogen. Tabell 7-2 viser anslag for nødvendig mengde drivstoff lagret om bord for å drifte skipene med nullutslipp inne i verdensarvområdet, samt anslag for merinvesteringer for tanker og motor/energikonverter om bord. Mengde drivstoff vil variere avhengig om det er benyttet brenselcelle eller forbrenningsmotor, og investeringskostnader varierer avhengig av om det er brenselcelle eller forbrenningsmotor, og (for hydrogen) om det er benyttet flytende eller komprimert drivstoff. Brenselcelle er jevnt over betraktelig dyrere enn forbrenningsmotor, og brenselcelle er den store driveren for investeringskostnadene. Det bemerkes at det per i dag eksisterer hverken marine brenselcellesystemer eller forbrenningsmotorer for hydrogen eller ammoniakk med tilstrekkelig effekt for de største skipene.

**Tabell 7-2 Gjennomsnittlig drivstoffmengde påkrevd for nullutslippsdrift inne i verdensområdet og anslagsvise gjennomsnittlige merinvesteringer per skip, for skipene i analyseutvalget**

Passasjersegment	Hydrogen		Ammoniakk	
	Mengde (tonn)	Investeringskostnad (MNOK)	Mengde (tonn)	Merinvestering (MNOK)
<b>100 - 400</b>	1 - 2	50 - 140	8 - 10	50 - 140
<b>400 - 1000</b>	3 - 4	170 - 460	19 - 24	160 - 45
<b>1000 - 2000</b>	4 - 5	330 - 930	25 - 32	310 - 910
<b>2000 - 4000</b>	6 - 8	610 - 1740	39 - 49	590 - 1720
<b>&gt; 4000</b>	6 - 8	560 - 1580	40 - 52	530 - 1560

#### Hydrogen som energibærer

Det er fortsatt betydelige barrierer som gjør at hydrogen som nullutslippstiltak foreløpig ikke er særlig aktuelt for ordinære cruise- og passasjerskip, og at bruk i stor skala for cruise- og passasjerskip innen 2026 er derfor lite sannsynlig. De mest sentrale barrierene for hydrogen og brenselcelledrift anses å være umoden teknologi, mangler i eksisterende regelverk og utfordringer relatert til sikkerhet, høye kostnader og manglende infrastruktur. I tillegg tar planlegging, design og bygging av et stort skip vanligvis 3-5 år (DNV GL, 2017b), og anvendelse av denne type teknologi kan først besluttes etter at den er ansett som moden, industrialisert og med tilfredsstillende regelverk. Det vil også kreve betydelig mer plass/vekt om bord i skipene selv for kort operasjon med nullutslipp, selv om plass/vekt hensyn ikke ekskluderer teknologien teknisk sett. I tillegg krever teknologien sikker tilgang til hydrogen, hvilket aktørene ikke har sikkerhet for med tanke på operasjon i verdensarvfjordene fra 2026. Bruk av brenselcelle kan være en løsning på lengre sikt for mellomstore og større skip, men det er lite sannsynlig at store cruiseskip vil benytte teknologien fra 2026.



Det at teknologien er under uttesting gjør at det kan komme et fåtall skip som benytter hydrogen (piloteringsprosjekter), men at dette med all sannsynlighet er små skip i kategorien >400 passasjerer. Hydrogen vil også kunne få innpass i større skip der en liten del av strømforbruket kan leveres fra brenselceller som benytter hydrogen.

For forbrenningsmotorer kan man se for seg en utvikling hvor skip har en drivstoff-fleksibel motor, som kan brenne hovedsakelig hydrogen i forbindelse med besøk i verdensarvfjordene. Dette vil kreve egne tankesystemer for hydrogen, tilpasset energibehovet i verdensarvfjordene og hvor hydrogen vil kunne bunkres i forkant av besøket. Evt. på sikt kan begrensede mengder hydrogen produseres med elektrolyseanlegg ombord, og deretter lagres for senere bruk. En slik løsning vil kreve stort energiforbruk om bord og potensielt gi økte utslipp (for eksempel på dieselgeneratorer utenfor verdensarvfjordene), men vil kunne tilfredsstillere nullutslippsalternativ A i verdensarvfjordene. Det rapporteres om uttesting av denne type hydrogenproduksjon ombord (små mengder) for to lasteskip som opererer «innland water ways» (Zincir & Deniz, 2018). Mindre mengder hydrogen blandes med andre drivstoff for å forbedre forbrennings- og utslippsegenskaper.

På kortere sikt kan tilpassede forbrenningsmotorer på hydrogen være en aktuell løsning, men vi anser det som mer sannsynlig på lengre sikt at brenselceller vil være den primære omformerer for bruk med hydrogen når teknologien er tilstrekkelig moden. Brenselceller på hydrogen har null NOx-, SOx- og PM-utslipp og høyere effektivitet sammenlignet med forbrenningsmotorer.

### **Ammoniakk som energibærer**

Ammoniakk blir stadig oftere trukket frem som et aktuelt nullutslippsalternativ for skip, og det kan det være gode grunner til i et langsiktig perspektiv. Teknologisk modenhet er imidlertid en av de viktigste barrierene for opptaket av ammoniakk blant skipene som opererer i verdensarvfjordene fra 2026. Foreløpig er ammoniakk som drivstoff om bord i skip en uprøvd teknologi. På kort sikt er det mest nærliggende å ha ammoniakkdirift på forbrenningsmotorer, som tilfredsstiller nullutslipp alternativ A, mens ammoniakk og brenselceller som tilfredsstiller nullutslipp alternativ B vil ligge lenger ut i tid.

Basert på eksisterende motorteknologi, rapporteres det at utvikling og kommersialisering av en to-takts «dual fuel» ammoniakkmotor er mulig (MAN ES, 2019). Cruiseskipene som opererer i verdensarvfjordene bruker for det meste firetakts forbrenningsmotorer, derfor må man regne med at utviklingen i bruk av ammoniakk for denne type motor vil ta lenger tid.

En annen utfordring for opptak av ammoniakk er sikkerhetsutfordringen knyttet til ammoniakkens giftighet. Det er også betydelig gjenstående utviklingsarbeid regulatorisk for å gi forutsigbarhet med hensyn på sikkerhet og godkjenning av skip på ammoniakkdirift.

Trolig er det enklere å integrere ammoniakkdirift på større passasjer- og cruise skip enn andre nullutslippsdrivstoff slik som hydrogen. Hovedgrunnen til dette er at lagring av ammoniakk en velprøvd teknologi, sammenlignet med f.eks. lagring av flytende hydrogen, samt at det er enklere å få finne lagringsplass siden ammoniakk har en vesentlig høyere mengde energi pr. volumenhet.

Som del av piloteringsprosjekter er det imidlertid trolig rom for å utforske ammoniakk som maritimt drivstoff for større passasjer- og cruise skip, også i verdensarvfjordene.

## 7.4 Potensialet for karbonbasert elektrodrivstoff som energibærer

Karbonbaserte elektrodrivstoff er en løsning som vil kunne tilfredsstillere nullutslippskrav alternativ A hvis det benyttes i forbrenningsmotorer og nullutslipp alternativ B hvis det benyttes i brenselceller (e-metan). Flere forskjellige karbonbaserte elektrodrivstoff kan brukes i eksisterende framdriftsmaskineri om bord i skip som trafikkerer verdensarvfjordene. Av disse er trolig elektrobasert e-diesel mest anvendelig på eksisterende skip, da det kan bli benyttet som «drop-in» drivstoff for fossil diesel. I tillegg vil e-metan kunne benyttes som «drop-in» drivstoff i skip med LNG-maskineri. Blant de karbonbaserte elektrodrivstoffene der konverterteknologi ikke er fullt så modent ennå, finner man elektrobasert metanol. To-takts «dual fuel» forbrenningsmotorer som går på metanol er kommersielt tilgjengelig. Større cruiseskip som trafikkerer verdensarvfjordene bruker imidlertid firetakts forbrenningsmotorer. Denne type motorer på metanol, har allerede vært benyttet på passasjerskip i Sverige.<sup>44</sup>

Hovedutfordringen med karbonbaserte elektrodrivstoff er generelt sett ikke tilknyttet teknologibegrensninger om bord i skip. De vesentlige barrierene handler om produksjon og tilgang på denne typen drivstoff til aktuelle prisnivåer. DNV GL ser ikke forhold som tilsier noen vesentlig anvendelse av denne typen drivstoff i verdensarvfjordene før 2026, men pilotprosjekter kan ikke utelukkes.

## 7.5 Potensialet for biodrivstoff som energibærer

Forskjellige biodrivstoffløsninger vil kunne tilfredsstillere krav om nullutslipp slik angitt under alternativ A. Biogass eller biobasert syntetisk diesel (HVO) er blant biodrivstoffene som kan være aktuelle for verdensarvfjordene i 2026.

### Biogass

Flytende biogass (LBG) kan som vist ovenfor lagres om bord og benyttes på alle gassmotorer uten at det foretas oppgradering av skipets tanker, rørsystem eller maskineri. Dette gjør at alle skip som benytter naturgass/LNG kan skifte til biogass og benytte denne mens de opererer i verdensarvfjordene. Løsningen vil kunne tilfredsstillere nullutslipp alternativ A, og reduserer lokale utslipp betydelig.

Antallet LNG-drevne skip vil være en vesentlig begrensende faktor for LBG som nullutslippsløsning for verdensarvfjordene i 2026. Dette fordi det er få eksisterende LNG-drevne cruiseskip i drift per 2018, samt at det er for få nye i bestilling. For eksempel var det i 2018 kun ett LNG drevet cruiseskip i operasjon. Det er imidlertid i bestilling et betydelig antall LNG-drevne nybygg (2020-2026), og hovedsakelig er dette store skip i kategoriene >4000 passasjerer samt et begrenset antall skip (3-4 stk.) i kategorien 2000-4000 passasjerer. Dette betyr at det i prinsippet kan være mulig å erstatte alle skipene i den største kategorien, >4000 passasjerer. For de mindre kategoriene, dvs. 2000-4000 passasjerer eller mindre, er antallet nybygg begrenset slik at få av de skipene som opererer i verdensarvfjordene kan erstattes. Imidlertid er det i praksis høyst usikkert i hvilken grad rederier vil omdisponere LNG-drevne skip til Norge, også i tilfelle nullutslippskrav (alternativ A) i verdensarvfjordene. Det skal ikke utelukkes, men DNV GL er av den oppfatning at LNG-drevne skip også må forventes å være planlagt for det amerikanske cruisemarkedet for å møte gjeldende NOx tier III-krav for fartøy kjølsturket fra og med 2016.

I tillegg må LNG-drevne skip ha tilgang til biogass. Biogass er per i dag lite tilgjengelig både i det lokale og det globale markedet, og av den grunn kan det være vanskelig å sikre tilstrekkelige mengder for de

<sup>44</sup> <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2019/04/Dolan-Argus-Marpol-25-April-Houston.pdf>



skip som skal operere i verdensarvfjordene. Dette bildet kan imidlertid endres frem til 2026 om etterspørselen øker, men dette vil kreve en oppskalering av produksjonskapasitet for LBG.

Kystruteskipene vil frem mot 2026 uansett gå over på LNG (delvis i kombinasjon med batterier). Hurtigruten har allerede inngått avtale om leveranse av biogass til sin flåte (fra Skogn) og er dermed allerede rigget for å møte kravet om nullutslipp iht. alternativ A.

## HVO

HVO som drivstoff om bord i cruis- og passasjerskip som opererer i verdensarvfjordene vil trolig ikke innebære store justeringer av konvensjonelle forbrenningsmotorer og drivstoffsystemer. Dette er underbygget av at HVO er biobasert syntetisk diesel som tilfredsstillende gjeldene standard for fossil diesel i Norge, uten at innblanding i fossil diesel er nødvendig. Det er likevel begrenset driftserfaring med bruk av HVO i skip, og motorleverandører må gi klarsignal før HVO kan bli vurdert som en løsning som er fullstendig kompatibelt med eksisterende dieselsystemer. Noen leverandører har allerede gitt klarsignal om dette. Den høye graden av kompatibilitet med konvensjonelle dieselsystemer er en stor fordel sammenlignet med andre drivstoff, og en stor andel av de eksisterende cruise- og passasjerskipene i verdensarvområdene antas fra 2026 å kunne benytte HVO uten behov for noe vesentlig tilpasning.

Bruk av HVO vil potensielt tilfredsstillende nullutslippsalternativ A (95% reduksjon av CO<sub>2</sub>), men vil fremdeles innebære utslipp av NO<sub>x</sub>, partikler og visuell røyk (imidlertid vesentlig redusert iht. allerede vedtatte innskjerpede krav i verdensarvfjordene, som i praksis vil kreve tier III-teknologi slik som SCR for å møte NO<sub>x</sub>-kravene).

De største utfordringene for implementering av HVO om bord i skip som trafikkerer verdensarvfjordene kan trolig knyttes til tilgang på klimanøytralt produsert HVO som tilfredsstillende bærekraftskriteriene. Selv om drivstofforbruket i verdensarvfjordene er neglisjerbart i forhold til global (og europeisk) produksjon av HVO, må distribusjonsnettverk for HVO til verdensarvfjordene bli bygget opp for å øke tilgjengelighet. En ytterligere utfordring er at skipsfarten må konkurrere med andre transportsektorer (f.eks. flyindustrien) om tilgangen til råstoff og produksjonskapasitet for bærekraftig biodrivstoff. Slik sett vil HVO være lettere å implementere som tiltak for de mindre skipene som representerer lavere etterspurte volumer. HVO anses likevel å være blant de mest tilgjengelige løsningene for nullutslipp (i henhold til alternativ A) i verdensarvfjordene innen 2026.



## 8 POTENSIELLE VIRKNINGER OG PRINSIPIELLE PROBLEMSTILLINGER KNYTTET TIL TILTAKENE

Innføring av nullutslippskrav i verdensarvfjordene kan i prinsippet få en rekke ulike effekter på forurensningssituasjon, skipstrafikk, næringsliv og teknologiutvikling. Effektene vil kunne analyseres og kvantifiseres ut ifra et samfunnsøkonomisk perspektiv. Det er ikke del av denne analysen å gjennomføre grundige vurderinger av disse effektene, men rapporten diskuterer overordnet sentrale positive og negative effekter, samt prinsipielle problemstillinger som potensielt oppstår ved innføring av slike krav. Vi ser her kun på utslipp til luft.

### Redusert forurensning:

- Krav om nullutslipp i verdensarvfjordene vil gi en ytterligere reduksjon av utslipp i verdensarvfjordene, men kravene vil være svært utfordrende å imøtekomme for den flåten som i dag opererer i verdensarvfjordene. Utslippsreduksjon vil derfor i stor grad kunne tilskrives at færre skip kan eller vil operere i verdensarvfjordene. Nullutslippsalternativ B vil i vesentlig større grad gi redusert trafikk enn alternativ A.
- Den største reduksjonen sammenliknet med allerede vedtatte krav for verdensarvfjordene gjelder for CO<sub>2</sub>, som ikke er regulert per i dag. Reduksjon i lokale CO<sub>2</sub>-utslipp bidrar til reduksjon i de globale samlede utslipp og klimaeffekter, men det har med tanke på slike effekter i prinsippet ikke noe å si om CO<sub>2</sub>-reduksjon skjer her eller andre steder.
- Utslipp av NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> og partikler vil i 2025 være betydelig redusert fra dagens nivå som følge av allerede vedtatte miljøkrav for verdensarvfjordene. Gjenværende utslipp vil bli fjernet i sin helhet med nullutslippskrav alternativ B, men sannsynligvis også vesentlig redusert som en positiv bieffekt ved nullutslippskrav alternativ A (95% reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslipp) i og med at flere av de aktuelle teknologiene (for eksempel biogass) også har svært lave lokalutslipp.
- Kravet om nullutslipp i verdensarvfjordene kan medføre at det blir lekkasjetrafikk til andre fjorder, og dermed økt forurensning i disse fjordområdene.
- Begrenses cruisetrafikken i verdensarvfjordene kan turister i større grad busses inn i området, noe som belaster veinettet og medfører utslipp til luft som ikke reguleres gjennom foreslåtte nullutslippskrav.
- Dersom batterielektrifisering tas i bruk, vil deler av nullutslippsdriften i verdensarvområdet kunne lades med dieselgeneratorer om bord på skipet rett utenfor eller på vei inn i området. En slik praktisk tilnærming gir ingen reell utslippsreduksjon fra maritim virksomhet, men heller gi en økning i det totale CO<sub>2</sub> utslippet enn om drivstoffet ble benyttet direkte til fremdrift.
- For kravalternativ A finnes det tilgjengelige teknologiske løsninger (LBG og biodiesel og på sikt karbonbasert elektrodrivstoff) som potensielt kan benyttes i flåten hvis tilgang til drivstoffene blir tilstrekkelig og at motorleverandørene godkjenner bruken der det trengs.
- Analysen ser kun på utslippsreduksjoner om bord på skipet.
- Det må kunne dokumenteres hvilke nullutslippsteknologier eller alternative drivstoff som benyttes mens skipene opererer i verdensarvfjordene. Det må derfor etableres rutiner og rapporteringssystem som kan dokumentere at all drift i områdene tilfredsstiller nullutslippskravet. Her kan det også vurderes godkjenningsordninger.
- Skip kan velge å ha dedikerte tanker om bord for drivstoff som imøtekommer krav om 95% reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslipp (for eksempel biodrivstoff og karbonbasert drivstoff). Disse må være

av en størrelse (også med en sikkerhetsfaktor) at de vil dekke operasjonen innenfor verdensarvfjordene. I og med at den vesentligste endringen i utslipp gjelder CO<sub>2</sub>, kan imidlertid spørsmålet stilles om hvorvidt det er nødvendig med dedikerte tanker. I og med at de positive effektene av CO<sub>2</sub>-reduksjon i seg selv ikke er knyttet til hvor i Norge reduksjonen finner sted, reiser dette en prinsipiell problemstilling om hvorvidt innblanding av for eksempel LBG i LNG skal aksepteres (både LNG og LBG har minimal lokal-forurensningseffekt), eller at det dokumenteres at en viss mengde HVO eller E-diesel er bunkret før innseiling, osv. Dette vil være en langt mer praktisk tilgjengelig tilnærming (jf. dersom kravalternativ A velges).

### **Teknologiutvikling:**

- Nullutslippskrav vil sannsynligvis føre til at enkelte aktører tar i bruk ny teknologi, men det er usikkert i hvilket omfang dette blir i perioden frem til 2026. Det er allerede fullt operative mindre fullelektriske skip i lokal drift samt planlagt LNG (potensielt LBG) + batteridrift på kystruteskip i verdensarvfjordene. Bruk av hydrogen er under utvikling i ferjesektoren, mens det gjenstår utvikling og testing før ammoniakk som kan benyttes. Verdensarvfjordene kan potensielt bli et utstillingsvindu for demonstrasjonsprosjekter, selv om storskala utrulling av nullutslippsteknologi for dagens trafikkgrunnlag ikke viser seg mulig å realisere i 2026.
- For majoriteten av de eksisterende cruiseskipene er det ikke forventet at nullutslippskravene vil føre til vesentlige teknologiskifter om bord. For disse skipene vil sannsynligvis kravalternativ B medføre at fartøyene avstår fra operasjon i verdensarvfjordene.
- De skipsverftene som bygger cruiseskip i Europa har i dag fulle ordrebøker og dermed liten kapasitet til flere nybygg. Av de skipene som bygges er det noen skip i de største kategoriene som kan benytte LBG samt at batteriteknologien kan utnyttes for energioptimalisering. For innfasing av alternative energibærere som hydrogen er det kun små pilotanlegg på mindre fartøy/ferger som er på gang. Dette gjør at det i perioden frem til 2026 kun er noen få store skip som vil tilfredsstillere nullutslippskrav alternativ A mens det i liten grad kommer nye skip som tilfredsstiller nullutslippskrav alternativ B.
- LNG-drevne cruiseskip vil i prinsippet kunne tenkes å bli prioritert for drift i norske farvann i større grad enn ellers. Disse vil kunne tilfredsstillere kravalternativ B (95% reduksjon i CO<sub>2</sub>) ved overgang til biogass, og således føre til økt etterspørsel og utvikling av tilbudssiden på biogass i Norge, som vil være positivt. Bruk av biogass på LNG-drevne skip er teknisk sett det samme som å drifte på LNG.
- I parallell med utvikling og testing av nullutslippsteknologi, vil det også være nødvendig å bygge opp både tilgjengelighet og leveransekapasitet av alternative drivstoff (inkl. lade- og landstrøm).

## Næringsliv:

- Krav om nullutslipp i verdensarvfjordene fra 2026, alternativ A eller B, vil kunne medføre at turisttrafikken i verdensarvfjordene går betydelig ned sammenlignet med dagens trafikk – særlig for de internasjonale cruiseskipene (aller størst med kravalternativ B). Nedgang i cruisetrafikk vil påvirke lokalt næringsliv, men på hvilken måte krever nærmere analyser.
- Det kan ikke utelukkes at nye konsepter for turisttrafikk i verdensarvfjordene kan åpne nye næringslivsmuligheter, men dette vil uansett ikke kunne erstatte volumet av dagens cruisetrafikk.
- En markant og gradvis nedgang i turisttrafikken mot 2026 vil kunne ha mange negative ringvirkninger for lokalt næringsliv, som ikke er vurdert i dette studiet. En mer realistisk overgang og helhetlig satsing kan fremme Norge som bærekraftig reisemål. Dette kan igjen gi grunnlag for vekst i verdiskapningen og positive ringvirkninger.
- Norge ligger relativt langt fremme når det gjelder bruk av ny teknologi, som f.eks. fullelektriske ferjer på en rekke samband, en hydrogendrevet ferje i 2021, batterihybridløsninger i flere passasjerskip, utvikling av batteriteknologi og ladeløsninger og innovative skipskonsepter. Innstramming av miljøkravene i kontrakter for offentlige innkjøp av transport i Norge har derfor vært en drivende for utviklingen av miljøteknologi og stimulere til videre forskning og utvikling. Verdiskapning i norske verft/leverandører på miljøteknologi har vært en drivende for utviklingen.

## Andre forhold

- Uavhengig av om det er alternative A eller B som benyttes til å stille krav til nullutslippsteknologi på skip, vil merkostnadene være betydelig (og evt. andre barrierer, slik som kunnskap og investeringsevne). Dette vil påvirke aktørenes muligheter og/eller interesse for å drive med turisttrafikk på verdensarvfjordene. Dagens støtteordninger kan ikke nødvendigvis forventes å gi tilstrekkelig støtte til å redusere aktørenes egeninvestering i utslippsreducerende teknologi. Norske myndigheter har imidlertid demonstrert en vilje til å støtte miljøvennlig teknologi og til å opprette nye støtteordninger og programmer ved behov.

## 9 REFERANSER

Bengtsson et al. (2012). Environmental assessment of two pathways towards the use of biofuels in shipping. *Energy Policy*, 44, 451-463 (2012).

Brohi E. A. (2014). Ammonia as fuel for internal combustion engines? An evaluation of the feasibility of using nitrogen-based fuels in ICE, Master's Thesis in Sustainable Energy Systems, Chalmers University, Sweden.

Brynolf et al. (2018). Electrofuels for the Transport Sector: A Review of Production Costs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

Chryssakis et al. (2014). Alternative Fuels for Shipping. DNV GL strategic research & innovation position paper 1-2014.

Deniz C. & Zincir B. (2016). 'Environmental and economical assessment of alternative marine fuels', *Journal of Cleaner Production*. Vol.113, 1 February 2016, pp438-449

DNV GL (2019a). Reduksjon av klimagassutslipp fra innenriks skipstrafikk. 2019-0939.

DNV GL (2019b). Maritime Forecast to 2050. Energy Transition Outlook 2019.

DNV GL (2019c). Underlag til handlingsplan for grønn skipsfart. Barometer for grønn omstilling av skipsfarten. Rapport nr. 2019-0080, Rev. 0

DNVGL (2019d). Synteserapport om produksjon og bruk av hydrogen i Norge produksjon og bruk av hydrogen i Norge. Rap. nr.: 2019-0039. Rev. 1.  
<https://www.regjeringen.no/contentassets/0762c0682ad04e6abd66a9555e7468df/hydrogen-i-norge---synteserapport.pdf>

DNV GL (2019e). EMSA maritime battery study, Electrical Energy Storage for Ships. for EMSA European Maritime Safety Agency, rep. no. 2019-0217, Rev. 3.

DNV GL (2019f). Comparison of alternative marine fuels', for SEA LNG, DNV GL rep. no. 2019-0567.

DNV GL (2019g). Assessment of selected alternative fuels and technologies. Høvik: DNV GL.  
<https://www.dnvgl.com/maritime/publications/alternative-fuel-assessment-download.html>


DNV GL (2019h). Reduksjon av klimagassutslipp fra innenriks skipstrafikk, DNV GL rep.no. 2019-0939.

DNV GL (2018a). Analyse av tiltak for reduksjon av klimagassutslipp fra innenriks skipstrafikk. For Miljødirektoratet. Rapport no. 2018-0181

DNV GL (2018b). Utredning av omsetningskrav for biodrivstoff i skipsfarten. for Sjøfartsdirektoratet, Rapport no. 2018-0643

DNV GL (2018c). Effekt av hastighetsreduksjon for cruiseskip i verdensarvfjordene. Rapport no. 2018-0025 rev.1.

DNV GL (2017a). Kommersielle ferjekonsesjoner og båtruter i verdensarvområdet Geirangerfjorden med omland, rep. No 2017-1011.



DNV GL (2017b), 'Navigating a low-carbon future', DNV GL report 2017-0205 for the Norwegian Shipowners' Association, 2017.

DNV GL (2017c). 'Study on the use of fuel cells in shipping'. for European Maritime Safety Agency (EMSA), 2017 [online]. view at. [www.emsa.europa.eu](http://www.emsa.europa.eu).

DNV GL (2017d). Kommersielle ferjekonsesjoner og båtruter i verdensarvområdet Geirangerfjorden med omland. Utredning for Stranda Kommune.

DNV GL (2016a). Teknologier og tiltak for energieffektivisering av skip, DNV GL report 2016-0511.

DNV GL (2016b). Reduksjon av Klimagassutslipp fra Norsk innenriks skipsfart, utredning for Klima og miljødepartementet. Rapportnr. 2016-0150.

DNV GL (2015). Vurdering av tiltak og virkemidler for mer miljøvennlige drivstoff i skipsfartsnæringen, Utredning for Klima- og miljødepartementet, Rapportnr. 2015-008.

DNV GL (2014). Teknisk vurdering av skip og infrastruktur for forsyning av drivstoff til skip, utredning for Klima- og miljødepartementet, Rapportnr. 2014-1669.

van Eijk et al. (2014). Current and future economic performance of first and second generation biofuels in developing countries. Applied Energy 135: 115-141.

EEA (2016). International maritime navigation, international inland navigation, national navigation (shipping), national fishing, military (shipping), and recreational boats. European Environment Agency.

E4Tech (2017). The fuel cell industry review 2017. Retrieved from <http://www.fuelcellindustryreview.com/>

FCBI Energy (2015). Methanol as a marine fuel report. accessed at [www.g2energy.com](http://www.g2energy.com).

Festel et al. (2014). Modelling production cost scenarios for biofuels and fossil fuels in Europe. Journal of Cleaner Production 66: 242-253.

Giddey (2017). Ammonia as a Renewable Energy Transportation Media. In: ACS Sustainable Chemistry & Engineering 5.11 (2017)

Gross & Kong (2013). Performance characteristics of a compression-ignition engine using direct-injection ammonia-DME mixtures. Fuel 103 (2013) 1069-1079, accessed at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).

Hansson & Grahn (2016). The potential role of electrofuels as marine fuel: A cost effective option for the future shipping sector?. Conference proceedings. Shipping in Changing Climates (SCC), Newcastle, UK, 10-11 November 2016.

IEA (2019). The Future of Hydrogen. IEA, <https://www.iea.org/publications/reports/thefutureofhydrogen/>



IEA (2015), Technology Roadmap Hydrogen and Fuel Cells. accessed at [www.iea.org](http://www.iea.org).

IEA (2014). Alternative Fuels for Marine Applications. [http://www.iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annex%20Reports/AMF\\_Annex\\_41.pdf](http://www.iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annex%20Reports/AMF_Annex_41.pdf)

IEA (2011). Technology Roadmap, Biofuel for transport.  
[https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Biofuels\\_Roadmap\\_WEB.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Biofuels_Roadmap_WEB.pdf)

IMO (2014). Third IMO Greenhouse Gas Study 2014.  
<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Third%20Greenhouse%20Gas%20Study/GHG3%20Executive%20Summary%20and%20Report.pdf>

Klima- og miljødepartementet (2019). Regjeringens handlingsplan for grønn skipsfart. ISBN 978-82-457-0516-4 (PDF)

MAN ES (2019), Engineering the future two-stroke green-ammonia engine. [https://marine.man-es.com/docs/librariesprovider6/test/engineering-the-future-two-stroke-green-ammonia-engine.pdf?sfvrsn=7f4dca2\\_4](https://marine.man-es.com/docs/librariesprovider6/test/engineering-the-future-two-stroke-green-ammonia-engine.pdf?sfvrsn=7f4dca2_4)

Marigreen (2018). Use of Hydrogen as Fuel in Inland Shipping. <https://www.dst-org.de/wp-content/uploads/2018/11/Hydrogen-Feasibility-Study-MariGreen.pdf>

Maritime Knowledge Centre, TNO & TU Delft (2017). 'Framework CO<sub>2</sub> reduction in Shipping', 16 January 2017.

Menon, DNV GL & TØI (2019). Fossilfrie løsninger innen godstransport. Rapport for Samferdselsdepartementet.

Miljødirektoratet og Sjøfartsdirektoratet (2018). Kunnskapsgrunnlag for omsetningskrav i skipsfart. rap. no. M-1125  
<https://tema.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M1125/M1125.pdf>

Miljødirektoratet (2017). Beregningsteknisk grunnlag for Meld. St. 41. Klimastrategi for 2030 – norsk omstilling i europeisk samarbeid.

Mjelde et. al. (2019). Differentiating on port fees to accelerate the green maritime transition. Marine Pollution Bulletin Volume 149, December 2019, 110561.


Mjelde et. al. (2014). Environmental accounting for Arctic shipping – A framework building on ship tracking data from satellites. Marine Pollution Bulletin, Volume 87, Issues 1–2, 15 October 2014, Pages 22-28

Møreforskning (2014). Grønn fjord, Bind II, Beregning av klimagassutslipp i Geiranger. Rap. No. 1413.

Neste (2016). Renewable Diesel Handbook.  
[https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/neste\\_renewable\\_diesel\\_handbook.pdf](https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/neste_renewable_diesel_handbook.pdf)

OECD (2018), 'Decarbonising maritime transport by 2035', OECD, 26 March 2018, accessed at [www.itf-oecd.org](http://www.itf-oecd.org)

Pochet (2017). Ammonia-Hydrogen Blends in Homogeneous-Charge Compression-Ignition Engine. SAE International



Rambøll (2017). Utslipp til luft og sjø fra Skipsfarten i fjordområder med stor Cruisetraffikk, 5 mai, 2017. Oppdrag utført for Sjøfartsdirektoratet.

[https://www.sjofartsdir.no/globalassets/sjofartsdirektoratet/regelverk-og-int.-arbeid---dokumenter/forurensing-fra-skipsfarten-i-verdensarvfjorder/ramboll-rapport-utslipp-til-luft-og-sjo-fra-skipsfart-i-norske-fjorder\\_2017.pdf](https://www.sjofartsdir.no/globalassets/sjofartsdirektoratet/regelverk-og-int.-arbeid---dokumenter/forurensing-fra-skipsfarten-i-verdensarvfjorder/ramboll-rapport-utslipp-til-luft-og-sjo-fra-skipsfart-i-norske-fjorder_2017.pdf)

Reiter & Kong (2011). 'Combustion and emissions characteristics of compression-ignition engine using dual ammonia-diesel fuel'. Fuel 2011;90(1):87–97. Accessed at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).

REN21 (2019). Renewables 2019 – Global Status Report. <https://www.ren21.net/gsr-2019/>

Rug (2019). "Outlook for a Dutch hydrogen market". [https://www.rug.nl/ceer/blog/ceer\\_policypaper\\_5\\_web.pdf](https://www.rug.nl/ceer/blog/ceer_policypaper_5_web.pdf)

Sandia (2016). Feasibility of the SF-BREEZE: a Zero-Emission, Hydrogen Fuel Cell, High-Speed Passenger Ferry. <https://www.ebdg.com/wp-ebdg-content/uploads/2016/10/SF-BREEZE-SAND2016-9719.pdf>

Shell (2017). Energy of the Future? Sustainable Mobility through Fuel Cells and H<sub>2</sub>. <https://hydrogeneurope.eu/sites/default/files/shell-h2-study-new.pdf>

Statkraft (2018). Fornybar energiforsyning til Svalbard – Longyearbyen [https://www.statkraft.com/globalassets/explained/svalbard\\_rapport\\_0911\\_final.pdf](https://www.statkraft.com/globalassets/explained/svalbard_rapport_0911_final.pdf)

TØI (2016). Fornybare drivstoffer – Fornybar diesel: HVO. <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=43045>

de Vries (2019). Safe and effective application of ammonia as a marine fuel. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:be8cbe0a-28ec-4bd9-8ad0-648de04649b8?collection=education>

Wärtsilä. (2016). Hydrogen as fuel for Wärtsilä gas engines. 28th CIMAC World Congress, Helsinki, June 6-10. CIMAC.

Zincir & Deniz (2018). Maritime industry developments related to alternative fuels. 3<sup>rd</sup> International Naval Architecture and Maritime Symposium (INT-NAM 2018), 23-25 April 2018, Istanbul, Turkey.



## Om DNV GL

DNV GL er et internasjonalt selskap innen kvalitetssikring og risikohåndtering. Siden 1864 har vårt formål vært å sikre liv, verdier og miljøet. Vi bistår våre kunder med å forbedre deres virksomhet på en sikker og bærekraftig måte.

Vi leverer klassifisering, sertifisering, teknisk risiko- og pålitelighetsanalyse sammen med programvare, datahåndtering og uavhengig ekspertrådgivning til maritim sektor, til olje- og gass-sektoren, og til energibedrifter. Med 80,000 bedriftskunder på tvers av alle industrisektorer er vi også verdensledende innen sertifisering av ledelsessystemer.

Med høyt utdannede ansatte i 100 land, jobber vi sammen med våre kunder om å gjøre verden sikrere, smartere og grønnere.