

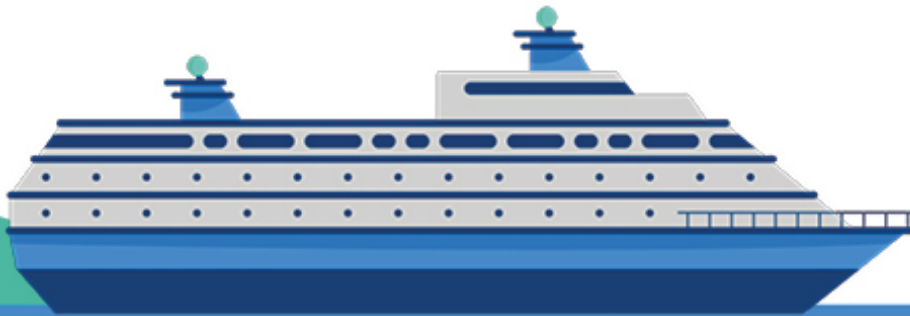


Sjøfartsdirektoratet
Norwegian Maritime Authority



Nullutslipp i 2026 for skip i verdensarvfjordene

Supplement til kunnskapsgrunnlag ut fra status i teknologiutviklingen



Innhold

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Innledning..... | 2 |
| 1.1 | Stortingets anmodningsvedtak..... | 3 |
| 1.2 | Rammer for oppdraget og avgrensning av virkeområdet | 3 |
| 1.3 | Teknologimodenhet | 4 |
| 1.4 | Oversikt og vurdering av teknologi for nullutslipp fra skip..... | 5 |
| 1.5 | Sentrale begrep og definisjoner | 5 |
| 1.5.1 | Nullutslipp | 5 |
| 2 | Teknologi for nullutslipp fra skip | 6 |
| 2.1 | Batteri..... | 6 |
| 2.2 | Hydrogen (H ₂) | 8 |
| 2.2.1 | Større cruiseskip (over 1000 passasjerer)..... | 8 |
| 2.2.2 | Mellomstore cruiseskip (400-1000 passasjerer)..... | 8 |
| 2.2.3 | Mindre cruiseskip/passasjerskip (mellom 12 og 400 passasjerer) | 8 |
| 2.2.4 | Sikkerhet og regelverk | 9 |
| 2.2.5 | Produksjon..... | 9 |
| 2.2.6 | Lagring | 10 |
| 2.2.7 | Bruk | 10 |
| 2.2.8 | Potensial for nybygg og ombygginger | 11 |
| 2.3 | Svinghjulteknologi..... | 12 |
| 2.4 | Ammoniakk..... | 12 |
| 2.4.1 | Produksjon..... | 12 |
| 2.4.2 | Regelverk | 13 |
| 2.5 | Biogass..... | 13 |
| 2.5.1 | Infrastruktur og produksjon av flytende biogass..... | 13 |
| 2.5.2 | Flytende biodrivstoff | 14 |
| 2.5.3 | Infrastruktur og produksjon av flytende biodrivstoff | 14 |
| 2.6 | Karbonbasert elektrodrivstoff/ e-fuel | 15 |
| 2.6.1 | Infrastruktur og produksjon av e-fuels | 15 |
| 2.7 | Karbonfangst | 15 |
| 2.8 | Kjernekraft..... | 16 |
| 2.8.1 | Regelverk | 17 |
| 3 | Referanser | 17 |

1 Innledning

Sjøfartsdirektoratet har vurdert behovet for å oppdatere kunnskapsgrunnlaget for teknologiutviklingen som anses som relevant for «Oppdrag om innretning av nullutslipp for store turistskip og ferger i Verdensarvfjordene fra 2026».

Denne rapporten gir et kunnskapsgrunnlag ut fra status i teknologiutviklingen. Rapporten tar for seg aktuelle teknologier, med utgangspunkt i teknologiske muligheter for nullutslipp på skip i verdensarvfjordene fra 2026.

I denne rapporten blir det utredet om teknologimodenhet, tilgjengelig produksjonskapasitet og infrastruktur av hydrogen, ammoniakk og elektrisitet vil være tilstrekkelig for å sikre at cruiseskip fortsatt skal kunne anløpe verdensarvfjordene.

Innledningsvis beskriver denne rapporten anmodningsvedtaket og rammer for oppdraget med sentrale begrep og definisjoner. Dette er punkter som er tatt med i innledningen som fundament for kunnskapsgrunnlag, også inn mot teknologiene som rapporten tar for seg. Sentralt i rapporten er to alternative definisjoner av nullutslipp og følgelig hvilke teknologier for nullutslipp fra skip denne rapporten dermed setter søkelys på.

Den viser til DNV-GL sin rapport «Nullutslipp i 2026 for skip i verdensarvfjordene» (DNV-GL 2020¹) og særlig til «kapittel 6 - Teknologi for nullutslipp fra skip» og «Kapittel 7 - Potensiale for opptak av nullutslippsløsninger for hele flåten i 2026».

Rapporten har til hensikt å oppdatere kunnskapsgrunnlaget med et særlig fokus på teknologier for nullutslipp fra skip, og supplerer på denne måten til kapittel 6 og 7 i DNV sin rapport.

¹ https://www.sdir.no/contentassets/ce0badc8e20b4983aedc364f73d3a954/dnvgl-rapport_2019-1250_rev0_final.pdf?t=1588434015183

1.1 Stortingets anmodningsvedtak

Nullutslipp i verdensarvfjordene er vedtatt av Stortinget i anmodningsvedtak 3. mai 2018:

«Stortinget ber regjeringen implementere krav og reguleringer til utslipp fra cruiseskip og annen skipstrafikk i turistfjorder samt andre egnede virkemidler for å sørge for innføring 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 (vedtak 672).»

I tillegg er ble det fattet to tilleggsvedtak i februar 2021:

«Stortinget ber regjeringen bidra til gjennomføring av tiltak initiert av lokale og regionale myndigheter, som reduserer utslipp i verdensarvfjordene (vedtak 690).»

«Stortinget ber regjeringen foreslå tiltak som sikrer verdensarvfjordene som anløpshavn for cruisebåter også etter 2026, blant annet ved at staten sikrer etablering av landstrøm i Flåm som planlagt innen 2022 (vedtak 691).»

Oppdraget til Sjøfartsdirektoratet er beskrevet i Klima- og miljødepartement sitt brev av 24. mars 2022.

Stortinget har også fattet et vedtak angående biogass som kan være relevant for dette oppdraget:

«Stortinget ber regjeringen om å endre bruken av begrepet nullutslipp i alle statlige målsettinger og planer til nullutslipp og biogass, dette i den hensikt å likebehandle biogass med elektrisitet og hydrogen, og denne begrepsbruken skal gjelde allerede vedtatte og fremtidige planer (vedtak 1007 (2020-2021)).»

1.2 Rammer for oppdraget og avgrensning av virkeområdet

Oppdraget gjelder krav om nullutslipp fra turistskip og ferger i verdensarvfjordene. Oppdraget gjelder alle passasjerskip, med det menes passasjerskip som kan føre over 12 passasjerer.

Vi presiserer at hurtiggående passasjerfartøy faller inn under denne definisjonen.

Avgrensningen av verdensarvfjordene følger av miljø sikkerhetsforskriften § 10a tredje ledd.

I denne rapporten omfattes kun utslipp fra selve skipet.

1.3 Teknologimodenhet

Nye teknologier oppnår modenhet etter hvert som de utvikles. TRL (Technology Readiness Level) er en faktor (et tall) som angir hvor langt en har kommet i utviklingen og implementeringen av ny teknologi. TRL benyttes i tabellen 1.4 som et av punktene for å gi en kort oversikt over og vurdering av teknologier som står beskrevet i denne rapporten.

| Fase | TRL | Beskrivelse |
|--------------|-----|---|
| Forskning | 1 | Grunnleggende prinsipper er observert. |
| | 2 | Teknologikonsept er definert. |
| | 3 | Eksperimentelt konseptbevis (proof of concept) foreligger |
| Utvikling | 4 | Teknologien er validert i laboratoriet |
| | 5 | Teknologien er testet i laboratorieskala, som del av systemløsning under relevante driftsbetingelser. |
| | 6 | Pilotskala systemløsning validert under relevante driftsbetingelser. Pilotanlegget oppfyller alle funksjonskrav. Tidsbegrenset testing. |
| Utplassering | 7 | Fullskala prototype eller demonstrasjonsanlegg i markedsrelevant skala er testet ut under reelle driftsbetingelser. |
| | 8 | Reelt komplett systemløsning ferdigstilt og kvalifisert gjennom test og demonstrasjon. Siste utviklingstrinn, oppfyllelse av nivået representerer slutten av utvikling av systemløsningen. Drift under kommersielle rammer, fortsatt evaluering av resultater/effekter. |
| | 9 | Teknologien er kommersielt tilgjengelig og har vært i drift over tid under kommersielle rammer og i alle forventede driftssituasjoner. Formål med prosjektet er kommersiell bruk. |

TRL skalaen er her hentet fra Innovasjon Norge².

² <https://www.innovasjon Norge.no/no/tjenester/innovasjon-og-utvikling/finansiering-for-innovasjon-og-utvikling/finansiering-av-innovasjonsprosjekt/technology-readiness-level-trl/>

1.4 Oversikt og vurdering av teknologi for nullutslipp fra skip

| Teknologi | TRL | Reduksjons-potensiale | Momentum (statisk, trender,viral) | Innfrir definisjon nullslipp alternativ 1 | Innfrir definisjon nullslipp alternativ 2 |
|----------------------|------------------|-----------------------|-----------------------------------|---|--|
| Batteri | 8 | 100% | Viralt | Ja | Ja |
| Svinghjuls-teknologi | 5 | 100% | Trender | Ja | Ja |
| Hydrogen | 6/7 | 100 | Trender | Ja | Ja |
| Karbonfangst (CCS) | 4 | 90% | Trender | Nei | Mulig, hvis kombinert med andre teknologier. |
| Kjernekraft | 4 | 100% | Statisk | Ja | Ja |
| Ammoniakk | 5/6 ³ | 100/95% ³ | Trender | Ja (brenselceller) | Ja |
| Biodrivstoff | 8 | N.A. | Viralt | Nei | Ja (Ref. politisk vedtak om biogass likestilt med nullutslipp) |

1.5 Sentrale begrep og definisjoner

1.5.1 Nullutslipp

Sjøfartsdirektoratet legger til grunn følgende to definisjoner av nullutslipp:

1.5.1.1 ALTERNATIV 1

Med nullutslipp skal forstås at turistskip og ferger i verdensarvfjordene ikke har utslipp av klimagassene karbondioksid (CO₂), metan (CH₄) og lystgass (N₂O) fra 2026.

Eksempler på aktuell teknologi kan være batteri og bruk av brenselcelle som benytter hydrogen eller ammoniakk.

1.5.1.2 ALTERNATIV 2:

Med nullutslipp skal forstås at turistskip og ferger i verdensarvfjordene skal ha redusert utslipp av klimagasser med minst rundt 95 prosent, sammenlignet med konvensjonell teknologi fra 2026.

Med konvensjonell teknologi menes bruk av fossilt drivstoff.

Et nullutslippsskip vil benytte et drivstoff som har et CO₂-utslipp som er minst rundt 95 % lavere enn forbrenning av fossilt drivstoff med samme energimengde⁴.

³ Avhengig av om drivstoffet benyttes i en brenselcelle eller i en forbrenningsmotor.

⁴ Se energitetthet og karbonfaktor for Diesel/Gas oil i Resolution MEPC.308(73)

Når en motor benytter et pilotdrivstoff til å antenne et nullutslippsdrivstoff skal man ta utgangspunkt i at CO₂-utslippet ved forbrenning av pilotdrivstoffet ikke medfører at et skip som ellers er et nullutslippsskip, ikke lenger vurderes som et nullutslippsskip.

Eksempler på aktuell teknologi er forbrenningsmotorer som benytter hydrogen eller ammoniakk.

Bruk av biodrivstoff kan være en mulig nullutslippsløsning under Alternativ 2 og det skal derfor utredes:

- a. et alternativ hvor biodrivstoff (flytende og gass) generelt er å anse som en nullutslippsteknologi
- b. et alternativ hvor biogass er å anse som en nullutslippsteknologi
- c. et alternativ hvor biodrivstoff ikke er å anse som en nullutslippsteknologi

Det skal legges spesiell vekt på bruk av biogass. I Stortingsvedtak 1007 (2020-2021⁵) som ber regjeringen 'Endre omgrepet «nullutslepp» i alle statlege mål og planar til «nullutslepp og biogass»' ble det i fjor vedtatt å be Stortinget om å oppheve anmodningsvedtaket. Det må da besluttes politisk om biogass skal likestilles med nullutslipp i dette tilfellet. Departementet har bedt Sjøfartsdirektoratet se nærmere på alternative scenarier både med og uten biogass.

Sjøfartsdirektoratet tar utgangspunkt i at biodrivstoff ikke møter nullutslippsdefinisjonen i Alternativ 1.

2 Teknologi for nullutslipp fra skip

2.1 Batteri

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. Når fartøyet ligger til kai kan fartøyets energibehov dekkes av strøm fra egne batteripakker eller med landstrøm.

Et økende antall skip har tatt i bruk batterier de senere årene og over 500 skip med batterier er i operasjon eller i ordre på verdensbasis. Av disse er opp mot 75 prosent ikke-ladbare hybrider, etterfulgt av ladbare (plug-in) hybrider og fullelektriske fartøyer. Ferger og offshore-fartøyer dominerer dette bildet, men Sjøfartsdirektoratet registrerer at det installeres batterier i stadig flere nybygg i andre sektorer som cruise, fiskeri, lasteskip og havbruk.

Andel av skipets operasjoner som kan utføres fullelektrisk avhenger av skipets energibehov, operasjonsprofil, regularitet i lademulighet og kapasitet til batterier om bord. For mindre kraftkrevende skip som opererer lokalt i verdensarvfjordene vil denne teknologien kunne utnyttes fullt ut, hvor skipene driftes fullelektrisk og lades med grønn landstrøm. Dette er allerede demonstrert gjennom utviklingen og driften av fjordcruise fartøyene Vision of the Fjords, Future of the Fjords og fergen Ampere.

Havila sine kystruteskip Havila Capella og Havila Castor med plass til 640 passasjerer har installert en batteripakke på 6,1 MWh sammen med LNG-motorene. Med denne batteripakken har Havila Castor

⁵ <https://www.stortinget.no/globalassets/pdf/innstillinger/stortinget/2020-2021/inns-202021-468s.pdf>

gjennomført tre timers seilas på ren el-kraft inn i Geirangerfjorden. Det er altså ikke nok energi til en full nullutslipp-seilas inn og ut fjorden, men med komplementerende nullutslipps energiproduksjon om bord viser seilasen at nullutslipp i verdensarvfjordene er mulig i denne skipskategorien.

Når det gjelder drift av mer kraftkrevende skip, som fullelektrisk drift av store cruise og passasjerskip, vil det imidlertid være flere utfordringer. Utfordringene er hovedsakelig knyttet til effektene som kreves for overføring av strøm fra land til skip, plassbehovet om bord på grunn av størrelsen av batteriene og tilgjengelighet på strøm fra land til drift mens skipet ligger til kai. For de største cruiseskipene kan strømbehovet i havn være opp mot 12-16MW i en periode på 8-10 timer, som er typisk liggetid for et cruiseskip. I tillegg kommer energibehov til inn- og utseiling, hvor batteriet skal dekke både hotellasten og fremdriften av skipet. Sett i sammenligning til den største batteripakken installert til nå på 10 MWh⁶ ville denne kun holdt til rundt 30 min helelektrisk drift for disse skipene. Det er fullt mulig å installere større batteripakker, men utfordringene beskrevet over vil sette en begrensning på hvor store batteripakker det er praktisk og økonomisk å installere med dagens teknologi.

Kapasiteten på dagens batterisystemer 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, spesielt for store cruiseskip med høyt energibehov for å drifte hotellfasilitetene om bord (hotellaster) som kan gjøre det utfordrende med dagens ladekapasitet å både drifte skipet og lade batteriene samtidig. Det lavspente forsyningsnett som vanligvis finnes på norske kaier må derfor bygges ut i takt med økende fokus på nullutslipp for å levere tilstrekkelig effekt for å lade skip. Det er også mulig med stasjonære landbaserte batteripakker som benyttes som buffer for å lade batteriene, og som reduserer behovet for oppgradering av strømmettet. Denne løsningen finnes på flere ferjekaier.

Det er i dag rederier som ser på bytte av batterier ved ankomst havn. Dette kan også være en farbar vei for større fartøy, men vil for eksisterende skip være en krevende og kostbar ombygning. For mindre og mellomstore fartøy kan dette være en løsning som også gjør at det kan lades på natten, når det er mindre forbruk på det lokale nettet, så kan fartøyene bytte batteripakker ved ankomst. En utfordring med det er manglende standardiserte batteritilkoblinger.

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 de distanser og tidsrom det er snakk om i verdensarvfjordene. Per i dag er det ikke mulig å få fullelektrisk drift av store cruise- og passasjerskip der hele energibehovet dekkes fra batteripakker om bord, annet enn for kortere perioder og distanser, men vil i en hybridløsning med energibærere som hydrogen eller ammoniakk kunne være mulig. Sjøfartsdirektoratet er kjent med at det i dag er flere aktører innen cruisenæringen som ser på en hydrogen-batteri hybridløsning for å møte kravene til 2026. Hvor moden og tilgjengelig denne teknologien vil være 1. januar 2026 er imidlertid fortsatt usikkert.

Avsnittet om batteri er basert på DNV-rapporten «Nullutslipp i 2026 for skip i verdensarvfjordene» fra 2020, med deres referanser. Videre er det tillagt nye momenter som Sjøfartsdirektoratet har kjennskap til gjennom sitt arbeid og samarbeid med næringen.

⁶ <https://corvusenergy.com/projects/aida-perla/>

2.2 Hydrogen (H₂)

Hydrogen ved standard atmosfærisk lufttrykk og romtemperatur er en fargeløs, luktfri, ikke-metallisk og særdeles brennbar gass. Hydrogen kan spille en viktig rolle i avkarboniseringen av den maritime sektoren, men erfaring med hydrogendrift er foreløpig begrenset. Det pågår omfattende teknologiutvikling for bruk av hydrogen som drivstoff om bord på skip, og det vil her bli vist til noen av disse prosjektene som er under utvikling.

2.2.1 Større cruiseskip (over 1000 passasjerer)

Vi har ikke kjennskap til noen konkrete planer om installering av brenselceller eller andre energiproduserende enheter som bruker H₂ for større cruise skip.

2.2.2 Mellomstore cruiseskip (400-1000 passasjerer)

Viking Cruises har kunngjort at de vil ha fartøy som delvis vil kunne driftes med hydrogen. Cruiseskipene er planlagt sjøsatt i henholdsvis desember 2024 og juli 2025, og de vil kunne seile i en begrenset periode uten utslipp. Det er uvisst om det vil være nok energi til å kunne dekke seilasen inn og ut av verdensarvfjordene, samt opphold inne i verdensarvfjordene, bare med hydrogen som drivstoff.

Skipsbyggingsfirmaet Fincantieri har signert et avtalememorandum med Explora Journeys (MSC Groups) om å bygge to hydrogendrevne cruiseskip. Skipene vil få installert nyeste generasjon LNG-motorer og en 6 MW brenselcelle drevet av hydrogen. Brenselcellene vil ha kapasitet til å ta hotellasten og på den måten kan fartøyene operere på «nullutslipp» i havn med LNG-motorene slått av. Under seilas må LNG-motorene benyttes. Disse to nye cruiseskipene forventes å være i drift i henholdsvis 2027 og 2028. Skipene er planlagt for 875 passasjerer og et mannskap på 700.

Gjennom FreeCO₂ast- prosjektet utvikler selskapet HAV hydrogen et system basert på flytende hydrogen og brenselceller som kan plasseres om bord i kystruteskipene til Havila. Designet har fått foreløpig godkjenning av DNV, og vært gjennom en foreløpig vurdering fra Sjøfartsdirektoratet. Dette systemet skal etter planen gi en rekkevidde på 20 timer drift med nullutslipp ⁷.

2.2.3 Mindre cruiseskip/passasjerskip (mellom 12 og 400 passasjerer)

MF Hydra fra NORLED får i løpet av 2022 installert PEM brenselceller med effekt på to ganger 200 kW fra Ballard, samt lagringstank på omtrent 75 m³, tilsvarende 5 tonn flytende hydrogen i tanker som er levert fra Linde. MF Hydra har videre installert en batteripakke på 1,3 MWh for hybrid drift og batteriene kan lades med landstrøm.

Northern Xplorer har som mål å bygge mindre nullutslipps cruiseskip med batterier og hydrogenbrenselceller spesialtilpasset for cruise i områder med krav til nullutslipp. Skipene designes for 300 passasjerer.

Et konsortium ledet av verftet Brødrene Aa, med samarbeidspartnerne skipsarkitektene ESNA og teknologileverandørene TECO 2030, har som mål å utvikle hydrogendrevne hurtigbåter med pilotdrift av et fartøy i 2025.

Flere passasjer- og lasteskip med hydrogendrift er kommet i gang med designprosessen og har fått offentlig støtte. Disse planlegger å benytte et lagringssystem med komprimert hydrogen.

⁷ <https://www.dnv.com/news/hydrogen-energy-system-for-cruise-vessels-dnv-grants-preliminary-approval-to-hav-group-asa-225856>

2.2.4 Sikkerhet og regelverk

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 og bruk av hydrogen som drivstoff om bord på skip, og dette er en stor utfordring. DNV og andre klasseselskap har utarbeidet egne klasseregelverk som muliggjør godkjenning av selve brenselcellesystemene basert på IMO sine vedtatte retningslinjer for installasjon av brenselceller om bord på skip. Skip som skal bruke hydrogen som drivstoff må tilfredsstillende IMO's krav til 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. Det betyr at en svært arbeidskrevende prosess må gjennomføres for godkjenning.

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 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 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. Frem til regelverk er etablert vil alle hydrogenprosjekter bli godkjent basert på IMO's alternative design prosess (MSC 1455⁸), med omfattende sikkerhetsstudier, samt uttesting og sertifisering av aktuelle komponenter og systemer. Hovedmålet med prosessen er å avdekke faremomenter og redusere risiko gjennom designet av systemet, slik at sikkerhetsnivået med hydrogen er like godt som for konvensjonelle skip.

2.2.5 Produksjon

Hydrogen produseres hovedsakelig ved dampreforming av naturgass (LNG) eller ved vannelektrolyse. Ved vannelektrolyse spaltes vann ved hjelp av elektrisitet til hydrogen, og eneste biprodukt er oksyngass. Klimaavtrykket fra vannelektrolyse er derfor utelukkende basert på strømmiks benyttet i produksjon. Lokalproduksjon av hydrogen ved å benytte overskuddskraft fra vann- eller vindkraft vil derfor gi nullutslipp og lagre ellers ubrukt energi. Ved dampreforming av naturgass spaltes metan (CH₄) til hydrogen (H₂) og karbondioksid (CO₂) ved hjelp av varme og vanddamp (H₂O). For at dampreforming skal bli klimanøytralt må CO₂ fra produksjonen fanges og lagres med karbonfangst. Hydrogen produsert med de ulike metodene benevnes ofte med farger; grønt hydrogen for vannelektrolyse med fornybar kraft, blått hydrogen for dampreforming med karbonfangst og grått hydrogen for dampreforming uten karbonfangst. En rekke andre farger brukes også. I dag er omtrent 96 prosent av alt hydrogen produsert i verden såkalt grått hydrogen, med et klimaavtrykk på rundt 9,3 kg CO₂ per kilo produsert hydrogen^{9 10}.

Det er flere prosjekter under planlegging for produksjon av grønt hydrogen i Norge. Blant annet ble det i desember 2021 gitt én milliard kroner i støtte fra Enova, fordelt på tre hydrogenprosjekter¹¹.

⁸ https://imorules.com/MSCCIRC_1455.html

⁹ <https://energy-cities.eu/50-shades-of-grey-and-blue-and-green-hydrogen/>

¹⁰ <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/hva-er-egentlig-gra-gronn-bla-og-turkis-hydrogen/>

¹¹ <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/milliardstotte-til-hydrogenprosjekter/id2892615/>

2.2.6 Lagring

Hydrogengass i fri form har en veldig lav volumetrisk tetthet (ca. 0,09 kg/ m³). Til sammenligning har diesel en tetthet på ca. 840 kg/ m³, altså en over 9300 ganger større tetthet. Energiinnholdet i ett kilo hydrogen (33 kWh/kg) er mer enn 2,5 ganger energiinnholdet i diesel (12,7 kWh/kg)¹². Det er derfor nødvendig å komprimere, gjøre flytende eller på andre måter binde hydrogenet for å øke energitettheten slik at nødvendig energimengde får plass om bord på et skip.

Det alternativet som gir den største energitettheten per volum er å lagre hydrogen flytende. For å gjøre hydrogen flytende må gassen kjøles ned til -253 °C gjennom en energikrevende prosess på flere steg. Flytende hydrogen har en tetthet på 71 kg/ m³, og dermed en energitetthet på omtrent 2350 kWh/ m³, 22 % av den volumetriske energitettheten til diesel. Det produseres ikke flytende hydrogen tilgjengelig for bunkring i Norge, hydrogenet som skal bunkres på MF Hydra er derfor planlagt transportert fra Tyskland med tankbil.

Komprimert hydrogen er enklere å produsere enn flytende hydrogen, men avhengig av hvilket trykk hydrogenet blir komprimert til blir energitettheten vesentlig lavere. Typiske lagringstrykk er fra 200 bar til opp mot 700 bar på fyllestasjoner, men Sjøfartsdirektoratet ser at de fleste prosjekter med komprimert hydrogen på skip designer med et trykk rett i overkant av 300 bar. Ved 350 bar er energiinnholdet 690 kWh/ m³ redusert ned til under en tredjedel av flytende hydrogen. En annen utfordring er at det tar lang tid å bunkre komprimert hydrogen, samt at bunkringsanlegget vil beslaglegge store arealer på havnen. Det er derfor prosjekter som utforsker muligheten for utskiftbare hydrogenkontainere som fylles ved produksjonsanlegget og blir fraktet til havnen før de løftes om bord. Dette reduserer bunkringstid og gir muligheten for å sentralisere produksjon for å redusere behovet for infrastruktur og areal i havnen. Utfordringen er at dette designet sannsynligvis gir en økt sikkerhetsmessig risiko sammenlignet med faste tanker, da det blir flere potensielle lekkasjepunkter i tilkoblingene.

Det er også mulig å lagre hydrogen ved å binde hydrogen i oljeaktige organiske forbindelser (LOHC), eller i metallhydrider der hydrogenatomer bindes i metaller. Felles for både LOHC og metallhydrider er at hydrogen kan lagres og håndteres ved atmosfærisk trykk og temperatur, og at risiko for brann og eksplosjon blir tilnærmet eliminert sammenlignet med fri hydrogen. Hydrogenet frigjøres fra LOHC og metallhydrider ved blant annet å tilføre varme. Når hydrogenet er frigjort må den utladede oljen eller metallstrukturen returneres til land for å bli ladet med nytt hydrogen. Energitettheten er vanskeligere å beregne nøyaktig da den avhenger av teknologi og benyttet olje eller metall, samt at det kreves energi for å frigjøre hydrogenet før bruk. Men hvis man inkluderer lagringstank for flytende eller komprimert hydrogen i beregningene er den volumetriske energitettheten til LOHC sammenlignbar. En produsent av LOHC jobber mot å ha en løsning for frigjøring av hydrogen tilsvarende 200 kW klar til testing i løpet av 2023 og om bord på skip i 2024.

Hydrogen kan også bindes i andre kjemiske forbindelser som for eksempel ammoniakk eller metanol.

2.2.7 Bruk

Hydrogen kan omgjøres til energi enten via forbrenning i en motor eller en elektrokjemisk reaksjon i en brenselcelle.

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 prosent avhengig av type

¹² <https://snl.no/hydrogendrivstoff>

teknologi. De kan også utnytte varmen og det er dermed gode muligheter for å oppnå en betydelig høyere virkningsgrad enn det som er mulig på forbrenningsmotorer. Fordelene med brenselcelleteknologien er også at den tar bort støy og vibrasjoner. Utfordringer med brenselceller er at de vil kreve høy grad av vedlikehold og utskifting av komponenter for å opprettholde virkningsgraden.

De ulike teknologiene har sine spesifikke fordeler og ulemper; høy vekt, plasskrevende, treg effektrespons, kostnad og virkningsgrad. De to brenselcelleteknologiene som peker seg ut for bruk i maritim sektor er PEM (Proton Exchange Membrane) som opererer på temperaturer under 80 °C, og SOFC (Solid oxide fuel cell) som opererer på temperaturer opp mot 1000 °C. Av disse er det PEM som har kommet lengst i utviklingen, med flere leverandører som jobber mot typegodkjenning. Brenselceller er en utprøvd teknologi, særlig benyttet på andre måter enn om bord på skip. Det vil nok gå noen år før teknologien og produksjon er moden nok for maritim implementering i MW skala.

Forbrenningsmotorer som bruker hydrogen som direkte drivstoff fungerer tilnærmet likt som konvensjonelle gassmotorer på LNG. Det fleste store motorleverandører jobber med å utvikle løsninger for å benytte hydrogen i forbrenningsmotorer på skip, noen har også startet testing av sine modeller. Innblanding av hydrogen varierer fra 60 prosent hydrogen og 40 prosent LNG, og opp til 100 prosent hydrogen. Hovedutfordringen er å kontrollere forbrenningen i sylindere med høy innblanding av hydrogen, gitt den eksplosjonsartede forbrenningen av hydrogen. Det er derfor mindre utfordrende å utvikle en motor med innblanding av LNG, men produsenten Be2Hydro viste i 2022 frem en modell med 100 prosent hydrogen. Det er også pågående forskning på bruk av gassturbiner med 100 prosent hydrogen. Virkningsgraden til forbrenningsmotorer og gassturbiner på hydrogen er imidlertid noe lavere enn hva som er mulig å oppnå ved bruk av brenselceller, og forbrenningen danner NOx.

2.2.8 Potensial for nybygg og ombygginger

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 containerløsninger med brenselceller (og tilhørende systemer) på diesel-elektriske skip, 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, energibehov (hvor store må systemene som installeres om bord være for å dekke energibehovet nødvendig for en nullutslippsløsning?), plassbehov til både hydrogentanker og brenselceller, og integrasjon med skipets eksisterende systemer.

Gitt planlagte og iverksatte prosjekter er det Sjøfartsdirektoratets vurdering at det vil være teknologisk og praktisk mulig for mellomstore cruiseskip (400-1000 pax), og mindre cruiseskip/passasjerskip (mellom 12 og 400 pax), å foreta seilaser inn og ut av verdensarvfjordene med hydrogen som energibærer/drivstoff.

Dette avsnittet om hydrogen er basert på DNV-rapportene «Nullutslipp i 2026 for skip i verdensarvfjordene» og «Tilgjengeliggjøring av bærekraftige drivstoff til skipsfarten - Forutsetninger, status, behov og barrierer». Disse rapportene er vurdert som oppdaterte og gyldige for dagens situasjon.

2.3 Svinghjulsteknologi

Svinghjulsteknologi er mekanisk opplagring av energi (strøm)¹³ og en teknologi representert ved norske Spinning Energy. Dette selskapet er i kontakt med lokalt havnevesen i verdensarvfjordene som en del av løsningen med landstrømutfordringen. Her ser en for seg lektere med deres løsninger om bord som lades om natten når det er ledig kapasitet på det lokale strømmettet. Dette kan gjøres med konvensjonelle batterier, men med svinghjulsteknologien vil en oppnå høyere energiopplagring på mindre areal, og en vil ta bort de utfordringer vi ser relatert til brann i kjemiske batterier. Denne teknologien kan også brukes om bord i fartøy i stedet for tradisjonell batteriteknologi. Kombinert med hydrogen/ammoniakk i en hybridløsning vil dette kunne være en måte å oppnå nullutslipp på. Modenheten til denne teknologien er ikke på nivå med batterier, men svinghjulsteknologien ligger an til å bli typegodkjent for fartøy i løpet av 2022.

2.4 Ammoniakk

Ammoniakk (NH₃) er et drivstoff med potensiale for nullutslipp av klimagasser både i forbrennings- og produksjonsfasen. Ammoniakk kan i prinsippet brukes i forbrenningsmotorer og brenselceller, og det foregår mye utviklingsarbeid som innen få år er ventet å gi motorer som kan brenne ammoniakk. Både MAN og Wärtsilä planlegger å ha ammoniakkmotorer kommersielt tilgjengelig i 2024, og WinGD i 2025. Blant utfordringene ved bruk av ammoniakk er forbrenningsegenskapene som gjør at det kreves en pilotflamme for å antenne ammoniakken og for å gi en kontrollert forbrenning. Tidlige anslag antyder en andel pilotbrensel i størrelsesorden 5 prosent, men det vil være mulig å benytte biodiesel som pilotbrensel for å sikre nullutslipp. Det er også knyttet en del usikkerhet til utslipp av lystgass (N₂O) og det er vesentlig at utslippene av denne gassen er minimale, da lystgass er en svært potent klimagass hvor en enhet tilsvarer omtrent 300 CO₂-ekvivalenter (GWP₁₀₀). Det finnes rensutstyr som kan håndtere disse utslippene. Derfor er det ikke forventet at dette skal by på store utfordringer selv om dette er en utfordring som må løses for at ammoniakk skal kunne være et reelt alternativ for fremtiden. Ammoniakk er giftig og korrosivt og dette er egenskaper som krever spesielle hensyn når det kommer til systemdesign, materialvalg og sikkerhetsfilosofi. Ammoniakk har også en stikkende og ubehagelig lukt, så et hvert utslipp av ammoniakk vil kunne skape uheldige situasjoner og mulig panikk, selv om konsentrasjonene er lavere enn det som anses som farlig for mennesker. I tilfeller der ammoniakk er tenkt benyttet på passasjerskip vil dette være noe man må være ekstra oppmerksom på.

2.4.1 Produksjon

I dag produseres ammoniakk hovedsakelig ved hjelp av dampreforming av naturgass for å hente ut hydrogen. Det er også mulig å produsere hydrogen fra fornybar energi gjennom elektrolyse av vann. Uavhengig av hydrogenets fremstillingsmetode, følger en ammoniakksyntese der hydrogen blir kombinert med nitrogen fra luft. Ammoniakk kondenserer ved -33 °C og har høyere volumetrisk energitetthet enn eksempelvis flytende og komprimert hydrogen. Det kreves dermed mindre energi til lagring og det tar mindre plass ombord. Ammoniakk lagres flytende, enten nedkjølt, satt under trykk, eller som en kombinasjon av disse. I dag fraktes ammoniakk på gasstankskip og brukes som kjølemedium i kjøleanlegg, for eksempel på fartøy tilknyttet fiske- og havbruksnæringen. Teknologien som kreves for lagring og håndtering er godt etablert. Yara produserer og distribuerer ammoniakk i Norge i dag. Selskapet satser også på grønn ammoniakk, og har fått Enovastøtte for utvikling av sitt

¹³ https://snl.no/svinghjul_-_energilager

produksjonsanlegg på Hærøya. Yara har som mål å ha tilgjengelig ammoniakk for maritimt bruk ved 15 lokasjoner i Skandinavia innen 2024 ¹⁴.

2.4.2 Regelverk

Det er ikke etablert nasjonalt eller internasjonalt regelverk for bruk av ammoniakk som drivstoff. Dette innebærer at prosjekter må godkjennes ved hjelp av MSC Circ. 1455 om alternativ design. Flere klasseselskap har derimot regelverk for ammoniakk, som kan benyttes for å forenkle sertifiseringsprosessen, og det jobbes aktivt i IMO for å utvikle internasjonalt regelverk.

Videre er kunnskapsgrunnlaget for ammoniakk gitt i følgende rapporter vurdert som oppdatert og gyldig for dagens situasjon:

- DNV rapport 2019-1250 rev. 0 Nullutslipp i 2026 for skip i verdensarvfjordene
- DNV rapport 2022-0451 rev 1 Tilgjengeliggjøring av bærekraftige drivstoff til skipsfarten – Forutsetninger, status, behov og barrierer.

2.5 Biogass

Biogass dannes når organisk materiale brytes ned av mikroorganismer i oksygenfattig miljø, ved nedbryting av for eksempel matavfall, avløps slam, fiskeslam eller husdyrgjødsel. Biogass består i hovedsak av metan (CH₄) og karbondioksid (CO₂), og kan gjøres flytende ved nedkjøling til ca. -162 °C (LBG) eller ved å settes under trykk ved 200-250 bar (CBG). LBG og CBG er kjemisk sett identiske med LNG og CNG og har samme bruksområde. LBG og LNG er derfor blandbare, LBG kan også brukes som tilsetning i LNG (drop in fuel). LBG går også under navnet Bio LNG eller Liquid biomethane (LBM). Biogass kan benyttes som drivstoff på LNG-fartøy med enkle justeringer av drivstoff-systemet, eller ingen justeringer.

Naturgass (LNG) inneholder fra 85 til mer enn 95 prosent metan og har tilsvarende sammensetning som biometan (LBM) og biogass (LBG).

I Stortingsvedtak 1007 (2020-2021), som ber regjeringen «Endre omgrepet «nullutslepp» i alle statlege mål og planar til «nullutslepp og biogass», ble det vedtatt å be Stortinget om å oppheve anmodningsvedtaket. Det må besluttes politisk om biogass skal likestilles med nullutslipp i dette tilfellet.

Biogass vil ut ifra anmodningsvedtaket kunne betraktes som et nullutslippalternativ på linje med hydrogen og elektrisitet.

2.5.1 Infrastruktur og produksjon av flytende biogass

Produksjon av flytende biogass (Liquid Bio Gas – LBG) i Norge foregår i all hovedsak ved de tre produksjonsenhetene Biokraft ¹⁵, VEAS ¹⁶ og Renevo Stord ¹⁷. Disse tre fasilitetene produserer henholdsvis 164, 60 og 20 GWh med LBG. Det er per i dag ingen havner som direkte leverer LBG, og bunkring må foregå via tankbil eller mindre LBG-skip (ship to ship bunkering). Markedet for LBG og komprimert biogass (CBG) er i dag i all hovedsak for tyngre transport på land, som lastebil, buss og trailer. Det er estimert at LBG-produksjon vil være 1200 GWh innen 2025. Da det er en jevn

¹⁴ <https://www.yara.com/news-and-media/news/archive/news-2022/yara-international-and-azane-fuel-solutions-to-launch-worlds-first-carbon-free-bunkering-network-delivering-green-ammonia-fuel-to-the-shipping-industry/>

¹⁵ <https://www.biokraft.no/>

¹⁶ <https://www.veas.nu/>

¹⁷ <https://reneo.no/>

produksjonskost og langsiktige kontrakter, er det forventet at prisen på LBG vil være stabil. Potensialet for produksjon av biogass kan beskrives med at mengden avfall fra jordbruk som utnyttes til produksjon av biogass per i dag er ca. 1 prosent.

I Skandinavia produseres henholdsvis 2,5 og 6,5 TWh med biogass i Sverige og Danmark, men det er uvisst hvor mye av dette som blir konvertert til LBG. Det kan antas at mesteparten blir brukt som gass til generell husholdning. Det er bare funnet informasjon om ett produksjonsanlegg for LBG i resten av Europa, Nordsols anlegg i Amsterdam ¹⁸. Anlegget har en kapasitet på 3400 tonn LBG, noe som tilsvarer ca. 50 GWh. Det kan derfor virke som at tilgjengeligheten for LBG i Europa er lavere enn i Norge, men det er forventet en økning i produksjonen frem mot 2030 ¹⁹.

CE Delft har estimert at det på verdensbasis vil kunne produseres mellom 40 og 120 EJ (33 000 TWh) bio metan (LBM/LBG). Forventet energibruk for alle skip i 2030 er estimert til å være maksimum 14 EJ (3888 TWh). Det er dermed estimert at det vil kunne være nok energi til å drifte alle skip med LBG/LBM ²⁰.

Som et eksempel på norske forhold er kraftbehovet for å seile et større cruiseskip inn og ut av verdensarvfjordene, samt et opphold i fjorden (eks Geiranger), på ca. 100 MWh.

2.5.2 Flytende biodrivstoff

De vanligste råvarene for produksjon av biodiesel er raps, sukkerrør og diverse avfallsprodukter som brukt frityrolje og animalsk fett. Det produseres forskjellige typer flytende biodrivstoff som FAME (fatty acid methyl ester) og HVO (hydrotreated vegetable oil).

Det er et krav i Norge som skal sørge for at minimum 20 volumprosent av totalt omsatt mengde drivstoff til veitrafikk per år består av biodrivstoff, unntatt biogass. Et omsetningskrav for innenriks sjøfart er under utredning.

Metanol kan også produseres som et biodrivstoff, men ikke inngå i et omsetningskrav.

2.5.3 Infrastruktur og produksjon av flytende biodrivstoff

Mesteparten av HVO brukt i Norge importeres, særlig fra USA og Finland. DNV har anslått at forventet produksjon av bærekraftig flytende biodrivstoff i Norge kan bli 50 millioner liter per år innen 2025, og 300 millioner liter per år innen 2030.

På verdensbasis ble det i 2020 produsert 1043 TWh av flytende biodrivstoff²¹.

Hurtigruten har planlagt å benytte biogass, men har i stedet valgt å satse på biodiesel.

¹⁸ <https://nordsol.com/opening-biolng-installation/>

¹⁹ <https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2021/11/EBA-STATISTICAL-REPORT-2021-SHORT-VERSION.pdf> https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2020/11/BioLNG-in-Transport_Making-Climate-Neutrality-a-Reality.pdf

²⁰ https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/03/CE_Delft_190236_Availability_and_costs_of_liquefied_bio-and_synthetic_methane_Def.pdf

²¹ <https://ourworldindata.org/grapher/biofuels-production-by-region>

2.6 Karbonbasert elektrodrivstoff/ e-fuel

Alle typer fossile drivstoff består av hydrokarboner og er derfor produsert ved å kombinere hydrogen og karbon. Naturen har gjort denne prosessen for oss gjennom millioner av år, men det er ingenting i veien for å produsere drivstoff i en fabrikk. e-Fuel er en samlebetegnelse for syntetisk drivstoff produsert av CO₂, vann og strøm. Ved hjelp av strøm spaltes CO₂ og H₂O molekylene til hydrogen, karbon og oksygen. Hydrogen og karbon settes sammen til hydrokarboner og biproduktet blir oksygen.²² Forbrenning av e-Fuel gir samme CO₂-utslipp som forbrenning av fossilt drivstoff og det er derfor et klimanøytralt alternativ gitt at bestanddelene som inngår i produksjonen kommer fra fornybare kilder.

Elektrodrivstoff tar form enten som hydrokarboner som metan eller alkoholer som metanol. Begge disse benyttes allerede i eksisterende motorer om bord på skip fra fossile kilder, så E-fuels kan benyttes drop-in drivstoff i eksisterende skip som er klargjort for disse drivstoffene uten ombygging.

Ulempene er at virkningsgraden ved spalting av CO₂ og H₂O er lav og produksjon av e-Fuel gir derfor kun mening om man har et overskudd av fornybar energi som man ikke har bruk for til andre formål. Per i dag er produksjonen av e-Fuel for dyr til at det er et stort marked og det kreves politiske insentiver for å gjøre dette lønnsomt. Drivstoffet er derfor mest egnet til de sektorer som ikke lar seg elektrifisere med det første (flytransport, deep sea shipping etc.)

2.6.1 Infrastruktur og produksjon av e-fuels

Det norske selskapet Norske e-fuel AS²³ har konkrete planer om produksjon av e-fuel i et anlegg som skal bygges i Mosjøen. Anlegget skal etter planen starte produksjonen i 2024 og gradvis skalere opp til å produsere 25 millioner liter syntetisk råolje (ca. 26 GWh) innen 2026. Syntetisk råolje kan raffineres på samme måte som fossil råolje. Frem til 2029 skal anleggsdesignet videreutvikles og et anlegg som produserer 100 millioner liter (ca. 106 GWh) skal settes i drift.

Tilgjengeligheten av syntetisk metan bestemmes hovedsakelig av tilgjengeligheten av teknologier og tilgjengelighet av (fornybar) elektrisitet, samt tilgjengelighet av CO₂. Produksjonen av fornybar elektrisitet vokser raskt men for tiden brukes mesteparten av elektrisiteten direkte, i stedet for å produsere drivstoff som syntetisk metan. For å produsere store mengder syntetisk metan vil det være nødvendig med betydelige investeringer i fornybar, dedikert elektrisitetskapasitet.

2.7 Karbonfangst

Karbonfangst er en teknologi som ved hjelp av en kjemisk prosess fanger CO₂. Om man ønsker å benytte karbonbaserte energibærere må dette kombineres med karbonfangst for å oppnå nullutslipp. Karbonfangst har potensiale til å gi negative CO₂-utslipp og dermed redusere mengden CO₂ i atmosfæren, såkalt NET-teknologi. Ved å lagre CO₂ fanget fra utslipp som stammer fra forbrenning av bioprodukter vil man oppnå negative utslipp. Der nullutslippsløsninger vil hindre utslipp av ytterligere CO₂, er karbonfangst og lagring nøkkelen til å kunne reversere effekten av den mengden CO₂ som allerede er sluppet ut.

Det har vært en signifikant økning i antall karbonfangstprosjekter, og investeringer i karbonfangst, de siste årene. Særlig innenfor næringssektorer i landbasert industri. Selv om potensialet for karbonfangst kanskje er størst i andre sektorer er det mulig å benytte karbonfangst på mindre

²² https://klimastiftelsen.no/wp-content/uploads/2020/10/2C_Temanotat_1_2020_Hva_er_e-fuel.pdf

²³ <https://www.norsk-e-fuel.com/>

punktutslipp i maritim næring, og Sjøfartsdirektoratet er involvert i et pilotprosjekt som ser på muligheten for karbonfangst på skip.

Karbonfangst er viktig for å nå målene i Parisavtalen. IEA viser i sitt nyeste Net Zero-scenario at det i 2050 må fanges 7,6 Gigatonn CO₂ årlig for å nå klimamålene (IEA 2021²⁴). I 2020 ble det fanget 40 Megatonn CO₂ og det forventes derfor en signifikant økning i karbonfangstprosjekter i årene som kommer.

For at karbonfangst skal ha noe for seg må CO₂ enten lagres, og dermed låses ute av CO₂-kretsløpet, eller gjenbrukes til å produsere nye karbonholdige produkter. Karbonfangst på skip innebærer at redere må transportere sin egen CO₂ og dermed sette av plass til dette om bord. Det må være enkelt for redere å levere dette til land, og det må sikres at det er et marked for å benytte seg av CO₂ som leveres. Per i dag er ikke dette på plass i stor nok skala, men det antas at denne industrien bygges ut i kjølvannet av Langskip-prosjektet.

Virkningsgraden til dagens CO₂-fangstteknologi er ikke høy nok til å kunne fange alle CO₂-utslipp forbundet med forbrenning av konvensjonelt marint drivstoff. Det er dermed ikke en teknologi som alene kan gi nullutslipp i verdensarvfjorden for eksisterende flåte.

Videre er kunnskapsgrunnlaget for karbonfangst gitt i følgende rapport vurdert som oppdatert og gyldig for dagens situasjon:

- DNV rapport 2022-0451 rev 1 Tilgjengeliggjøring av bærekraftige drivstoff til skipsfarten – Forutsetninger, status, behov og barrierer.

2.8 Kjernekraft

Det finnes ca. 440 landbaserte kjernekraftverk i verden i dag og ca. 55 er under konstruksjon, med planlagt ferdigstillelse fra 2022-2028. For marin bruk er kjernekraft noe som hovedsakelig har vært forbeholdt militære fartøy og noen isbrytere. Anslaget er at ca. 160 skip utnytter denne teknologien i dag (World Nuclear Association²⁵).

Kjernekraft gir ingen utslipp av klimagasser og har et enormt energipotensial. Den mest lovende kjernekraftteknologien for maritim bruk kalles MSR (Molten-Salt Reactor). Denne reaktorteknologien er del av fjerde generasjon, og er betydelig sikrere enn eldre generasjoner. Ulempen er at den fremdeles produserer radioaktivt avfall som må håndteres på en forsvarlig måte. Utnyttelsesgraden er dog betydelig større i moderne reaktorer, så avfallsproblematikken blir mindre enn den tidligere har vært, samtidig som tidligere produsert radioaktivt avfall kan benyttes som brensel i den nye generasjonen reaktorer. Kjernekraft er fremdeles et betent tema, selv om det ser ut til at yngre generasjoner stadig blir mer positive til denne energiformen. Det foregår mye forskning på reaktordesign internasjonalt og små modulære reaktorer er forventet å bli kommersielt tilgjengelig innen 2030.

I tillegg til kjernekraft for energiproduksjon om bord vil det være mulig med anlegg for produksjon av strøm lokalt for å dekke energibehovet forbundet med landstrøm. Det finnes i dag et flytende russisk kjernekraftanlegg i operasjon ("Akademik Lomonsov"), dette leverer 70 MW elektrisk kraft til det lokale strømnettet i den russiske byen Pevek. I april i år presenterte Ulstein sitt nye konseptfartøy

²⁴ <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

²⁵ <https://world-nuclear.org/>

“Ulstein Thor” som skal utstyres med en Thoriumreaktor og er tiltenkt å fungere som en ladestasjon for elektriske fartøy²⁶.

Fjerde generasjons kjernekraft er ikke en moden teknologi. Det finnes per i dag ingen infrastruktur knyttet til bruk av kjernekraft i kommersiell maritim næring, og dette er dermed ingen løsning for nullutslipp fra skip allerede i 2026.

2.8.1 Regelverk

SOLAS Kapittel 8 og Nuclear-Ship Code of safety for nuclear merchant ships – IMO Res. A.491(XII) omhandler kjernekraft, men er ikke tatt inn i norsk regelverk. Eksisterende internasjonalt regelverk er skrevet med tanke på gammel teknologi (trykksatte lett vannreaktorer) og må tilpasses moderne kjernekraftteknologi.

3 Referanser

Carbon Limits (2019) - <https://www.carbonlimits.no/wp-content/uploads/2020/01/Rapport-biogasspotensial.pdf>

CE DELF (2020) -

[https://cedelft.eu/wpcontent/uploads/sites/2/2021/03/CE_Delft_190236_Availability_and_costs_of_liquefied_bio- and synthetic methane Def.pdf](https://cedelft.eu/wpcontent/uploads/sites/2/2021/03/CE_Delft_190236_Availability_and_costs_of_liquefied_bio-_and_synthetic_methane_Def.pdf)

Commission Regulation (EU) (2012) “Emission factors for Fuels to MRV” <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:181:0030:0104:en:PDF>

DNV-GL (2020), «Nullutslipp i 2026 for skip i verdensarvfjordene» -

https://www.sdir.no/contentassets/ce0badc8e20b4983aedc364f73d3a954/dnvgl-rapport_2019-1250_rev0_final.pdf?t=1588434015183

DNV (2019) rapport 2019-1250 rev. 0 Nullutslipp i 2026 for skip i verdensarvfjordene

DNV (2022) rapport 2022-0451 rev 1, «Tilgjengeliggjøring av bærekraftige drivstoff til skipsfarten – Forutsetninger, status, behov og barrierer»

DNV (2022) - <https://www.dnv.com/news/hydrogen-energy-system-for-cruise-vessels-dnv-grants-preliminary-approval-to-hav-group-asa-225856>

EBA (2021) - <https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2021/11/EBA-STATISTICAL-REPORT-2021-SHORT-VERSION.pdf>

Energy Cities (2020) - <https://energy-cities.eu/50-shades-of-grey-and-blue-and-green-hydrogen/>

Heyne, Bokinge og Nystrøm (2019) -

<https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1421/m1421.pdf>

IEA (2021) - <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

IMO (2013) MSC.1/Circular.1455 - https://imorules.com/MSCCIRC_1455.html

Regjeringen (2021) - <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/milliardstotte-til-hydrogenprosjekter/id2892615/>

²⁶ <https://ulstein.com/news/ulstein-thor-zero-emission-concept>

Searle (2020) - <https://theicct.org/e-fuels-wont-save-the-internal-combustion-engine/>

SINTEF (2020) - <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/hva-er-egentlig-gra-gronn-bla-og-turkis-hydrogen/>

Sintefblogg (2022) - <https://blogg.sintef.no/sintefenergy-nb/status-biodrivstoff-2022/>

SNL (2019) - <https://snl.no/svinghjul - energilager>

SNL (2020) - <https://snl.no/hydrogendrivstoff>

Stortinget i anmodningsvedtak 3. mai 2018 – vedtak 672:

Storingsvedtak 1007 (2020-2021) - <https://www.stortinget.no/globalassets/pdf/innstillinger/stortinget/2020-2021/inns-202021-468s.pdf>

Ulstein (2022) - <https://ulstein.com/news/ulstein-thor-zero-emission-concept>

Weber og Amundsen (2016), TØI rapport - <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=43045>

Yara (2022) - <https://www.yara.com/news-and-media/news/archive/news-2022/yara-international-and-azane-fuel-solutions-to-launch-worlds-first-carbon-free-bunkering-network-delivering-green-ammonia-fuel-to-the-shipping-industry/>

Yugo og Soler (2019) - <https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/E-fuels-article.pdf>

Aktuelle referanser til nettsider:

<https://www.innovasjon norge.no/no/tjenester/innovasjon-og-utvikling/finansiering-for-innovasjon-og-utvikling/finansiering-av-innovasjonsprosjekt/technology-readiness-level-tr/>

<https://www.britannica.com/technology/biofuel>

<https://www.britannica.com/science/fossil-fuel>

https://www.ssb.no/attachment/288060/binary/93858?_version=539789

<https://world-nuclear.org/>

<https://www.biokraft.no/>

<https://www.veas.nu/>

<https://renevo.no/>

<https://nordsol.com/opening-biolng-installation/>

https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2020/11/BioLNG-in-Transport_Making-Climate-Neutrality-a-Reality.pdf

<https://theicct.org/e-fuels-wont-save-the-internal-combustion-engine/>

<https://www.norsk-e-fuel.com/>